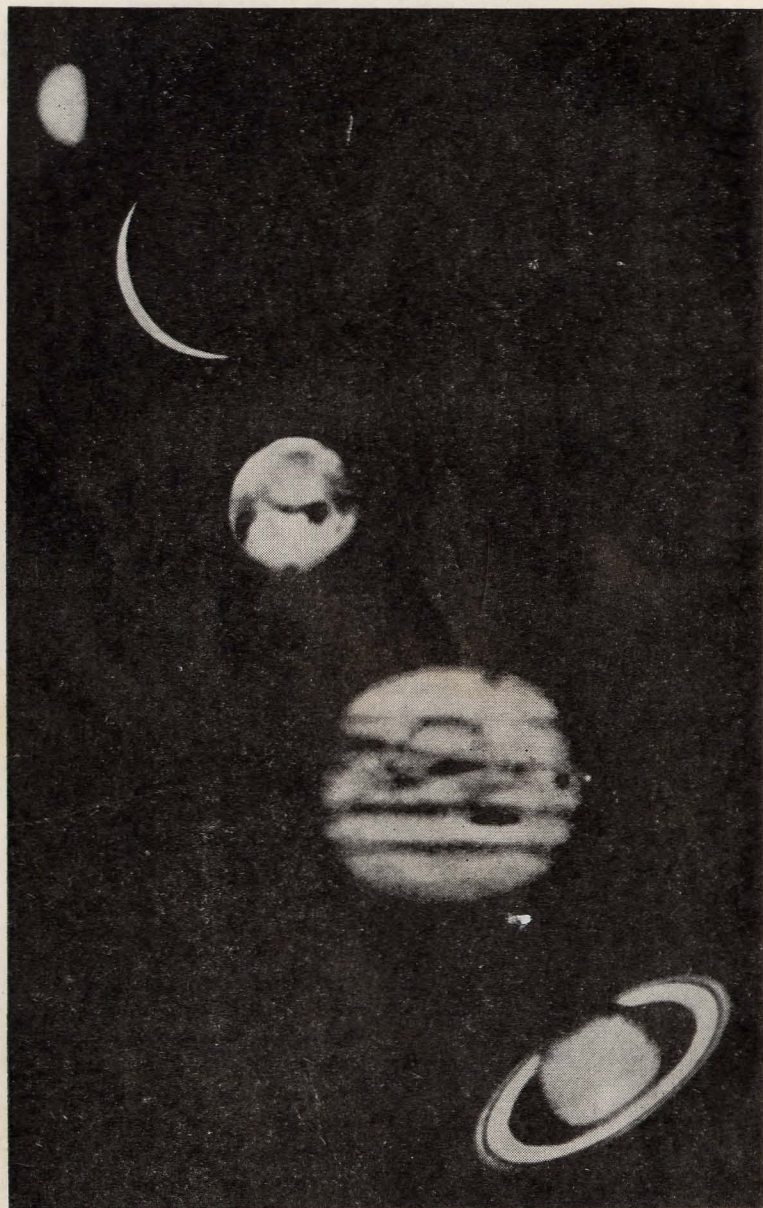


38

22.6

ф. уиппл

**ЗЕМЛЯ, ЛУНА
И ПЛАНЕТЫ**



Пять ярких планет (сверху вниз): Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн. (Фотографии Слайфера, обсерватория Лоуэлла.)

76 84

22.6

Ф. УИППЛ

ЗЕМЛЯ, ЛУНА И ПЛАНЕТЫ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
И. С. ЩЕРБИНОЙ-САМОЙЛОВОЙ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
доктора физико-математических наук
В. И. МОРОЗА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1967

FRED L. WHIPPLE

EARTH, MOON AND PLANETS

Revised edition

HARVARD UNIVERSITY PRESS
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS
1963



523.2

2-6-4
183-67

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА

Планетная астрономия в последние годы переживает бурный расцвет. Применение новых мощных методов — радиоастрономии, радиолокации, инфракрасной спектроскопии — позволило получить целый ряд интересных и неожиданных результатов, ближе познакомиться с нашими соседями по солнечной системе. Особенно важную роль сыграли первые полеты космических зондов к Луне, Марсу и Венере. Впервые были проведены наблюдения планет с близкого расстояния, а в случае Луны была успешно осуществлена посадка на ее поверхность. Полеты космических зондов в сильной степени стимулируют развитие и наземных наблюдений, являющихся пока основным источником информации о физических свойствах атмосфер и поверхностей других планет.

Предлагаемая вниманию читателя книга известного американского астронома Фреда Уиппла «Земля, Луна и планеты» представляет собой увлекательно написанное популярное изложение основ планетной астрономии с учетом всех ее успехов до начала 1963 г. включительно. Напомним, что к этому времени мы уже имели богатый материал, накопленный искусственными спутниками Земли, полеты к Луне советских космических ракет, фотографии обратной стороны Луны, пролет «Маринера-2» вблизи Венеры. За прошедшие три года к этому списку добавились новые успехи, так что книга, хотя она и является вторым дополненным изданием, несколько устарела. Однако сейчас это неизбежно для любой книги по планетной астрономии, неважно, популярной или «серьезной» — слишком быстро развивается данная отрасль науки. Мы попытались всюду, где это необходимо, отметить основные новые факты в примечаниях.

Будучи крупным ученым, автор умело отбирает главное, отбрасывает или оговаривает сомнительное, заглядывает вперед. Кратеры на Марсе были полной неожиданностью для многих астрономов, но не для Фреда Уиппла — в главе о Марсе читатель сможет в этом убедиться.

В. И. Мороз

ПРЕДИСЛОВИЕ

При переработке этой книги я был не столько поражен ростом наших знаний о планетах за два последних десятилетия, сколько тем, что в самом ближайшем будущем мы можем рассчитывать на получение еще большего количества сведений. Развитие радиоастрономии, запуски искусственных спутников, межпланетных зондов и орбитальных телескопов обещают сделать доступными множество фактических данных о солнечной системе, которые необходимы для глубокого понимания ее природы и которые мы не могли даже надеяться получить, находясь под покровом нашей облачной, неспокойной и в общем-то непрозрачной атмосферы.

Многие проблемы солнечной системы и ее эволюции вновь обрели интерес и жизненность, как только мы ощутили их близкое разрешение.

При пересмотре текста я пытался сохранить дух первого варианта книги и не увлекаться теми поразительными достижениями техники, которые столь замечательно проявляются в процессе расширения наших горизонтов. Уровень, на котором излагается материал, остался неизменным, хотя юные читатели и найдут этот уровень относительно более простым, чем казалось учащимся их возраста двадцать лет назад. Очень хорошо, что научные и технические познания учащихся наших высших и средних учебных заведений неизмеримо возросли и продолжают расти. Тем не менее в этой книге все математические выкладки опущены, а научные методы и процессы описаны в самой по возможности простейшей форме, чтобы книга оказалась доступной каждому, не имеющему специального образования.

Я благодарен Коэну за руководящие указания в отношении исторического материала, и Койперу за специально предоставленные им фотографии Луны. Особую благодарность я выражаю Слайферу за разрешение воспользоваться полученными на обсерватории Лоуэлла фотографиями, многие из которых по сей день, как и 20 лет назад, являются вершиной возможного в деле фотографирования планет.

Фред Л. Уинпл

1

Первое знакомство с планетами

Пять ярких планет были известны людям на протяжении многих тысячелетий, но в древности их считали загадочными небожителями, движения которых, по-видимому, отражают причуды этих сверхчеловеческих существ. Древнегреческие и римские мифы хорошо известны. Марс был богом войны, Венера — богиней любви, а Меркурий — своего рода мальчиком на побегушках. В наше время положение изменилось. Созданные человеком космические аппараты могут облететь вокруг планет и сесть на их поверхность.

Ныне планеты — эти массивные шары, состоящие из железа, камня и газа, — имеют реальную значимость как для нашей жизни, так и для нашего образа мыслей. Мы располагаем возможностью поисков живых организмов, которые могли развиваться независимо от жизни на Земле. Математические расчеты траекторий для наших космических аппаратов — задача сугубо техническая. Вопросы состава атмосферы, температуры и природы планет привлекли внимание многих людей — не только ученых, но и инженеров, экспериментаторов, космонавтов, политических деятелей, военных, руководителей учреждений и предприятий и др. В результате последних достижений астрономия как бы покинула свою башню из слоновой кости и вышла на рыночную площадь, а планеты стали для нас самыми ближайшими соседями.

По мере накопления дополнительных данных каждая планета приобретает большую индивидуальность и становится все более интересной. Ежегодно одни задачи, поставленные в предыдущем году, разрешаются, а другие, когда-то казавшиеся неразрешимыми, переходят в разряд поддающихся разрешению. Чтобы оценить экспериментальные открытия и теоретические выводы современной планетной астрономии, нам следует ознакомиться с фондом уже накопленных знаний.

Прежде чем приступить к изучению солнечного семейства планет, их вассалов и других обитателей этого царства, необходимо представить их.

Каждому известно, что встреча с многочисленным семейством в целом может быть одновременно и радостной и оставляющей множество неясного. Поэтому мы сначала наскоро представим всех, а затем потратим некоторое время на каждого члена семьи, чтобы завязать с ним более тесное знакомство.

Планеты так малы по сравнению с громадными расстояниями между ними, а отражаемый ими солнечный свет так слаб в сравнении с ослепительным сиянием Солнца, что нет такого места, из которого все они были бы одинаково хорошо видны.

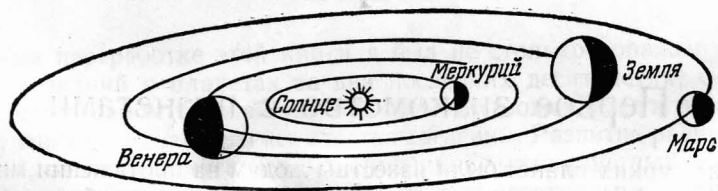


Рис. 1. Орбиты внутренних планет в проекции. Относительные размеры планет даны в масштабе, в котором диаметр Солнца был бы равен примерно 1 м.

Наша Земля в качестве одного из удобных пунктов для наблюдений планет, по существу, место вполне удовлетворительное, если не считать толстого слоя атмосферы над нами. Так как нам все равно необходимо преодолевать это препятствие, то если речь идет не о космическом корабле, мы можем с равным успехом в нашем воображении отойти еще дальше от Солнца, например, на расстояние Юпитера, откуда хорошо видна внутренняя часть солнечной системы (рис. 1). Как видно из рис. 1, Солнце находится почти точно в центре планетных орбит. Причина этого очень проста — в Солнце сосредоточено 99,886% массы всей системы, так что благодаря своему гравитационному притяжению Солнце полностью определяет движение планет.

Далее можно заметить, что орбиты планет лежат почти в одной плоскости, очень близкой к *эклиптике* — плоскости обращения Земли вокруг Солнца. Это предпочтение со стороны планет в отношении выбора общей плоскости движения, по-видимому, не случайно. Хотя это строго и не доказано, но весьма возможно, в этом виноват Юпитер, так как масса этой планеты в 317 раз больше массы Земли и в нем сосредоточено 0,7 общей массы планет. Безусловно, Юпитер является главенствующей планетой и своим гравитационным притяжением он мог бы воздействовать на орбиты других планет. Но, конечно, существует и более вероятная возможность — все планеты образовались в одной плоскости. Однако этот вопрос нам предстоит изучить позднее.

Меркурий — самая малая из планет и движется она по самой меньшей орбите, но эта орбита отклонена от общей плоскости на 7° , в то время как плоскости движения других внутренних планет отклоняются от этой плоскости не более, чем на 3° .

Для измерения расстояний в солнечной системе мы должны воспользоваться единицей гораздо большей, чем для измерения расстояний на Земле. Удобнее всего *астрономическая единица* (а. е.), которая равна среднему арифметическому между наибольшим и наименьшим расстояниями от Земли до Солнца, называемому астрономами *средним расстоянием* Земли. Эта основная единица измерений согласно астрономическим измерениям и данным радиолокации Венеры составляет примерно 150 000 000 км (см. стр. 47).

Расстояние до Солнца, если его выражать в принятых на Земле единицах длины, громадно. Самолету, летящему со скоростью звука (1200 км/час), потребовалось бы на такой рейс в один конец 14 лет, а ракета, пролетающая за одну секунду 8 км, прибыла бы туда через 7 месяцев. Если такие расстояния покажутся большими, вспомним, что большинство из нас проводит свою жизнь, находясь на одной из самых небольших планет солнечной системы, не имея возможности жить «более полной жизнью» в просторах Вселенной.

В действительности астрономическая единица слишком мала и неудобна при вычислении расстояний между звездами; для этой цели часто пользуются гораздо большей единицей — расстоянием, которое свет проходит за один год. Эта единица, так же как и численные характеристики планет, приведена в Приложении 3. Удобная схема для запоминания расстояний планет — закон Боде — дана в Приложении 1.

Среднее расстояние между Меркурием и Солнцем составляет всего 0,39 а. е., для Венеры это расстояние — 0,72 а. е., для Земли — 1 а. е., для Марса — 1,52 а. е., для Юпитера — 5,20 а. е., т. е. увеличение расстояний происходит довольно равномерно, за исключением большого интервала между Марсом и Юпитером. В этом интервале обнаружены тысячи малых планет — *астероидов* (рис. 2), заполняющих то пространство, в котором могла бы двигаться какая-нибудь большая планета (см. подпись к рис. 7). Размеры этих астероидов разнообразны — они бывают как величиной с гору диаметром порядка 1,5 км, так и величиной с большой остров, например Церера, поперечник которой около 770 км. Второй по величине астероид, Паллада, имеет диаметр 490 км, а диаметр третьей по величине Весты равен 384 км. Других больших астероидов, которые были бы еще не открыты, нет, но существует множество — свыше 50 000 — малых. Из них около 2000 зарегистрированы, а прочие тоже можно было бы сфотографировать, но при помощи более мощных телескопов. Эти планеты наимелчайшего веса, хотя и вносят ничтожно малую долю в общую массу солнечной системы (примерно $\frac{1}{500}$ массы Земли), заставляют астрономов много наблюдать и вычислять. Они представляют собой прекрасные экземпляры для проверки разного

рода теорий и служат вспомогательным материалом при попытках найти разгадку происхождения солнечной системы. Возможно, они образовались при распаде вследствие столкновений небольших планет, двигавшихся в пространстве между Марсом и Юпитером.



Рис. 2. Знаменитый астероид Эрос оставляет след на фотографии, сделанной с большой выдержкой, так как он движется на фоне звезд. (Фотография сделана на Йеркской обсерватории.)

Сами планеты во многом отражают характерные черты тех древних богов, в честь которых они были названы. Меркурий и в самом деле быстр и мал, как полагается посылному. Для полного обращения вокруг Солнца ему требуется всего 88 суток, т. е. менее четверти нашего года. Его диаметр составляет лишь 0,4 диаметра Земли. Даже этот небольшой диаметр (5000 км) настолько больше диаметра Цереры, что Меркурий можно с полной уверенностью считать планетой, а не крупным астероидом. Период вращения Меркурия равен его периоду обращения вокруг Солнца, поэтому Меркурий всегда



Рис. 3. «Старая» Луна. (Фотография сделана на Ликской обсерватории.)

обращен к Солнцу одной стороной *). К несчастью, эта планета так мала и при наблюдениях ее с Земли столь близка к Солнцу, что детали ее поверхности трудно различить.

Венера — безусловно «сестра» Земли. Она имеет почти точно такой же диаметр (96%), период обращения вокруг Солнца немного короче (225 суток), а масса составляет 0,8 массы Земли. Венера, как и Земля, окутана протяженной атмосферой; именно эта непрозрачная атмосфера настолько полно скрывает детали поверхности,

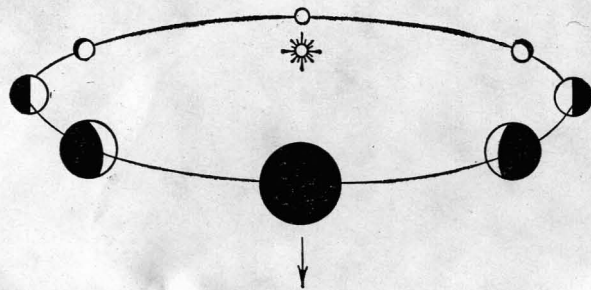


Рис. 4. Фазы Венеры для земного наблюдателя. (См. соответствующие фотографии на рис. 5.)

что мы не можем даже говорить уверенно о скорости вращения планеты. На основе косвенных данных и радиолокационных наблюдений мы полагаем, что период должен быть большим (гл. 12), возможно, равным 225 суткам, т. е. таким же, как период обращения планеты **). Данные радионаблюдений указывают на то, что невидимая поверхность Венеры, возможно, очень горяча и температура может быть 315°C и выше. Наблюдения обеих этих внутренних планет усложнены тем обстоятельством, что всегда мы можем видеть лишь освещенную Солнцем часть их поверхности. Когда Венера находится ближе всего к Земле, она имеет вид тонкого серпа, подобного серпу Луны близ новолуния (рис. 3), так как в это время Венера находится почти на прямой, соединяющей Землю с Солнцем. На рис. 4 показаны различные положения Венеры, соответствующие фотографиям на рис. 5. Названия и обозначения различных конфигураций планет даны в Приложении 2.

Марс лучше всего характеризовать как карликовую Землю (диаметр планеты равен половине диаметра Земли) с разреженной атмосферой и различимыми деталями поверхности (см. фронтиспис),

*) Недавно проведенные радиолокационные наблюдения Меркурия показали, что период его вращения определенно меньше периода обращения вокруг Солнца и составляет около 60 земных суток. (Прим. ред.)

**) В настоящее время радиолокационными методами твердо установлено, что направление осевого вращения Венеры обратно направлению обращения вокруг Солнца и период вращения составляет приблизительно 250 земных суток. (Прим. ред.)

но без океанов. Он обходит Солнце медленнее — за 686 суток. Однако Марс обладает двумя лунами или спутниками, тогда как Меркурий и Венера не имеют ни одного. Эти два спутника Марса немногим больше, чем были бы медали для Марса — бога войны, так как больший из них — Фобос — имеет поперечник всего 16 км. Деймос, более слабый и, как полагают на этом основании, еще меньшего размера, возможно, имеет диаметр всего 8 км (!).

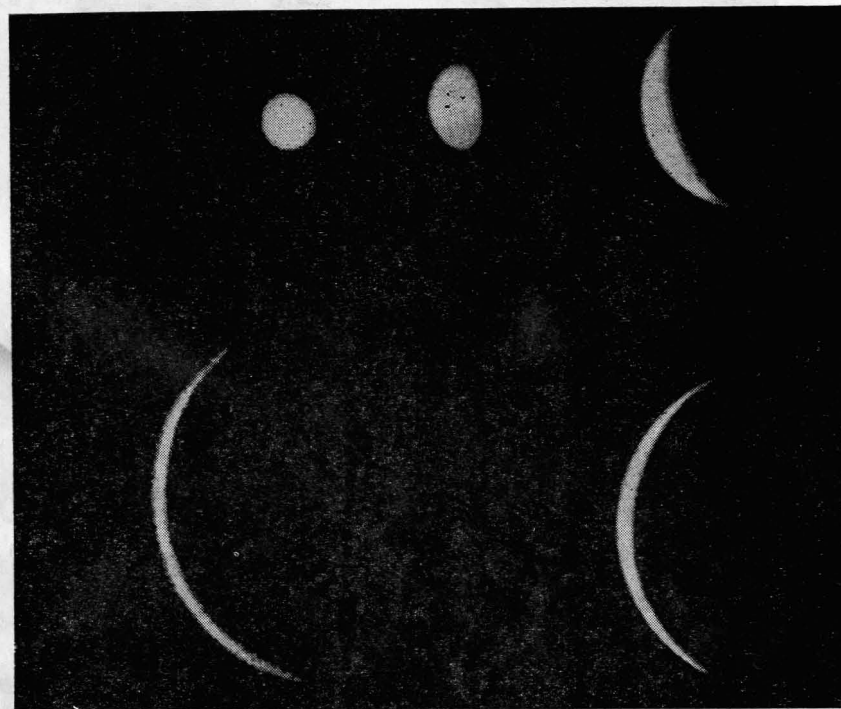


Рис. 5. Венера, сфотографированная с одним увеличением в различных фазах. (Фотографии Слайфера, обсерватория Лоуэлла.)

О существовании этих спутников-лилипутов, как это ни удивительно, было рассказано Джонатаном Свифтом (1667—1745) в его книге «Путешествия Гулливера» (Лапута, гл. 3) примерно за 150 лет до их открытия (1877 г.). Согласно сообщению Гулливера астрономы облачного острова Лапуты имели небольшие, но весьма совершенные телескопы, при помощи которых они «открыли две малые звезды или спутника, которые обращаются вокруг Марса, причем ближайший удален от центра главной планеты точно на три ее диаметра, а более далекий — на пять; первый совершает свое обращение за десять часов, а второй — за двадцать один с половиной час».

Эти периоды обращения оказались удивительно близкими к истинным, так как Фобос обращается вокруг Марса за 7 час. 39 мин., а Деймосу на это требуется 30 час. 18 мин. Однако мифические расстояния от центра Марса слишком велики — Фобос отстоит от него

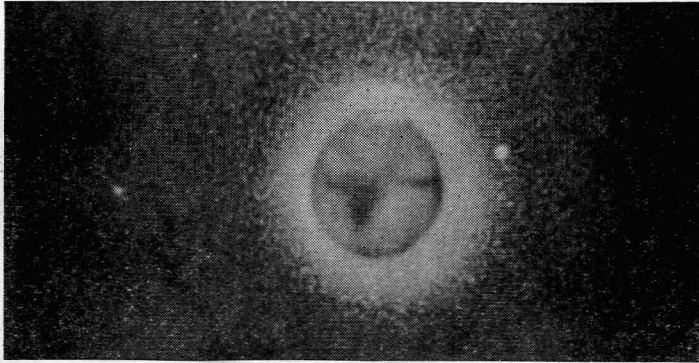


Рис. 6. Марс и его спутники Деймос (слева) и Фобос (справа). При фотографировании слабых спутников изображение планеты оказалось передержанным и было заменено изображением при нормальной экспозиции. (Фотография Слайфера, обсерватория Лоуэлла.)

всего на 1,4 диаметра планеты, а Деймос — на 3,5 диаметра (рис. 6). Было бы весьма поучительно изучить лапутянские открытия в деталях, но Гулливер лишь упоминает, что «лапутяне» наблюдали

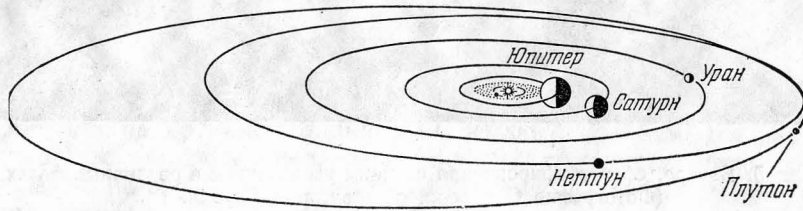


Рис. 7. Орбиты (в проекции) внешних планет вокруг Солнца. Плутон проходит внутри орбиты Нептуна, но не пересекает ее вследствие разности наклонов. Обратите внимание на астероиды и относительно небольшие размеры орбиты Марса.

девяносто три различные кометы и с большой точностью установили их периоды «возвращения».

Быстрое движение Фобоса делает этот спутник уникальным в солнечной системе. Его период обращения меньше марсианских суток, составляющих 24 часа 37 мин. Если смотреть с поверхности Марса, то Фобос восходит на западе и заходит на востоке.

Прежде чем перейти к внешним планетам, отметим, что четыре планеты — Меркурий, Венера, Земля и Марс — действительно очень похожи друг на друга, все они примерно одинакового размера и довольно плотные, как если бы были сделаны из камня или железа. Вследствие их сходства с Землей они справедливо отнесены к планетам *земной группы*. Плутон, вероятно, больше всего похож на большой промерзший астероид. С другой стороны, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — совершенно иные планеты: по сравнению с Землей они гиганты, а плотность их порядка плотности воды. На рис. 7 показано, как выглядят их орбиты, если смотреть на них, находясь за пределами орбиты Плутона. На такой мелкомасштабной карте орбиты, изображенные на рис. 1, оказались заключенными в пределах очень небольшой области, окружающей Солнце.

Юпитер выделяется среди планет как самая большая из них. Его диаметр в 11 раз больше диаметра Земли, но при этом он вращается быстрее всякой другой планеты — продолжительность его суток немного меньше 10 часов. Юпитер вращается настолько быстро, что экватор его под действием центробежной силы оказывается сильно выпяченным. Так как плотность Юпитера всего на 1/3 больше плотности воды, то неудивительно, что он обладает очень протяженной атмосферой, толщина которой нам неизвестна. Известно лишь, что над теми гигантскими облаками, которые мы можем видеть извне, имеются аммиак, метан (болотный газ) и водород. Нет сомнений, что видимые в атмосфере Юпитера образования — облака, так как форма их беспрестанно изменяется. Основная особенность структуры облаков — их вытянутость в полосы, параллельные экватору, как если бы облака были гонимы «пассатами», которые возникают вследствие быстрого вращения (рис. 8). Но, как показывает анализ радиоизлучения Юпитера, его внутренняя часть вращается как твердое тело.

Атмосферы других гигантских планет очень похожи на атмосферу Юпитера, различия можно отнести в значительной мере за счет того, что эти планеты, находясь дальше от Солнца, имеют более холодные поверхности. Нептун, отстоящий от Солнца на 30 а. е., получает от него тепла и света в 900 раз меньше, чем Земля. По сравнению с предполагаемой на поверхности Нептуна температурой (ниже -180°C) твердый углекислый газ («сухой лед») близ его точки плавления можно считать горячим. В этих условиях как азот, так и кислород замерзают.

Хотя планеты-гиганты холодны и необитаемы, их большие массы и разделяющие их огромные расстояния позволяют им управлять удивительно большими семействами спутников. Первое место здесь опять-таки принадлежит Юпитеру с его двенадцатью спутниками; на втором месте стоит Сатурн, у которого их девять*), в то время как

*) В декабре 1966 г. французский астроном Дольфюс открыл десятый спутник Сатурна. (Прим. перев.)

Уран имеет пять, а Нептун — всего два спутника (рис. 9 и 10). Самый яркий спутник из семейства Юпитера, Ганимед, больше Меркурия, а спутник Юпитера Каллисто и спутник Сатурна Титан примерно такой же величины. Тритон — спутник Нептуна и два спутника Юпитера сравнимы по размерам с нашей Луной, а диаметры



Рис. 8. Юпитер, сфотографированный в синих лучах при помощи 200-дюймового рефлектора; видно большое Красное Пятно.

прочих колеблются от размеров небольших астероидов до половины диаметра Луны. Системы Юпитера и Сатурна представляют собой во всех отношениях в миниатюре солнечную систему, за исключением того факта, что планеты не излучают сами свет, а светят лишь отра-



Рис. 9. Нептун и Тритон.

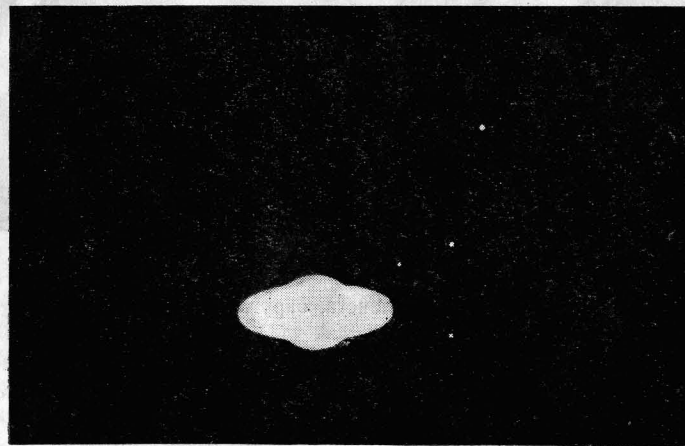


Рис. 10. Сатурн и его четыре спутника: Титан (наверху), Рея, Диона и Тетис. Кольца и диск Сатурна передержаны и поэтому «слились». Фотография сделана при помощи 82-дюймового рефлектора обсерватории Мак-Дональд.

женным светом Солнца. Большие планеты более массивны по сравнению со своими самыми крупными спутниками, чем Солнце по сравнению с Юпитером или Сатурном.

Еще поразительнее сходство с солнечной системой в целом в системе Сатурна, так как эта планета не только управляет девятью спутниками, т. е. тем же числом, что и число известных планет, движущихся вокруг Солнца, но обладает также семейством миниатюрных астероидов, образующих большие кольца (рис. 11).

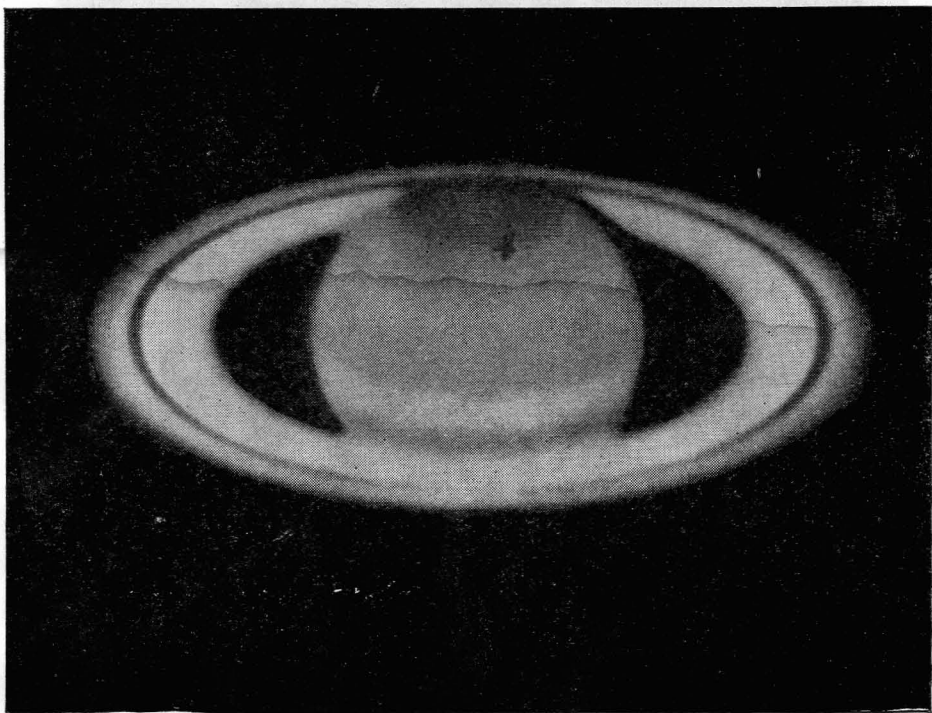


Рис. 11. Сатурн — планета, окруженная кольцами.

Эти кольца настолько близки к самому Сатурну, что при рассмотрении в первые несовершенные телескопы они казались ушками или придатками планеты. Галилей, первым увидевший четыре ярких спутника Юпитера, иногда рисовал Сатурн состоящим из трех частей — центрального тела и двух симметричных боковых отростков (рис. 12). Ныне мы знаем, что кольца состоят из небольших обломков вещества, покрытых льдом и обращающихся вокруг Сатурна в одной плоскости. Толщина колец очень мала, при сравнении с

их шириной кольца кажутся тоньше листа бумаги. Если смотреть на кольца под различными углами, они выглядят по-разному; если смотреть с ребра, кольца не видны, а под наибольшим возможным углом они выглядят довольно широкими.

Еще дальше, чем Нептун, находится открытая последней планета Плутон. О Плуtone как о планете известно очень мало. Согласно наиболее достоверным сведениям Плутон гораздо меньше Земли и менее массивен; период его вращения 6 сут. 9 час.; вероятно, у Плутона нет атмосферы.

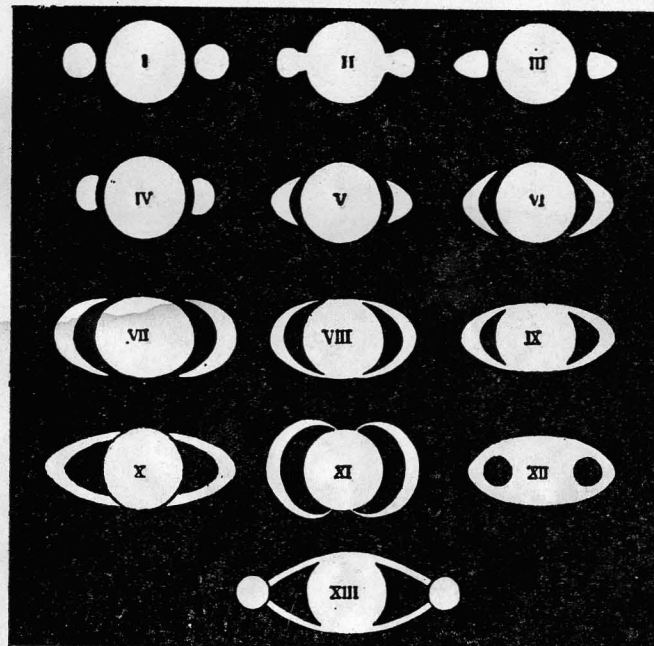


Рис. 12. Ранние зарисовки Сатурна.

Чтобы завершить наше беглое знакомство с солнечным семейством, следует упомянуть о замечательных кометах (рис. 13). Эти удивительные странники порождали больше суеверных страхов в сознании людей, чем все другие небесные тела. Большинство комет движется по очень сильно вытянутым орбитам и приближается к Солнцу за время одного оборота на очень непродолжительное время. Пока кометы находятся далеко от Солнца, они слишком слабы, чтобы их можно было наблюдать, но при наибольшем приближении к Солнцу в перигелии яркость комет резко возрастает.

В этот отрезок времени кометы становятся весьма активными, при этом они теряют значительную часть своего вещества, образуя

в пространстве вокруг своих ядер большую кому — оболочку (см. рис. 13), состоящую из газов и небольших пылевых частиц. Солнечный свет и газовый «солнечный ветер» отгоняют газы и пыль от головы кометы, в результате чего образуется большой хвост, а иногда



Рис. 13. Голова кометы Уиппла — Бернаскони — Кюлина 28 февраля 1943 г.

и несколько хвостов, как правило, сложной структуры. Строение и яркость хвостов показаны на рис. 14. В настоящее время большинством астрономов принята гипотеза автора, согласно которой кометы, представляющие собой шары из загрязненного льда, становятся активными лишь при достаточном приближении к Солнцу, когда лед начинает испаряться.

В последующих главах мы познакомимся ближе с каждым из членов солнечной семьи, с которыми мы встретились в данной гла-

ве. Каждый из них имеет свой «характер», который становится понятнее при более близком знакомстве. Существует также немало

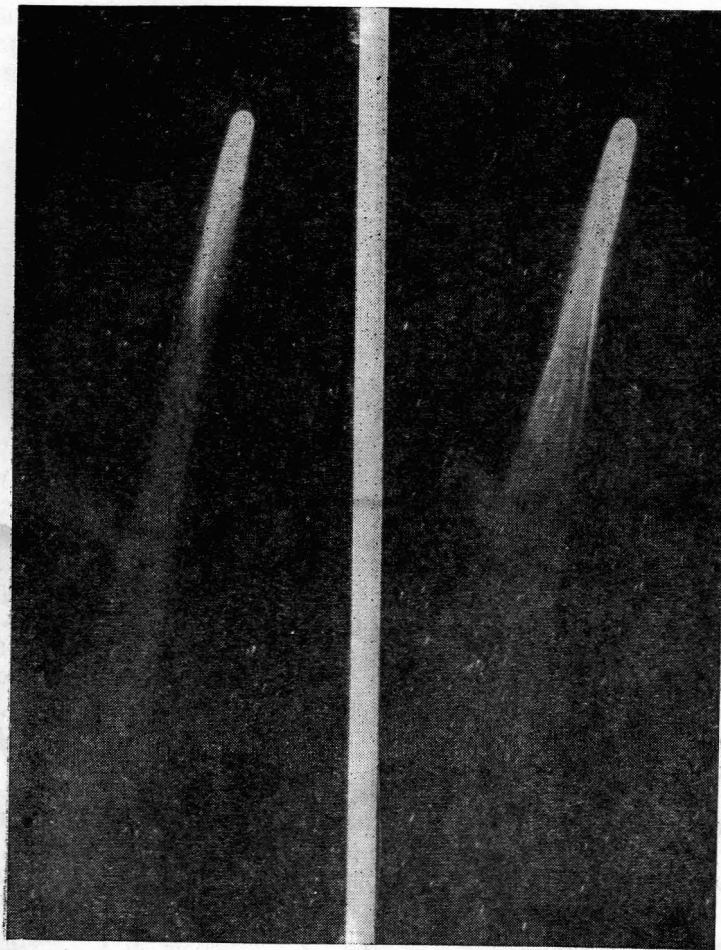


Рис. 14. Две фотографии кометы Галлея. Во время экспозиции телескоп следовал за движением кометы, поэтому изображения звезд получились в виде черточек.

возбуждающих любопытство проблем и даже несколько «семейных тайн», касающихся строения и происхождения солнечной системы.

В следующей главе мы рассмотрим важную проблему семейного единства и познакомимся с той связующей силой, которая удерживает каждого члена семьи на своем месте.

Почему солнечная система не распадается

Могущественная и всеобъемлющая сила позволяет Солнцу удерживать планеты на их орбитах и дает возможность планетам удерживать свои спутники. Открытие закона всемирного тяготения, который описывает эту силу, представляет собой грандиозный подвиг человеческого ума. Только гениальный ученый, подобный Исааку Ньютону (1643—1727), мог, исходя из наблюдательных данных и теорий своего времени, развить новую отрасль математики для решения динамических задач, а затем, объединив наблюдения и математическую теорию, сформулировать простой, но универсальный закон. Чтобы лучше понять, сколь многого достиг Ньютон, бросим взгляд назад на те основы науки, из которых он исходил в своих изысканиях.

В течение двух веков, предшествовавших деятельности Ньютона, нескольким европейским ученым удалось собрать ряд наблюдательных данных и аргументов, опровергающих представление, согласно которому центром Вселенной является Земля, щедро освещаемая Солнцем, а Луна, планеты и звезды являются приятной для глаза декорацией. Николаю Копернику (1473—1543) пришлось приложить огромные усилия, чтобы опровергнуть самую идею о неподвижности Земли — идею, которая очень длительное время поддерживалась и оберегалась последователями древнегреческого философа Аристотеля (384—322 гг. до н. э.). В действительности многие древнегреческие мыслители благосклонно относились к философской концепции движущейся Земли, но авторитет Аристотеля препятствовал распространению этой концепции. Древние представления о движениях планет, когда предполагалось, что их видят с неподвижной Земли, показаны на рис. 15. Обратите внимание на то, что эта система Птолемея (2-й век н. э.) исключительно хорошо и просто отображает наблюдаемые факты.

После того как идея о движении Земли была признана вероятной, хотя и не была окончательно доказана, возникла следующая трудная задача — установить, как и почему Земля движется. Звезды, представляющие собой в действительности далекие солнца, находятся слишком далеко от нас, чтобы при измерениях, сделанных

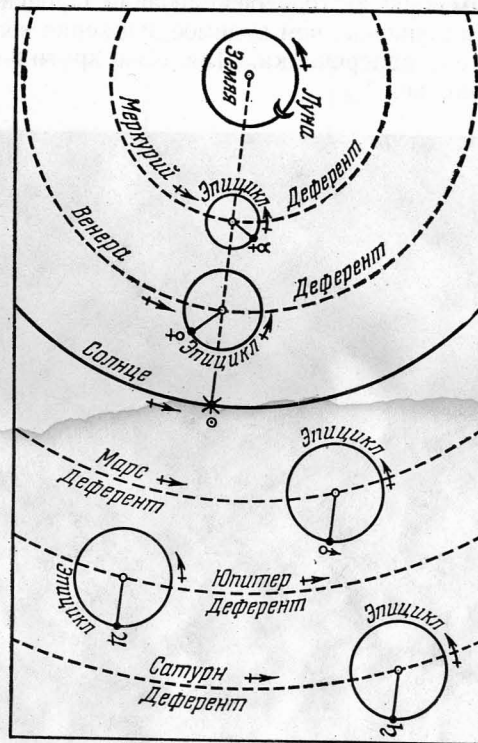


Рис. 15. Система Птолемея. Согласно учению древнего греко-египетского астронома Птолемея планеты движутся по малым кругам вокруг фиктивных планет, которые движутся по большим кругам вокруг неподвижной Земли (из «Учебника общей астрономии» Юнга, 1888 г.).

даже много лет спустя после изобретения телескопа, по их смещению в течение года заметить колебания Земли вокруг Солнца на 150 млн. км в ту и другую сторону. Вполне можно было понять критиков новой теории, которые решительно отстаивали точку зрения о неподвижности твердой Земли в пространстве. «Если она движется, во что хотели бы заставить нас поверить эти юные выскочки, то почему же тогда звезды в течение года не совершают на небе колебаний туда и обратно?» Этот аргумент является вполне убедитель-

ным, и его удалось опровергнуть только в 19 в. при использовании самых точнейших методов наблюдений. Ближайшая звезда — Проксима Центавра — находится от нас на расстоянии 270 000 а. е. С этого расстояния радиус земной орбиты должен казаться меньше толщины человеческого волоса, если смотреть на него с расстояния около 14 м. Таким образом, годовое колебание Проксимы Центавра измеряется углом меньшим, чем видимое движение волоса, если его смещать на два его поперечника. Для всех других звезд годовое смещение еще меньше.

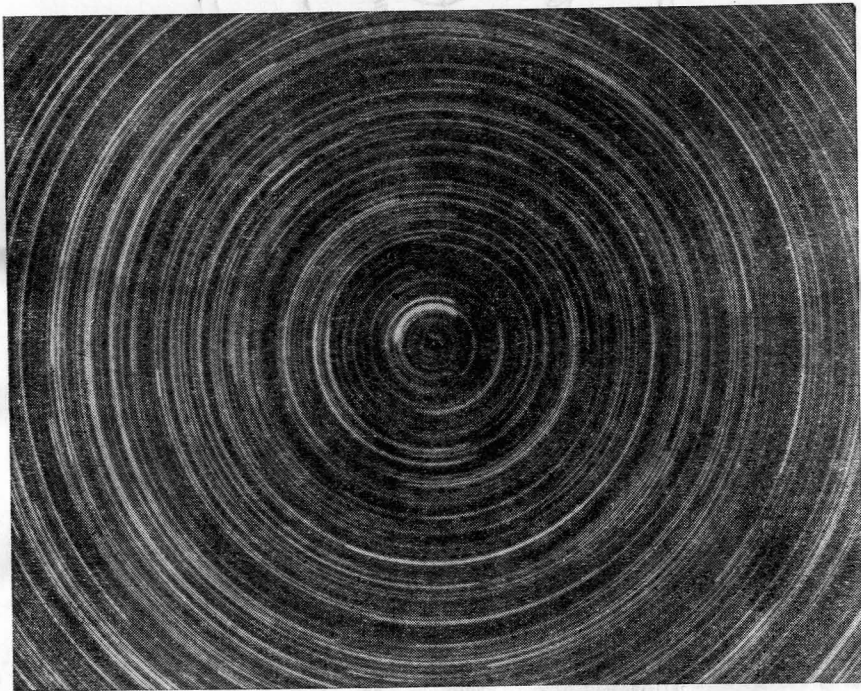


Рис. 16. Снимок звездного неба, сделанный с выдержкой 8 часов при неподвижной камере, направленной на северный полюс. След в виде толстой черты близ центра оставлен Полярной звездой. (Фотография получена Фредом Чаппелем, Ликская обсерватория.)

В то время как аргумент против движения Земли был еще в полной силе, все более и более трудным становилось предвычисление положений Солнца и планет на будущее с той степенью точности, которая соответствовала бы растущей точности наблюдений. Изобретение часов еще сильнее выявило необходимость более точных вычислений и создания более эффективных инструментов для измерения направлений на небе. Необходимо было точно знать, как

планеты в действительности движутся в пространстве. Суточное вращение Земли (рис. 16) и ее годовое обращение, как мы теперь знаем, весьма усложняют эту задачу, так как все наблюдения приходится вести с Земли, которая сама находится в движении. Кроме того, лучи света должны пройти сквозь атмосферу, которая при наблюдении близ горизонта может их сильно отклонять (до половины градуса).

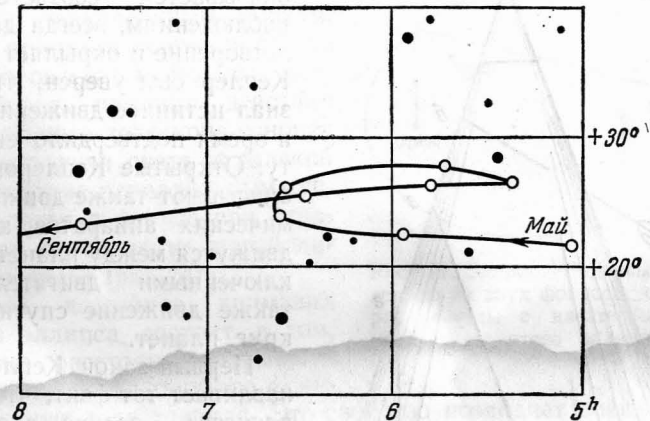


Рис. 17. Такой путь прошел Марс на фоне звезд за 4 месяца. Кружками изображены положения Марса через полумесячные интервалы.

Влияние вращения Земли и ее атмосферы можно в значительной степени устранить, если мы будем рассматривать относительные положения звезд в неподвижной системе, охватывающей все небо, а затем будем измерять положения планет по отношению к звездам. Видимое движение Марса во время одного *противостояния* (см. Приложение 2) его с Солнцем показано на рис. 17. Эта причудливая кривая на фоне звезд мало похожа на плавную кривую действительного движения Марса в пространстве, показанную на рис. 1.

В 16 в. великий датский астроном Тихо Браге (1546—1601) сделал все, что мог, чтобы уточнить сведения о движении планет. Принцип его работы следовало бы запомнить каждому научному работнику, так как этот принцип является олицетворением самой сущности правильного метода научной работы. Тихо Браге создал самые лучшие, какие он только смог сделать, приборы, выполнил самые точные наблюдения, которые были доступны с этими приборами, а затем тщательно исследовал свои инструменты с тем, чтобы определить величину ожидаемых ошибок. Длительные наблюдения Марса, выполненные Тихо Браге, были детально проанализированы Иоганном Кеплером из Вюртемберга (1571—1630). Кеплер пытался

среди разного рода рассмотренных им движений найти то, которое соответствовало бы движению Марса. Некоторые виды эксцентрических движений Марса вокруг Солнца почти соответствовали наблюдаемым. Но Кеплер был одержим стремлением к научным идеалам. Благодаря настойчивости ему удалось в конце концов открыть три очень простых закона, описывающих движение планет вокруг Солнца.

Простой закон, если он оказывается соответствующим наблюдениям, всегда дает удовлетворение и окрыляет ученого. Кеплер был уверен, что он познал истинное движение планет, и время подтвердило его правоту. Открытые Кеплером законы описывают также движение космических аппаратов, когда они движутся между планетами с выключенными двигателями, а также движение спутников вокруг планет.

Первый закон Кеплера устанавливает тот факт, что орбита планеты — эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Эллипс представляет собой одну из самых простых замкнутых плоских кривых; эта кривая всегда нравилась математикам, так как по отношению к ней можно сформулировать множество простых теорем. Получить эллипс почти так же просто, как начертить окружность. Берется конус и пересекается плоскостью.

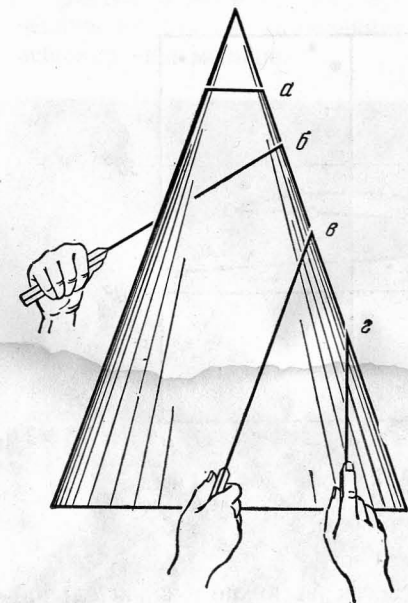


Рис. 18. При сечении конуса плоскостью образуются: *a* — круг, *b* — эллипс, *v* — парабола, *z* — гипербола. Эти плоские кривые называются коническими сечениями.

Кривая, по которой конус и плоскость пересекаются, и есть эллипс (см. сечение *b* на рис. 18). Вы можете, конечно, проявить изобретательность и провести плоскость через вершину, тогда получится только точка. Если провести плоскость перпендикулярно оси, получится окружность (сечение *a*). Плоскость можно провести параллельно образующей конуса. В последнем случае эллипс нигде не замыкается, становясь параболой (сечение *v*) и переходя в гиперболу (сечение *z*), если секущая плоскость будет ближе к вертикальной.

Эти возможные виды сечения не составляют никакой проблемы для математики, которая называет все такие кривые коническими сечениями и даже формулирует теоремы, относящиеся одновременно ко всем этим кривым.

Существует ряд теорем о фокусе эллипса. Например, если мы проведем прямую из одного фокуса к одной из точек эллипса, а затем от этой точки прямую под тем же углом к касательной к эллипсу, то прямая всегда пройдет через второй фокус, как показано на рис. 19. Еще проще эта задача для параболы, так как в этом случае отражаются параллельным пучком. На этом принципе основана работа прожекторов и автомобильных фар. И, наоборот, принцип действия отражательного телескопа основан на том, что лучи света от далекой звезды, идущие параллельным пучком, сходятся в фокусе при отражении от поверхности параболического зеркала (рис. 20).

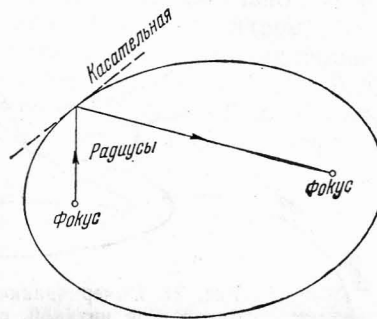


Рис. 19. Эллипс. Радиусы, проведенные из двух фокусов, образуют равные углы с касательной. Эксцентриситет этого эллипса равен 0,72.

Другое достойное внимания свойство эллипса состоит в том, что сумма расстояний от любой точки эллипса до двух его фокусов — величина постоянная. Это свойство позволяет очень просто вычертить эллипс. Воткните две прочные булавки в лист бумаги в точках, которые и будут фокусами. Затем сделайте петлю из шнура, накиньте ее на эти булавки, туго натяните петлю острием карандаша и начинайте чертить эллипс, двигая карандашом вокруг булавок так, чтобы он все время находился внутри тугий петли (рис. 21). Если булавки совместить, то будет вычерчен простейший эллипс — окружность.

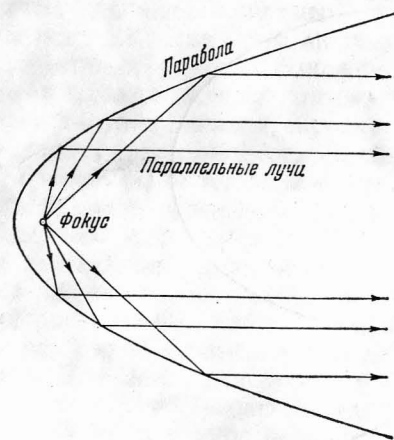


Рис. 20. Парабола. Все радиусы, выходящие из фокуса, отражаются параболой в виде параллельного пучка.

Согласно первому закону Кеплера Солнце всегда находится в одном из фокусов эллипса, другой фокус остается свободным и представляет собой всего лишь математическую точку. Различные возможные орбиты изображены на рис. 22. Ближайшая к Солнцу точка называется перигелием, а наиболее удаленная — афелием. Среднее расстояние равно полусумме расстояний перигелия и афелия, или большой полуоси эллипса. Форма орбиты определяется эксцентриситетом, который представляет собой

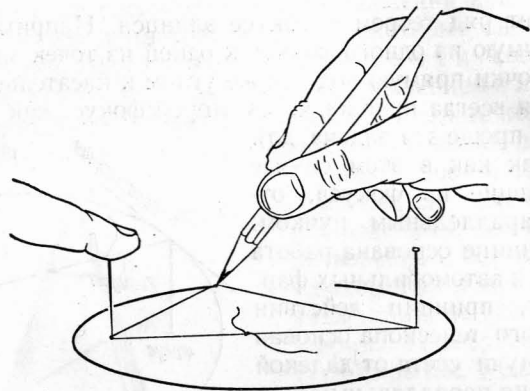


Рис. 21. Вычерчивание эллипса при помощи двух булавок и нитяной петли. Этот метод хорош, но мешает узел. Лучше привязать шнурок к одной из булавок.

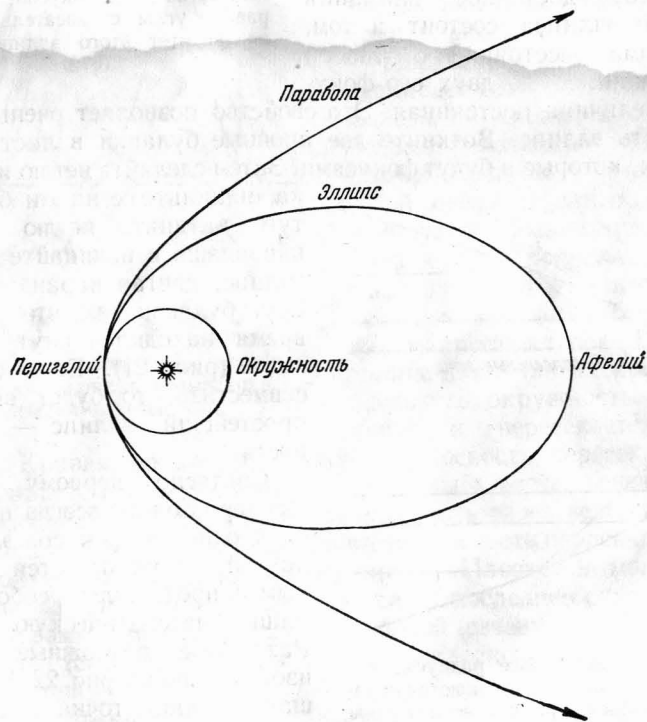


Рис. 22. Различные орбиты вокруг Солнца. Кометы движутся по орбитам, которые представляют собой очень вытянутые эллипсы — почти параболы близ Солнца. Орбиты планет — эллипсы, но очень близкие к окружностям.

разность расстояний афелия и перигелия, деленную на их сумму. Эксцентриситет окружности равен нулю, параболы — единице, а полей мужской шляпы — около 0,5.

Орбита Земли — почти окружность, ее эксцентриситет составляет всего $\frac{1}{60}$. Глазу такой эллипс кажется почти идеально вычерченной окружностью, но фокус явно не совпадает с центром. Меркурий и Плутон — единственные планеты, орбиты которых сильно отличаются от окружностей, их эксцентриситеты равны 0,21 и 0,25 соответственно. Таким образом, расстояние Плутона от Солнца меняется от 30 а. е. в перигелии, т. е. бывает меньше среднего расстояния Нептуна, до 50 а. е. в афелии. Проверим эти расчеты: среднее арифметическое 30 и 50 равно 40 — среднее расстояние Плутона в астрономических единицах; эксцентриситет $(50-30)/(50+30)=0,25$.

Второй сформулированный Кеплером закон движения еще проще, чем первый. Он гласит, что *прямая, связывающая планету с Солнцем, описывает в равные интервалы времени равные площади*. Это означает, что когда планета находится близко к Солнцу в перигелии, она должна двигаться с большей скоростью, чем когда она находится дальше, например, в афелии (рис. 23). Для Плутона скорость в перигелии равна 6,1 км/сек и в афелии 3,7 км/сек. Отношение этих скоростей равно $\frac{5}{3}$, как можно было догадаться по отношению этих двух расстояний. В перигелии (около 1 января) скорость Земли увеличивается на 0,9 км/сек по сравнению с ее скоростью в афелии, равной 29,1 км/сек.

Третий закон Кеплера — гармонический; он гласит, что *квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца находятся в том же отношении, что и кубы их средних расстояний*. Этот закон дает легкий способ вычислить период, если известно среднее расстояние тела, обращающегося вокруг Солнца. Выразим среднее расстояние в астрономических единицах. Найдем куб этого расстояния. Квадратный корень из куба равен периоду обращения, выраженному в годах. Для Земли эта формула удовлетворяется как следствие определения астрономической единицы и года: квадратный корень из 1^3 равен 1; период обращения Земли равен одному году. Для Нептуна среднее расстояние составляет 30 а. е., а $30^3=27\ 000$. Корень квадратный из 27 000 есть 164, что равно периоду обращения Нептуна в годах. Более точная величина периода 164,8 года получается, если использовать более точное значение среднего расстояния.

При помощи трех законов Кеплера — закона эллипсов, закона площадей и гармонического закона — можно предсказывать движе-

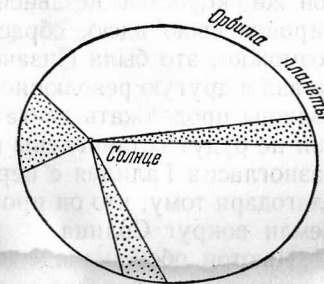


Рис. 23. В равные интервалы времени линия, соединяющая планету с Солнцем, описывает равные площади. Эксцентриситет данного эллипса равен 0,5.

ние планет на много лет вперед. В наши дни при этих вычислениях учитываются все три поправки: законы формулируются немного иначе, если учитывать массы планет; каждая планета оказывает возмущающее действие на движение других планет; небольшая поправка должна быть внесена в случае орбиты Меркурия вследствие существования эффекта, предсказываемого теорией относительности Эйнштейна.

Ньютон был вполне осведомлен о кеплеровских законах, описывающих движения планет, а также знаком с революционной идеей Галилео Галилея (1564—1642) о том, что все тела падают с одной и той же скоростью независимо от их размера. Галилей продемонстрировал свою идею, сбрасывая большой и малый грузы с башни; возможно, это была Пизанская падающая башня. Галилей поддерживал и другую революционную идею о том, что тела в пространстве должны продолжать двигаться бесконечно долго, до тех пор, пока они не будут остановлены какой-либо силой. Но хорошо известные разногласия Галилея с церковью в значительной степени возросли благодаря тому, что он проповедовал учение Коперника о движении Земли вокруг Солнца.

Ньютон обобщил идеи Галилея о движении материальных тел в пустом пространстве и сформулировал их в виде трех простых законов. Эти принципы движения настолько общеизвестны в наше время, что здесь мы их перечисляем только ради полноты. Первый принцип гласит, что *тело остается в покое или сохраняет равномерное прямолинейное движение до тех пор, пока какая-либо внешняя сила не выведет его из этого состояния*. Второй принцип утверждает, что *ускорение движения пропорционально действующей силе* (по существу, это определение силы); третий принцип утверждает, что *действие равно и противоположно по направлению противодействию*. В нашем современном мире машин явные приложения этих законов встречаются повсюду. Неумение измерить силы трения как в воздухе, так и между движущимися частями машин было тем препятствием, которое помешало открыть эти законы гораздо раньше.

Имея в виду все эти принципы движения, Ньютон начал размышлять над проблемами движений Луны и планет. Поскольку благодаря тяготению Земля притягивает к себе яблоко, пушечное ядро или перышко с силой, пропорциональной массе тела, то почему бы ей не притягивать и Луну? По всем правилам, Луне, если на нее не действуют никакие силы, следовало бы двигаться прямолинейно, однако в действительности Луна движется вокруг Земли, описывая кривую. Следовательно, в каждый данный момент она как бы падает на Землю, причем скорость падения измеряется отклонением от прямолинейного движения (рис. 24). Таким образом, притяжение Земли действует на Луну с силой, которая по величине должна быть как раз такой, чтобы заставить Луну падать так, как она это и делает.

«Но как сила тяготения уменьшается с расстоянием от Земли?» — спросил себя Ньютон. Чтобы ответить на этот вопрос, он сначала

вычислил закон изменения центростремительной силы, — направленной к центру силы натяжения, возникающей, если вращать привязанный к шнуру шар так, чтобы один конец шнура оставался неподвижным в одной точке. Ньютон установил, что для создания такой центростремительной силы сила притяжения должна уменьшаться обратно пропорционально квадрату расстояния от центра притяжения. Затем, используя законы Кеплера, Ньютон независимым способом доказал, что планеты также должны притягиваться к Солнцу с силой, обратно пропорциональной квадрату их расстояния.

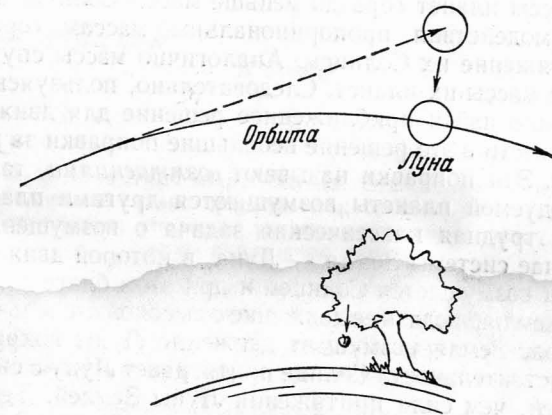


Рис. 24. Падающая Луна и падающее яблоко. Ньютон пришел к выводу, что тяготение Земли заставляет Луну падать к Земле, отклоняя ее тем самым от движения по прямой; согласно тому же закону яблоко должно падать с дерева.

Теперь Ньютон был готов к проверке своей теории на примере движения Луны. Но здесь он столкнулся с рядом трудностей. Сначала он использовал ошибочную величину размеров Земли, и к тому же ему пришлось побеспокоиться, чтобы доказать, что сила притяжения со стороны шарообразной Земли будет такой же, как если бы вся масса Земли была сконцентрирована в ее центре. Однако в конце концов задуманная Ньютоном проверка была сделана. Сопоставив все данные, он пришел к выводу, что *любая частица вещества во Вселенной притягивает любую другую частицу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними*. Этот закон всемирного тяготения объясняет все сложные движения в солнечной системе с той высокой степенью точности, которая возможна при астрономических измерениях (около $\frac{1}{10^6}$). Единственным исключением является забегание вперед перигелия Меркурия примерно на $43''$ в

столетие, предсказанное теорией относительности Эйнштейна. (Под углом $43''$ был бы виден зрачок глаза на расстоянии около 45 м.)

Таким образом, солнечная система существует как целое благодаря притяжению Солнцем планет, а системы спутников — благодаря притяжению планетами спутников. Задача была бы очень простой и полностью решалась бы законами Кеплера, если бы не такое неудачное обстоятельство: все планеты, кроме того, притягивают друг друга, а также свои спутники и Солнце. Это всемирное притяжение настолько усложняет задачу, что ее точное решение не существует. Единственное облегчающее обстоятельство состоит в том, что массы планет гораздо меньше массы Солнца, а потому и силы их взаимодействия, пропорциональные массам, гораздо меньше, чем притяжение их Солнцем. Аналогично массы спутников гораздо меньше массы их планет. Следовательно, пользуясь законами Кеплера, можно найти приближенное решение для движения планет, а затем ввести в это решение небольшие поправки за взаимодействие планет. Эти поправки называют *возмущениями*, так как движение исследуемой планеты возмущаются другими планетами.

Наиболее трудная классическая задача о возмущениях встречается в случае системы Земля — Луна, в которой движение Луны вокруг Земли возмущается Солнцем и при этом благодаря близости Луны мы можем наблюдать ее движение с высокой степенью точности. Строго говоря, Земля возмущает движение Луны вокруг Солнца, так как в действительности Солнце притягивает Луну с силой, почти вдвое большей, чем сила притяжения Луны Землей. Тем не менее можно не опасаться, что Солнце может украсть Луну у Земли и оставить нас без вдохновения в теплые летние ночи. Система Земля — Луна настолько компактна и эти тела движутся столь близко друг к другу, что солнечное притяжение приводит лишь к тому, что оба тела движутся вокруг Солнца по некоторой средней эллиптической орбите. Основные результаты влияния Солнца сводятся к следующему: во-первых, орбита Луны никогда «не выгибается» в сторону Солнца (рис. 25) и, во-вторых, на долю астрономов приходится гораздо больше работы при предвычислении движения Луны. Одно уравнивание движения Луны занимает 250 страниц большого формата и олицетворяет задачу, требующую для своего решения большей части жизни человека.

Тот факт, что Земля не является идеальным шаром (гл. 5) и поэтому притяжение исходит не точно из ее центра, довольно незначительно влияет на движение Луны. Однако движение искусственных спутников Земли сильно возмущается не только благодаря существованию этого эффекта, но, что более удивительно, даже благодаря давлению солнечного света. Кроме того, спутники снижаются вследствие сопротивления верхних слоев земной атмосферы. К тому же их периоды обращения настолько коротки (минимальный составляет всего 88 минут), что на вычисление всех этих сложных эффектов иногда даются лишь минуты. Следовательно, для успеш-

ного осуществления наших современных программ запусков спутников и космических аппаратов абсолютно необходимы электронные вычислительные машины, совершающие математические операции в тысячи раз быстрее, чем обеспечивали прежние методы

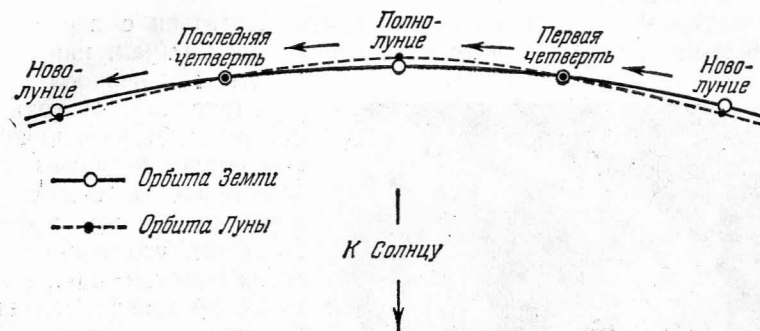


Рис. 25. Орбита Луны вокруг Солнца. Отклонения от идеального эллипса на чертеже сильно преувеличены; орбита Луны обращена к Солнцу вогнутостью; это можно увидеть, наклонив страницу и смотря вдоль пунктирной линии.

вычислений. Астрономы весьма широко используют эти машины, между прочим, и для того, чтобы способствовать решению и более старых задач небесной механики за месяцы вместо десятилетий.

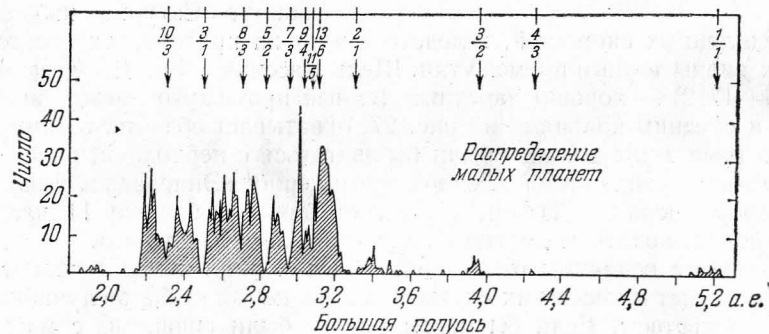


Рис. 26. Пробелы Кирквуда в периодах астероидов. Дроби равны отношениям периода Юпитера к периодам астероидов.

Среди планет солнечной системы Юпитер, несомненно, является самым «вредным мальчишкой», так как он возмущает движения всех планет и астероидов. При массе, равной 0,001 массы Солнца — «львиной доле» массы всей семьи планет, — Юпитер вызывает гораздо более сильные возмущения, чем другие планеты, в особенности возмущения астероидов, которые находятся ближе всего к нему в межпланетном пространстве (см. рис. 7). Если вычислять орбиту

астероида без учета притяжения его Юпитером, ошибки предвычисления могут за несколько лет вперед составить несколько градусов. Вследствие этого астероиды иногда «теряются», пока их независимо не открывают заново и не отождествляют затем по их орбитальной траектории и блеску.

Юпитер заставляет также астероиды двигаться с периодами, которые не сводятся к простым дробным частям (как, например,

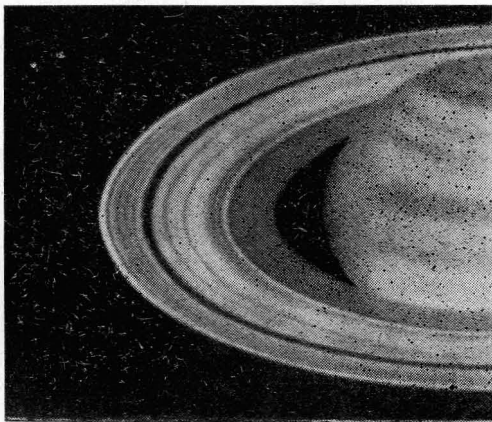


Рис. 27. Кольца Сатурна по рисунку Б. Лью.

$1/2$ или $1/3$ периода Юпитера (рис. 26). В кольцах Сатурна, которые, как мы упоминали, подобны системе астероидов, существует точно такой же эффект. Тот факт, что вокруг Сатурна имеются кольца, а не одно кольцо, является следствием возмущений составляющих кольца крохотных лун. Возмущения порождаются тремя внутренними спутниками Сатурна — Мимасом, Энцеладом и Тефией. Эти спутники вынуждают малые частицы в кольцах при их движении вокруг Сатурна избегать

определенных скоростей, вследствие чего на критических расстояниях видны темные промежутки. Щель Кассини (Дж. Д. Кассини, 1625—1712) — хорошо заметный темный промежуток между внешним и средним кольцами на рис. 27, охватывает область, в которой крохотные луны должны были бы двигаться с периодами, равными половине периода Мимаса, одной трети периода Энцелада или одной четвертой периода Тефии, составляя немного больше 11 часов. Можно наблюдать и другие ожидаемые «темные кольца».

Большие величины отношений массы Солнца к массе планет и массы планет к массам их спутников тоже не могут быть случайным обстоятельством. Если бы массы планет были сравнимы с массой Солнца, солнечная система была бы совершенно иной. В данном случае существенно, что одно тело всегда находится близ центра тяжести системы, т. е. точки, вокруг которой все тела уравниваются так, как если бы они поддерживались невесомыми стержнями, находясь в однородном поле притяжения, подобном полю земного притяжения. Ни одна из планет не могла бы оставаться подобно Солнцу близ современного центра тяжести солнечной системы. Вместо этого все они двигались бы по сложным почти не поддающимся предвычислению кривым. И хотя математика не в состоянии дать точного решения даже в случае трех тел почти одинаковой массы,

она позволяет убедиться, что в нашем гипотетическом случае результаты были бы катастрофическими. Некоторые планеты были бы уничтожены вследствие столкновения, а другие, по всей вероятности, выталкивались бы из системы до тех пор, пока система не оказалась бы в конце концов состоящей из двух самых больших тел, движущихся друг вокруг друга на умеренном расстоянии и имеющих при себе меньших компаньонов или системы спутников. Прочие тела смогли бы оставаться в системе лишь на очень больших расстояниях от самых крупных тел. Наш опыт в отношении двойных и кратных звезд показывает, что такие звезды обычно встречаются в виде пар, отстоящих от других пар системы на относительно больших расстояниях. Возможно, астероиды представляют собой остатки той планеты, которая пыталась конкурировать с Юпитером. В настоящее время солнечной системе не угрожает опасность, что она утратит какую-либо планету или в ней произойдет сколько-нибудь значительное столкновение. Наша абсолютная уверенность в том, что с солнечной системой не может случиться никакого несчастья, распространяется лишь на сотни миллионов лет, однако, по правде говоря, мысль о возможных бедах в более поздний период времени не слишком гнетет нас в данный момент.

Открытия Нептуна и Плутона

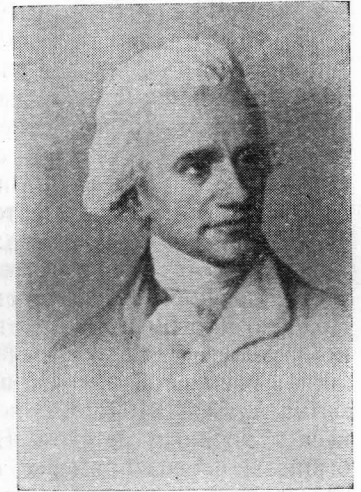
Замечательная история открытий Нептуна и Плутона в действительности начинается с открытия Урана, потому что, не будь наблюдений Урана, два более поздних открытия могли бы задержаться на многие годы. Вместе с тем открытие Урана знаменует начало новой эпохи в истории астрономии, так как Уран был первой планетой, которая была «открыта». Ведь Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн всегда были видимы невооруженным глазом любому человеку, посмотревшему на небо (если только глаза наших доисторических предков не были гораздо несовершеннее наших глаз).

Вильям Гершель (1738—1822), может быть, самый прилежный наблюдатель всех времен, в 1781 г. первым заметил небольшой диск (3", 6) Урана. Его сообщение об этом открытии ясно показывает, что он не сразу разобрался в истинном характере нового объекта. В *Philosophical Transactions* (1781 г.) мы читаем: «Во вторник 13 марта между 10 и 11 часами вечера, наблюдая небольшие звезды по соседству с η Близнецов, я различил одну, которая на глаз выглядела крупнее остальных; будучи поражен ее необычной звездной величиной, я сравнил ее с η Близнецов и небольшой звездой в области между Возничим и Близнецами и, обнаружив, что она гораздо больше каждой из них, заподозрил, что это комета».

Объявление Гершелем нового объекта кометой было вполне естественным и осторожным шагом, что бы он ни думал о его истинной природе. Потребовалось несколько месяцев наблюдений и вычислений, чтобы убедиться, что кометообразное движение не может удовлетворить наблюдениям и что «комета» не может быть ничем иным, кроме новой планеты.

Лишь благодаря выдающейся остроте зрения и умению правильно разбираться в фактах Гершелю удалось по одному виду отличить планету от соседних звезд. Другие наблюдатели, занимавшиеся в то время измерением положений соседних звезд, 17 раз измеряли положение Урана и не заметили ничего необычного. Некоторые из крупных астрономов того времени с трудом отождествляли планету даже после того, как им было сообщено о ее точном положении на небе.

На протяжении ряда лет название «Уран» не было официальным названием планеты. Сначала она носила титул *Georgium Sidus* (название, данное Гершелем в честь короля Георга III). Называли ее также и «Гершель» в честь ее первооткрывателя. Наконец, было принято существующее теперь название в соответствии с наименованиями других планет.



Вильям Гершель.

Несмотря на медлительность движения Урана (его период обращения составляет 84 года), его орбиту удалось хорошо определить за сравнительно небольшой интервал времени после открытия планеты благодаря 17 случайным наблюдениям, которые были сделаны еще до того, как Гершель заметил диск планеты. Первое наблюдение было сделано в 1690 г., т. е. почти на полный период обращения Урана раньше его открытия. Вычислители орбиты столкнулись с некоторыми трудностями при попытке согласовать все наблюдения, но возможности ошибок в наблюдениях или отклонений в движении вследствие возмущения Урана другими планетами казались вполне достаточными, чтобы ими объяснить эти расхождения. Однако, когда Уран начал значительно отклоняться от вычисленной для него траектории даже после тщательного учета возмущений Юпитером и Сатурном, некоторые астрономы заподозрили, что движение Урана могло возмущаться неизвестной планетой.

В двадцатые и тридцатые годы 19 в. отклонения стали достаточно большими, чтобы возбудить такие подозрения, но математические трудности в предвычислении положения неизвестной планеты казались в то время непреодолимыми. К 1845 г. Уран отошел от предвычисленного положения на «нетерпимую величину» — 2', т. е. на угол, почти различимый невооруженным глазом. В 1846 г. великий французский астроном Леверье (1811—1877) показал, что в пределах приемлемых ошибок наблюдений наблюдения Урана нельзя согласовать с какой-либо орбитой. Леверье пришел к выводу, что

отклонения в движении Урана можно объяснить, только предположив, что за орбитой Урана существует какая-то неизвестная массивная планета.

Позднее, в 1846 г., Леверье завершил вычисления положения этой гипотетической планеты и был столь уверен в своем анализе, что рискнул предсказать ее положение и то, что она должна иметь различимый диск. Он послал свои вычисления молодому немецкому астроному Галле (1812—1910), который, получив их, *в ту же самую ночь* действительно открыл планету. Положение Нептуна на небе с точностью до 1° (менее двух диаметров Луны) совпало с местом, предсказанным Леверье. Своим мгновенным успехом Галле обязан тем, что в его распоряжении в Берлине была новая звездная карта соответствующей области неба. Уже беглый телескопический обзор неба обнаружил новый объект там, где раньше не наблюдалось никаких звезд. Тщательная проверка подтвердила и наличие диска, правда, слишком малого и поэтому трудно различимого.

Это замечательное открытие новой планеты методом математической дедукции является своего рода вехой в истории астрономии. Подобно многим великим открытиям, его следует приписать не одному человеку. В то время как Леверье осуществлял свои блестящие вычисления, молодой и никому не известный английский математик Адамс (1819—1892) независимо пришел к тому же результату несколько иным методом. В действительности вычисления Адамса были закончены примерно на 8 месяцев раньше, чем Леверье, но несчастливое стечение обстоятельств помешало английскому наблюдателю предвосхитить открытие Галле. Берлинскую звездную карту, которая так существенно помогла Галле в его открытии, в Англии тогда нельзя было достать. Поэтому астроном Чаллис (1804—1883) без особого энтузиазма начал в Кембридже поиски планеты трудоемким методом — путем нанесения на карту всех звезд в этой области, намереваясь наблюдать за ними в дальнейшем с тем, чтобы обнаружить планету по ее движению. Нептун также мог бы быть обнаружен на Гринвичской обсерватории, если бы не отрицательно относившийся ко всякой теории королевский астроном Эри, который попросту не поверил, что Адамс мог сделать предвычисление, имеющее реальную ценность.

Весь поворот событий был весьма печальным для Адамса, который, видимо, запланировал свое исследование на несколько лет ранее, чем получил возможность осуществить его. После его смерти среди его вещей была найдена следующая заметка: «1841, июля 3. В начале этой недели наметил план, как можно скорее после получения мной степени исследовать пока еще не объясненные неправильности в движении Урана, с тем чтобы выяснить, нельзя ли их приписать влиянию находящейся за Ураном неизвестной планеты, и если возможно, то затем приблизительно определить элементы ее орбиты и пр., которые, вероятно, могли бы привести к открытию этой планеты».

Приятно отметить, что ныне Леверье и Адамс поровну делят славу предсказателей существования и положения Нептуна. Галле же, конечно, целиком принадлежит честь действительного обнаружения планеты на небе. При более ранних измерениях положений звезд Нептун подобно Урану ошибочно принимали за звезду.

Проникновение в тайны солнечной системы на основе использования ньютоновского закона всемирного тяготения и тщательнейших наблюдений продолжалось и в нашем веке. Кульминацией этих усилий было открытие Плутона, причем обстоятельства этого открытия были удивительно похожи на обстоятельства открытия Нептуна. Как и тогда, планета фактически была обнаружена во время одного из ранних поисков, но в силу превратностей судьбы ее отождествление произошло гораздо позднее.

В начале нашего столетия Персиваль Лоуэлл (1855—1916), основавший во Флагстаффе (Аризона) обсерваторию с целью наблюдения планет, и в особенности Марса, активно заинтересовался возможностью существования планеты еще более далекой, чем Нептун. Он заново исследовал орбиту Урана и пришел к выводу, что кажущиеся ошибки наблюдений могли бы существенно уменьшиться, если учесть возмущения Урана неизвестной планетой. Вычисленные Лоуэллом орбита и положения планеты не были опубликованы до 1914 г., хотя поиски планеты он начал с 1905 г. Через 24 года в 1929 г. было завершено сооружение нового 13-дюймового рефрактора, который был установлен на обсерватории Лоуэлла для ускорения розыска новой планеты.

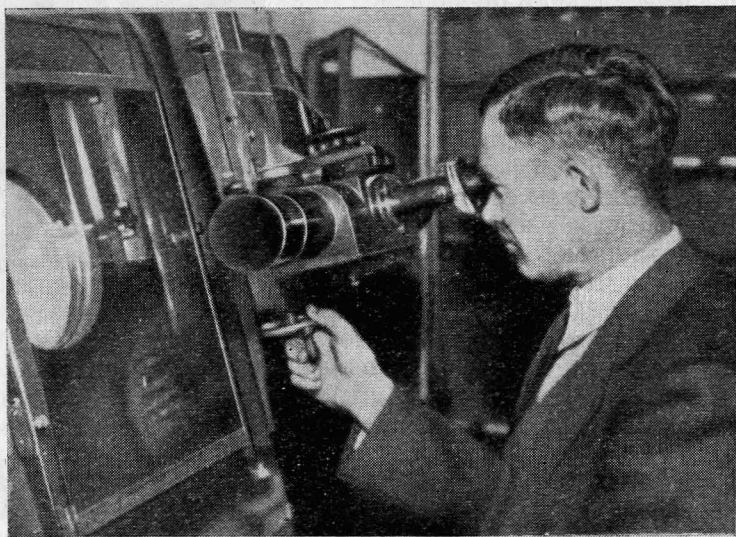
Молодому ассистенту Клайду Томбó было поручено систематически фотографировать области неба вдоль эклиптики. Для каждой области он делал две фотографии с длительными экспозициями, разделенные по времени на 2—3 дня. Затем в поисках ожидаемой планеты он очень тщательно сравнивал полученные фотографические пластинки. Сравнение делалось при помощи *блинк-компаратора* — прибора, снабженного двойным микроскопом, что позволяет наблюдателю попеременно видеть одну и ту же область неба на двух пластинках. Любой объект, который в течение интервала между двумя экспозициями перемещался по небу, кажется прыгающим «туда — сюда», в то время как звезды выглядят неподвижными.

12 марта 1930 г., т. е. менее чем через год после начала осуществления новой программы, обсерватория Лоуэлла через Гарвардское бюро протелеграфировала астрономическим обсерваториям



Персиваль Лоуэлл; его энтузиазм и сделанные им вычисления привели в конце концов к открытию Плутона.

следующее сообщение: «Систематически начатые много лет назад поиски в связи с исследованиями Лоуэллом планеты за орбитой Нептуна привели к открытию объекта, скорость движения и траектория которого в течение семи недель последовательно соответствовали телу, находящемуся за орбитой Нептуна приблизительно на том расстоянии, которое ему приписывал Лоуэлл. Пятнадцатая звездная величина. Положение на 3 часа всемирного времени 12 марта было $7''$ к западу от δ Близнецов, что согласуется с предсказанной Лоуэллом долготой».



Клайд У. Томбó у блинк-компаратора, у которого он провел 7000 часов в поисках планет.

Астрономический мир вскоре единодушно принял для этой планеты название Плутон, которое подходит ей, так как она движется во внешних не освещенных Солнцем областях солнечной системы. Кроме того, первые две буквы названия соответствуют инициалам Персиваля Лоуэлла, умершего в 1916 г., т. е. всего через два года после того, как им было опубликовано подробное предсказание движения новой планеты.

Последующие вычисления орбиты, выполненные на основании фотографий новой планеты, сделанных еще до ее открытия, показали, что она движется вокруг Солнца с периодом 246,5 года по орбите, наклоненной на 17° к средней плоскости других планет. В перигелии орбита Плутона проходит внутри орбиты Нептуна, но вследствие большого наклона орбиты эти два тела столкнуться не могут.

Только несчастливая случайность помешала открыть Плутон в 1919 г. астрономам обсерватории Маунт Вилсон. В это время Милтон Хьюмасон по поручению Уильяма Пикеринга (1858—1938), который независимо осуществил вычисления предполагаемого положения планеты, сфотографировал области вокруг предсказанного положения планеты и действительно получил изображение планеты на некоторых пластинках. Однако изображение Плутона на одной из двух лучших пластинок попало как раз на небольшой брак эмульсии (на первый взгляд оно казалось частью этого брака), в то время как на другой пластинке изображение планеты оказалось частично наложенным на какую-то звезду! Даже в 1930 г., когда положение планеты в 1919 г. было довольно хорошо известно из вычисленной орбиты, с трудом удалось отождествить те изображения Плутона, которые были получены 11 лет назад.

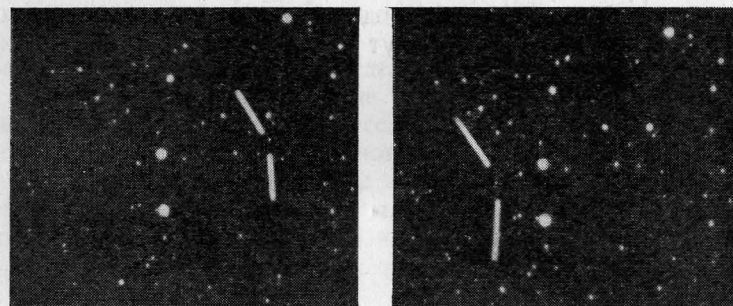


Рис. 28. Фотографии, по которым был открыт Плутон: слева — 23 января 1930 г., справа — 29 января 1930 г. (Фотографии получены К. У. Томбó при помощи 13-дюймового лоуэлловского рефрактора на обсерватории Лоуэлла.)

Если только Плутон не обладает фантастически большой плотностью или же не является исключительно плохим отражателем света, то его масса недостаточно велика, чтобы вызывать те отклонения в движении Нептуна, на основе которых было предсказано существование Плутона. Вот почему многие астрономы ныне полагают, что открытие Плутона было случайным. Тем не менее открытие, последовавшее в результате неустанных поисков планеты, представляет собой еще один шаг на пути прогресса науки. Все сотрудники обсерватории Лоуэлла достойны высшей похвалы за свою кропотливую работу и полученные результаты.

Томбó распространил начатые на обсерватории Лоуэлла поиски на все небо, но установил, что в пределах, доступных наблюдениям с 13-дюймовым телескопом, больше планет нет. Если другие планеты и существуют, то они должны или находиться гораздо дальше или быть гораздо меньше. Продолжение поисков гораздо

более слабых планет с одним из больших телескопов, например, с 5-метровым, неоправданно с практической точки зрения. Чем больше телескоп, тем пропорционально меньшую область неба он фотографирует. Поиски по всему небу с охватом всех объектов, блеск которых является предельным для наблюдения с 5-метровым телескопом, потребовали бы его непрерывного использования в течение всех безлунных ночей на протяжении долгих веков. Поэтому открытие планет, возможно, и существующих за орбитой Плутона, представляется весьма трудным делом, если только не сыграет роли какой-либо счастливый случай или же не будут применены новые методы наблюдений. Для радиолокационных телескопов такие расстояния слишком велики. Большой оптический телескоп, запущенный в межпланетное пространство или установленный на Луне и работающий в сочетании с телевизионной техникой и автоматической аппаратурой, предназначенной для поисков планет, возможно, и мог бы способствовать успеху, однако некоторые астрономы вообще сомневаются в том, что будут найдены еще какие-то планеты значительных размеров.

4

Весы и размеры

«Взвешивание» планет и определение их взаимных расстояний — это, конечно, наиболее важные задачи при изучении истинных свойств планет. Только зная массы отдельных тел, мы можем приступить к выяснению их подлинного строения. Кроме того, для посадки космических аппаратов на планеты и спутники необходимо знать расстояния, размеры и массы этих тел с наивысшей точностью. Таким образом, для расширения наших познаний фонд уже накопленных сведений должен отвечать определенным требованиям.

Расстояние от Солнца

Звезды, кажущиеся яркими точками, рассеянными по всему небу, образуют грандиозную систему отсчета, по отношению к которой мы можем измерять направления движений тел в солнечной системе. Как было замечено в гл. 2, звезды настолько далеки от нас, что наше перемещение, за исключением некоторых случаев, не оказывает ощутимого влияния на видимое положение звезд. Таким образом, при точных измерениях положений планет, Солнца и звезд по отношению к другим звездам, мы определяем как направление на Солнце, так и направление на планеты по отношению к хорошо известной системе отсчета.

Располагая точными наблюдениями и вычислениями, которые охватывают в настоящее время данные за сотни лет, мы можем воспользоваться законом всемирного тяготения Ньютона и вычислить все относительные положения и расстояния Солнца и планет с точностью до одной миллионной. Но все эти точные расстояния вычислены не в километрах или метрах, а в *астрономических единицах*, т. е. в расстояниях от Земли до Солнца.

С точки зрения задачи предвычисления положений планет практически не существенно, в каких единицах измеряется расстояние, однако ни одному ученому не доставит удовольствия измерительная линейка, длина которой неизвестна. При маневрировании космических кораблей нам также нужно знать истинные расстояния в километрах.

При измерении астрономической единицы мы сталкиваемся с тем фактом, что самым большим доступным для нас мерилom является сама Земля; ее размеры в настоящее время известны довольно точно. Но радиус Земли меньше $\frac{1}{20\,000}$ астрономической единицы —

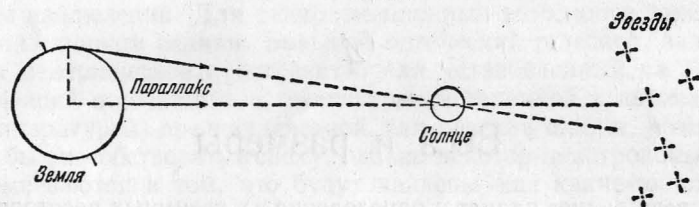


Рис. 29. Параллаксом Солнца называется угол, под которым с Солнца виден радиус Земли. Геоцентрическим параллаксом любого небесного объекта называется угол, под которым с этого объекта виден радиус Земли. (Параллакс звезд см. на рис. 47.)

с Солнца он виден под углом $8''{,}80$; этот угол называется *геоцентрическим параллаксом Солнца* (рис. 29). Хотя параллакс Солнца можно измерить, наблюдая его одновременно из двух отстоящих далеко друг от друга пунктов, угол этот настолько мал, что ошибка его измерения, выражаемая в процентах, оказывается большой; поэтому для точного измерения астрономической единицы измерения Солнца непригодны.

Более совершенный метод состоит в измерении в километрах расстояния до какого-либо тела, которое близко подходит к Земле. Так как расстояние этого тела в астрономических единицах доступно определению в любое время на основе множества наблюдений и вычислений, то, сравнивая две величины для одного и того же расстояния, можно найти число километров в астрономической единице. Однако Луна для этой цели непригодна, так как ее расстояние нельзя вычислить в астрономических единицах, не вводя в вычисления массу Земли. Ньютон установил (гл. 2), что движение Луны является прежде всего своего рода мерой земного притяжения. Марс при самых благоприятных условиях не подходит к Земле ближе, чем на 55 700 000 км, Венера подходит ближе — на 42 000 000 км, но в это время она находится почти в направлении Солнца, и ее положение, если речь идет не о радиолокационных измерениях, точно определить невозможно (см. рис. 4). Однако при использовании классического астрономического метода наилучшим объектом для этой цели оказался астероид Эрос.

Для астрономов поистине удовольствие извлечь хоть какую-то пользу из астероидов, так как, вообще-то говоря, астрономам от них больше неприятностей, чем помощи. В. Бааде (обсерватории Маунт Вилсон и Маунт Паломар) однажды назвал их «паразитами неба». Когда Эрос приближается к Земле до расстояния 22 500 000 км, его параллакс примерно в 7 раз больше параллакса Солнца, т. е. составляет свыше $1'$. Кроме того, этот астероид выглядит и получается на фотографии как звезда или точечный источник света, поэтому его измерения легко выполнимы и очень точны. Наблюдатели вместо того, чтобы выбирать для своих наблюдений различные

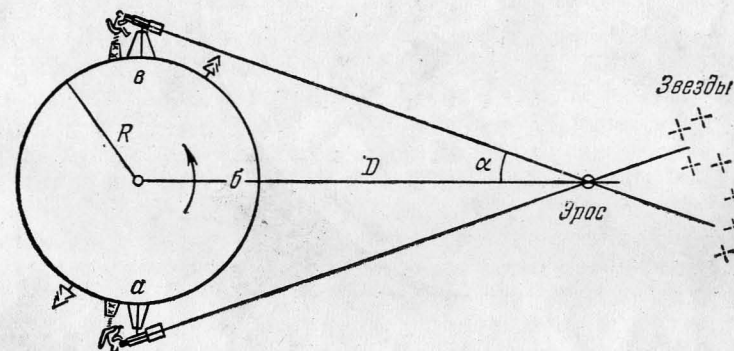


Рис. 30. Измерение расстояния до Эроса. Чтобы измерить параллактический угол α с вершиной в Эросе и вычислить расстояние D , наблюдатель благодаря вращению Земли перемещается из положения a в положение v .

пункты Земли, могут работать независимо друг от друга. Каждый из них просто ждет, чтобы Земля повернулась (рис. 30), и фотографирует астероид вечером (a), в полночь (b) и утром (v). Положение Эроса среди звезд меняется вследствие различия положения наблюдателя по отношению к Земле. Зная момент, когда был сделан каждый фотографический снимок, и свое точное положение на Земле, наблюдатель может вычислить расстояние D до Эроса в километрах так же точно, как если бы наблюдения были сделаны в различных пунктах Земли. Этот процесс аналогичен процессу оценки небольшого расстояния с помощью только одного глаза, когда вы поворачиваете голову или двигаете ею из стороны в сторону.

Наблюдения движения Эроса по небу между наблюдениями нуждаются в значительном исправлении. Когда это исправление сделано и внесены другие, менее значительные поправки, можно определять расстояние. В январе 1931 г. Эрос приблизился к Земле на одно из самых меньших для него расстояний — 25 800 000 км. Международное сотрудничество ведущих обсерваторий мира позволило уточнить величины солнечного параллакса и астрономической единицы.

В действительности, однако, Рабе установил, что по движению Эроса он мог бы точнее определить параллакс Солнца, чем решая

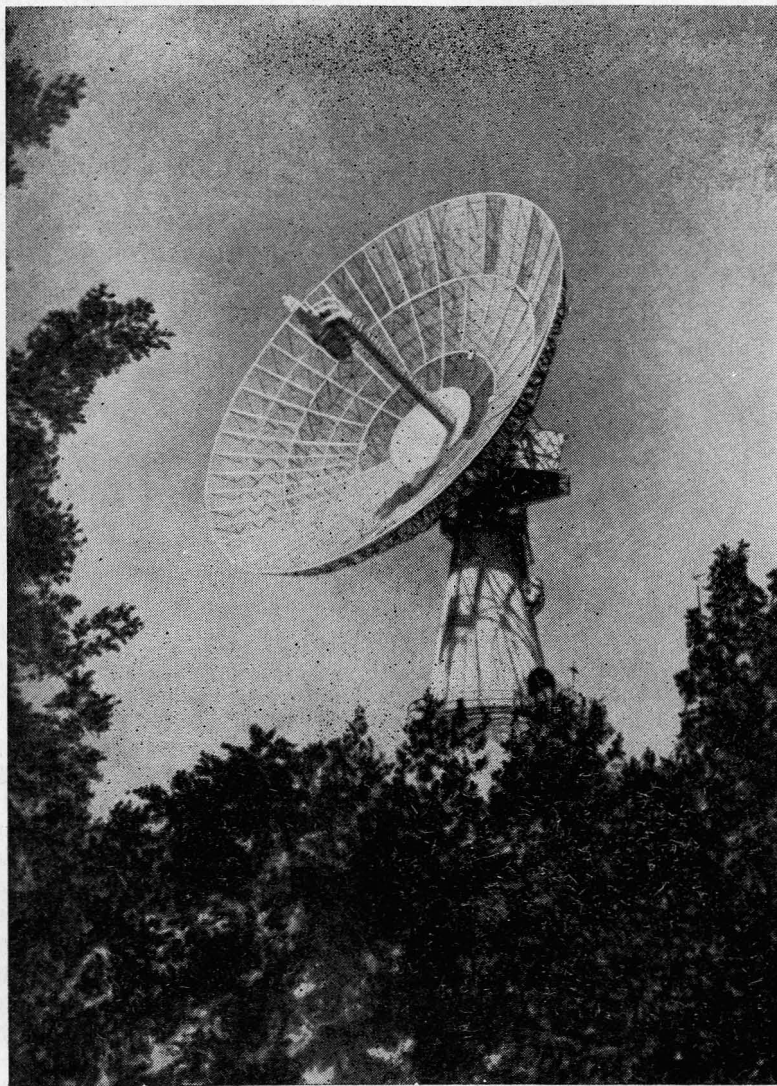


Рис. 31. Антенна диаметром 25,5 м (Милстоун), при помощи которой впервые была осуществлена радиолокация Венеры. (Фотография получена из лаборатории им. Линкольна Массачусетского технологического института.)

тригонометрический треугольник, одна из сторон которого — расстояние Эроса. Он использовал величину возмущения Эроса Землей в качестве меры силы земного тяготения по сравнению с силой солнечного притяжения на расстояниях, которые известны в астрономических единицах. Это дает отношение массы Земли к массе Солнца, которое в сочетании с другими измерениями силы тяготения позволяет прокалибровать длину астрономической единицы в километрах. Эрос снова приблизится к Земле в 1975 г., но, между прочим, мы теперь располагаем гораздо лучшим и более непосредственным способом для измерения астрономической единицы — радиолокацией.

Когда Прайс и другие сотрудники лаборатории им. Линкольна Массачусетского технологического института в 1959 г. предприняли первые попытки принять радиоволны, отраженные от Венеры (рис. 31), они ознаменовали начало новой эры в измерении планетных расстояний. Время, которое нужно радиоволнам, чтобы пройти расстояние от Земли к Венере и обратно, в сочетании с измерением скорости света в вакууме ($300\,000\text{ км/сек}$) дает непосредственно меру расстояния в километрах. Сравнение с расстоянием до Венеры, вычисленным в астрономических единицах, позволяет прокалибровать последнюю. Во время близкого подхода Венеры к Земле в 1961 г. радиоастрономы в лаборатории им. Линкольна, в Калифорнийском технологическом институте и в СССР независимо прокалибровали астрономическую единицу. Она оказалась равной $149\,598\,000\text{ км}$ с точностью порядка 1500 км . Небольшие ошибки обусловлены недостаточной точностью определения скорости света, применением теории орбитального движения к определению расстояния Венеры в астрономических единицах и, возможно, распространением радиоволн через атмосферу. Полученное при этих экспериментах значение параллакса Солнца $8'',7942$ определено гораздо точнее, чем было сделано ранее.

Теперь мы знаем расстояния в солнечной системе достаточно точно, так что можем по крайней мере помочь межпланетным космическим зондам в достижении ими планет. Расстояние Луны нам известно с точностью не менее $1,5\text{ км}$.

Взвешивание Земли

Первым шагом на пути к взвешиванию планет является взвешивание Земли. Древнегреческий математик Архимед (Сиракузы, 287—212 г. до н. э.) сказал, что если бы он имел точку опоры, то мог бы сдвинуть Землю. Точно так же он мог бы и взвесить Землю, наблюдая, насколько легко она сдвигается при нажиме на рычаг. В действительности нас интересует не вес Земли, а ее *масса*. Вес всякого тела есть лишь мера силы притяжения этого тела Землей, тогда как масса характеризует заключенное в теле количество материи.

Одним из величайших открытий Ньютона было установление факта, что вес тела пропорционален его массе. Если мы вновь обратимся к ньютоновским законам движения, то обнаружим, что масса есть мера силы, необходимой, чтобы изменить движение тела на определенную величину. Чтобы ускорить движение 10-тонного вагона, требуется большая сила, чем для ускорения движения детской коляски при данной скорости движения вследствие разницы их масс. В пустом пространстве вдали от каких-либо притягивающих тел ни вагон, ни детская коляска не будут ничего весить, но их массы останутся неизменными.

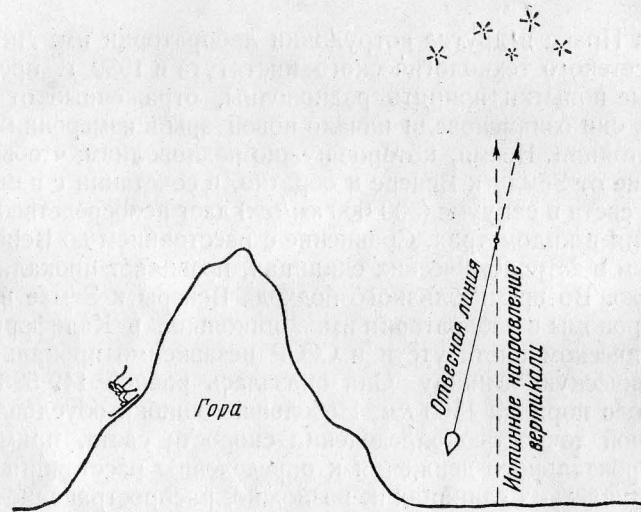


Рис. 32. Гора притягивает свинцовый груз. Отклонение направления отвеса от вертикали служит мерой силы притяжения горы.

Мы знаем точно, как велика та сила притяжения, с которой Земля действует на единицу массы. Эта сила — сила тяжести на поверхности Земли, которая притягивает нас к Земле и позволяет нам *взвешивать* различные вещи. Так как сила тяжести пропорциональна массе Земли, то единственной неизвестной величиной является постоянная притяжения между двумя массами, называемая *постоянной тяготения*. (Более точное определение постоянной тяготения см. в Приложении 3.)

Один из способов определения этой постоянной сводится к измерению притяжения тела горой по отклонению линии отвеса. Как показано на рис. 32, линия отвеса направлена не по вертикали, а отклонена от нее вследствие того, что груз притягивается к горе. Мы измеряем силу, с которой гора действует на груз, и оцениваем массу горы, измеряя ее размеры и состав. Так как расстояние от груза

до горы доступно измерениям, то, вычислив постоянную тяготения, можно, следовательно, определить массу Земли.

Метод с использованием горы довольно хорош, но лабораторные методы точнее. С использованием чрезвычайно точных приборов непосредственно можно измерить, с какой силой большой свинцовый шар притягивает маленький шарик, определив таким образом величину постоянной тяготения. Так как весом маленького шарика измеряется притяжение его Землей, то затем масса Земли выражается в единицах массы большого шара при помощи закона, согласно которому сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния между шарами. Если бы можно было, находясь на поверхности Земли, положить ее на весы, она весила бы $6\ 600\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ m = 6,6 \cdot 10^{21} m$.

Сила тяготения по величине является силой весьма незначительной; заметной она становится лишь тогда, когда во взаимодействии участвуют огромные массы. Предположим, например, что какой-либо шар был бы сделан из всего даже еще не добытого золота мира; пусть его вес будет $30\ 000\ m$; тогда диаметр этого шара составит около $14\ m$. Если бы такой шар находился где-то в пространстве и на него не действовали бы никакие силы притяжения, то вес сидящего на нем 90-килограммового человека был бы эквивалентен весу $0,3\ g$ на Земле. Его легко мог бы поднять сверчок, а лягушка могла бы его совсем сбросить с золотого шара. Поскольку люди обычно не столь легко расстаются с золотом, мы можем сделать вывод в манере басен Эзопа, а именно, что сила скупости значительно превышает силу тяжести.

Масса Солнца

Зная массу Земли, можно вычислить и массу Солнца. Земля непрерывно падает по направлению к Солнцу, отклоняясь вследствие этого от прямой линии, по которой она следовала бы, если бы не было гравитационного притяжения. Скорость падения составляет около $0,3\ cm$ в секунду; за это же время Земля смещается вперед примерно на $30\ km$. Чтобы заставить Землю падать с такой скоростью, Солнце должно обладать массой в $332\ 517$ раз больше массы Земли, т. е. его масса должна составлять около $2,0 \cdot 10^{30}\ kg$.

Зная массу Солнца, мы можем сделать некоторые интересные выводы о его составе. Средняя плотность Солнца всего в $1,41$ раза больше плотности воды, в то время как плотность Земли равна $5,5$, что эквивалентно средней плотности смеси горных пород и металлов. На поверхности Солнца сила тяжести в 28 раз больше, чем на Земле. Там 90 -килограммовый человек весил бы почти $3\ m$, если, конечно, он не испарился бы мгновенно при температуре $6000^\circ C$. Пользуясь лишь тремя известными величинами — массой, диаметром и температурой на поверхности, можно доказать, что Солнце

целиком состоит из газа. Температура в центре Солнца должна бы составлять около $20\,000\,000^\circ\text{C}$, а плотность в 130 раз превышать плотность воды, так как только при таких условиях обеспечивается давление, достаточное, чтобы удержать внешние газовые слои Солнца от спада внутрь. Ни один из известных элементов не может быть на Солнце твердым или жидким; даже вольфрам, используемый для изготовления нитей в электрических лампах, испарился бы на поверхности Солнца, которая по сравнению с недрами является еще прохладной.

Планета со спутником

Для планеты со спутником способ определения массы аналогичен способу определения массы Солнца. Притяжение планеты всегда должно точно уравновешивать центробежную силу, являющуюся мерой той скорости, с которой спутник падает по направлению к планете, чтобы удержаться на своей орбите. Зная это притяжение, расстояние спутника и постоянную тяготения, можно вычислить массу планеты. Масса Нептуна, отстоящего от нас на расстояние около 4350 млн км, известна нам так же точно, как масса Луны, которая отстоит от нас всего на 384 500 км.

Взвешивание Луны

Массу спутника трудно определить, так как обычно она очень мала по сравнению с массой, главной по отношению к данному спутнику планеты. Влияние Земли на движение Луны измерить нетрудно, но масса Луны настолько мала, что ее влияние на движение Земли весьма незначительно. Центр Земли движется вокруг общего

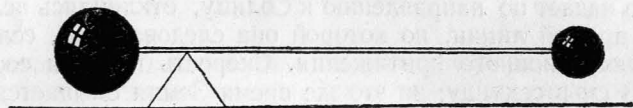


Рис. 33. Центр тяжести есть точка равновесия. На рисунке дано точное положение двух шаров равной плотности, соединенных невесомым стержнем.

центра тяжести системы Земля — Луна по очень малой орбите, идентичной по форме с орбитой Луны. Если бы Землю и Луну можно было соединить невесомым стержнем, а этот стержень уравновесить на острие ножа в поле постоянного тяготения, то острие ножа могло бы служить опорой стержню в центре тяжести системы*) (рис. 33).

*) В действительности центр тяжести системы Земля—Луна находится в теле Земли. (Прим. перев.)

Именно эта точка движется по плавной эллиптической орбите вокруг Солнца. Путем тщательных измерений расстояния между центром тяжести системы и центром Земли можно измерить массу Луны (рис. 34). Отношение радиуса малой орбиты, которую описывает центр Земли, к радиусу большей орбиты, по которой движется Луна, есть отношение массы Луны к массе Земли. Спутники, движущиеся вокруг Луны, могли бы, конечно, обеспечить более точное измерение ее массы.

Центр тяжести системы Земля — Луна отстоит примерно на 4700 км от центра Земли, следовательно, масса Луны составляет всего $\frac{1}{81,37}$ (или приблизительно 4700/384500) массы Земли. При

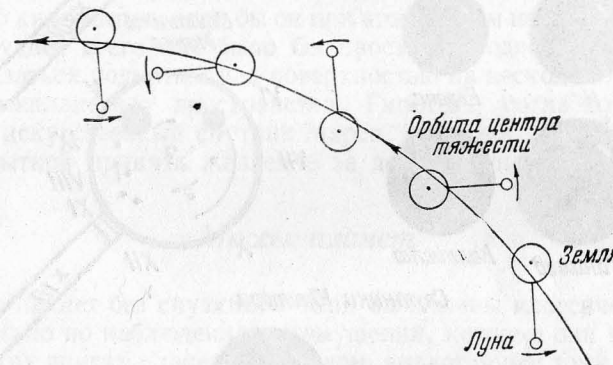


Рис. 34. Движение Земли вокруг центра тяжести системы Земля—Луна. Центр тяжести движется точно по эллипсу вокруг Солнца. Размеры Земли и Луны преувеличены, но относительные положения центра Земли указаны правильно.

такой малой массе ($81 \cdot 10^{18} \text{ т}$) Луна представляет собой столь же крохотную частицу в солнечной системе, как капля воды в 200-литровом бочонке или муха на колесе телеги. Земля значительнее всего в 81 раз, если, конечно, не говорить о ее важности для нас.

Другие спутники

Только немногие более крупные спутники Юпитера и Сатурна оказывают такое гравитационное воздействие, которое достаточно для того, чтобы сделать возможным определение их массы. Четыре ярких спутника Юпитера и Титан из системы Сатурна сравнимы с Луной. Прочие спутники, как правило, имеют гораздо меньшие массы, за исключением спутника Нептуна, Тритона, который, возможно, очень похож на Луну, хотя массу его трудно определить.

Плотность Луны в 3,3 раза больше плотности воды, т. е. такова, как будто Луна сделана из обычных горных пород. Плотности двух ярких спутников Юпитера меньше, а двух других — больше плотности Луны. Третий спутник Ганимед — самый крупный в солнечной системе (диаметр его даже больше диаметра Меркурия: 5600 км

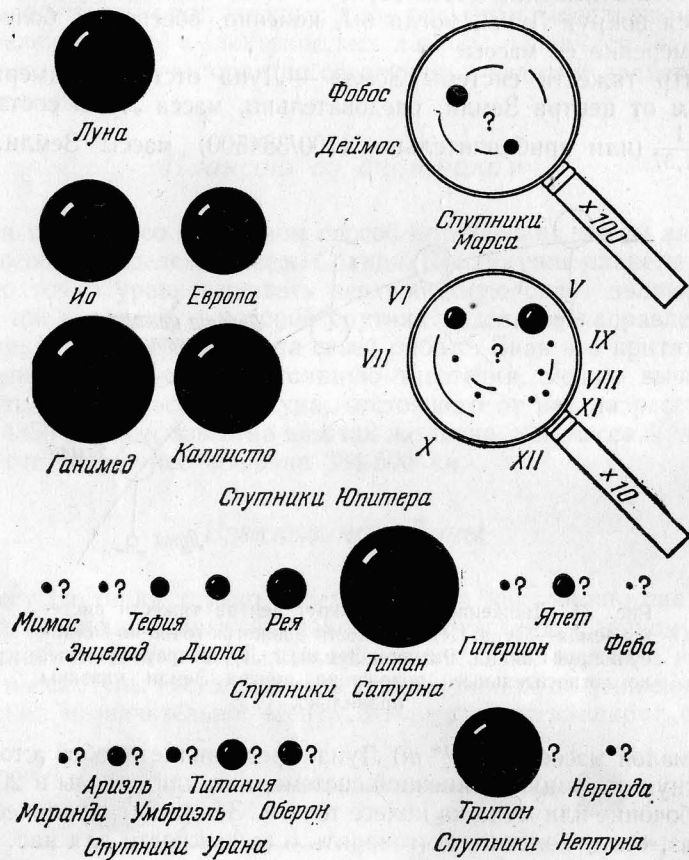


Рис. 35. Массы спутников в солнечной системе, изображенные шарами равной плотности. Спутники, массы которых известны не точно, помечены знаком вопроса. Увеличение массы отражено в увеличении диаметра. Спутники размещены по порядку их расстояний от соответствующих планет.

по сравнению с 4840 км) и самый массивный — его масса вдвое больше массы Луны. Однако плотность Ганимеда всего в два раза больше плотности воды, т. е. она слишком мала, чтобы он состоял из камня. Каллисто (IV спутник Юпитера) и Титан очень сходны с Ганимедом, но немного меньше его. На рис. 35 относительные мас-

сы различных спутников изображены в виде шаров, имеющих одинаковую плотность. Для тех спутников, массы которых неизвестны, приведены непосредственно диаметры, а спутники отмечены знаком вопроса. Аналогично отмечены спутники, диаметры которых получены только из измерений их блеска. Диапазон значений масс настолько велик, что для того, чтобы изобразить их на этой диаграмме, диаметры некоторых шаров необходимо увеличить в 10 или 100 раз.

Деймос и Фобос — карликовые спутники Марса — выглядят жалкими легковесами по сравнению со средними спутниками. Сила притяжения на поверхности этих небольших спутников совершенно ничтожна. На одном из этих спутников человек весил бы всего несколько десятков граммов и мог бы совершать прыжки длиной в несколько километров, если бы он при этом совсем не улетел со спутника. Труднее всего там было бы просто свободно двигаться, не боясь оказаться поднятым над поверхностью на несколько километров в межпланетное пространство. Гипотеза, согласно которой Фобос — искусственный спутник Марса, является, по нашему мнению, попыткой принять желаемое за действительность.

Массы планет

Массы планет без спутников были вычислены классическим методом: только по наблюдениям возмущений, которые они вызывают в движениях других планет — методом, аналогичным тому, который был использован при предсказании положений Нептуна и Плутона. Например, Венера, приближаясь довольно близко к Земле, Марсу и Меркурию, вызывает возмущения в движениях этих тел. Аналогичным образом движение Венеры возмущается под влиянием притяжения со стороны Земли, Марса и Меркурия. Вычисление масс Венеры и Меркурия по наблюдениям их движений и движений Земли и Марса чрезвычайно сложно. Наблюдения движений искусственных спутников или космических зондов вокруг этих планет позволяют определить массы планет с большей точностью.

Даже с использованием теории, опирающейся на самые лучшие наблюдения, масса Меркурия определена не очень надежно. Меркурий настолько мал и находится так близко к Солнцу, что его влияние на другие планеты находится на грани измеримого. Самый лучший анализ показывает, что масса Меркурия составляет всего $\frac{1}{18,4}$

массы Земли или около четырех масс Луны. Плотность Меркурия почти такая же, как у Земли. Он оказался бы очень подходящим спутником Земли, если бы мог осуществиться каким-либо образом такой перенос, но при этом престижу Меркурия был бы нанесен очень большой урон, а Луна стала бы лишь весьма хилой планеткой.

О массе Венеры мы уже говорили в первой главе: она лишь немного меньше массы Земли (81%). У всех остальных планет, кроме Плутона, есть спутники, облегчающие вычисление их масс. Определение массы Плутона представляет особенно трудный случай главным образом потому, что астрономия точных измерений очень молода, а также потому, что внешние планеты перемещаются по небу очень медленно. Нептун, движение которого, по-видимому, оказывает наибольшее влияние на Плутон, наблюдался в течение гораздо меньшего времени, чем период его оборота вокруг Солнца.

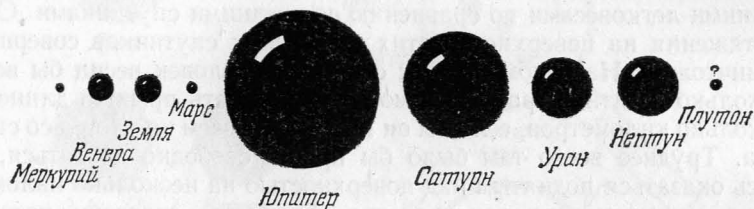


Рис. 36. Массы планет, изображенные в виде шаров равной плотности. Диаметр Солнца в этом масштабе должен превышать диаметр Юпитера в 10 раз.

Вычисления массы Плутона еще до того, как он был открыт, на основе наблюдений Нептуна дают величину около 0,9 массы Земли, в то время как Брауэр из анализа движения Урана предполагает, что масса Плутона составляет $\frac{3}{4}$ массы Земли. Фактически же пока еще нет надежного метода для определения массы Плутона. Таким образом, на протяжении некоторого времени она останется не определенной.

На рис. 36 массы планет изображены в виде шаров одинаковой плотности. Для сравнения с рис. 35 напомним, что по массе Меркурий превышает Луну. Поэтому последовательность масс от самого меньшего из спутников, Фобоса, до самой большой планеты, Юпитера, довольно равномерная. Эту последовательность можно было бы продолжить в сторону тел еще меньшей массы, таких как астероиды и метеориты, не утратив равномерности, но не в противоположном направлении. Переход от Юпитера к Солнцу потребовал бы увеличение диаметра шара в 10 раз, так как масса Солнца больше массы Юпитера в тысячу раз.

Было бы чересчур утомительно описывать все прочие остроумные способы, которые использовались для вычисления или оценки масс планет, спутников, комет или астероидов. Всегда, когда удается наблюдать два тела, достаточно близкие друг к другу для того, чтобы одно возмутило движение другого, можно получить дополнительные сведения о массах этих тел. Если при сближении заметного изменения движения не происходит, можно оценить верхний предел масс. Когда в 1886 г. комета Брукса вошла в пределы орбит внутренних спутников Юпитера, период обращения кометы вокруг

Солнца уменьшился с 29 лет до 7, и тем не менее наблюдаемых изменений в движениях спутников не произошло. Следовательно, комета должна была обладать массой менее 0,0001 массы Земли, иначе она вызвала бы измеримые возмущения.

В заключение этой главы, в которой был также сформулирован закон всемирного тяготения Ньютона, заметим, что в основе всей астрономии лежит применение этого закона. Это относится также и к движению в пространстве космических аппаратов. За пределами солнечной системы в далеких областях Вселенной этот закон по-прежнему остается ключом к решению многих наиболее важных задач. Невозможно провести почти никаких вычислений масс, не используя свойство притяжения. Однако имеются данные о том, что закон Ньютона является верным лишь в первом приближении, что масса быстро движущихся тел увеличивается со скоростью. Теория относительности Эйнштейна (1879—1955) дает поправочные множители, которые ощутимы в случае быстрого движения Меркурия под действием сильного притяжения Солнцем. Лишь в этом случае поправки достаточно велики для их обнаружения при наблюдениях небесных тел в наше время.

С другой стороны, при поистине неправдоподобных расстояниях в космическом пространстве, возможно, будут необходимы другие поправки, так как Вселенная кажется расширяющейся. Значит, если расстояния между объектами достаточно велики, массы могут вызывать отталкивание с силой, превышающей гравитационную силу притяжения. Почему именно должно происходить отталкивание, неясно, а возможно, здесь действует какая-то иная причина: может быть, Вселенная действительно расширяется или в ней произошел взрыв. Расширение Вселенной, очевидно, должно быть вызвано какой-то глубоко коренящейся в ее природе причиной, однако вопрос об этой причине приводит нас к вопросу о сущности бесконечности во времени и пространстве.

Поскольку абсолютная истина не достижима, а всякий новый вывод лишь открывает возможность дальнейших обобщений, мы не можем не восхищаться простотой и совершенством ньютоновского закона, который выполняется столь точно. Однако ради дальнейшего прогресса науки ученый должен искать и анализировать малейшие несовершенства в законах или теориях, которые кажутся идеальными.

5

Земля

Наша Земля кажется нам такой большой и прочной и столь важной для нас, что мы склонны забывать о том скромном положении, которое она занимает в семье планет солнечной системы. Правда, у Земли все же есть довольно толстая атмосфера, прикрывающая тонкий неоднородный слой воды, и даже титулованный спутник диаметром примерно в $\frac{1}{4}$ ее диаметра. Однако эти особые приметы Земли едва ли могут служить достаточным основанием нашему космическому «эгоцентризму». Но будучи небольшим астрономическим телом, Земля является самой знакомой нам планетой, и поэтому достойна быть и является объектом самого тщательного исследования.

До запусков искусственных спутников темная часть Луны в новолуние рассматривалась как своего рода зеркало для Земли и использовалась для изучения последней (рис. 37). Близ новолуния, когда Луна, Солнце и Земля находятся почти на одной прямой, свет, отраженный от Земли, освещает не освещенное ничем иным темное полушарие Луны. Измерения яркости этого пепельного света Луны показывают, что Земля подобно другим планетам, имеющим атмосферу, является хорошим отражателем. Однако вследствие изменчивости облачного покрова доля солнечного света, отраженного от Земли, т. е. ее *альбедо*, составляя в среднем 0,35, может изменяться в два раза.

Замечательные фотографии, сделанные с ракет (рис. 38), с метеорологического спутника «Тайрос» (США) и с космического корабля США «Меркурий-Атлас», позволили нам увидеть Землю извне (рис. 39). Как и предполагалось, в любое время облака образуют самые заметные детали (рис. 40). Однако огромная протяженность



Рис. 37. «Молодая» Луна и пепельный свет.

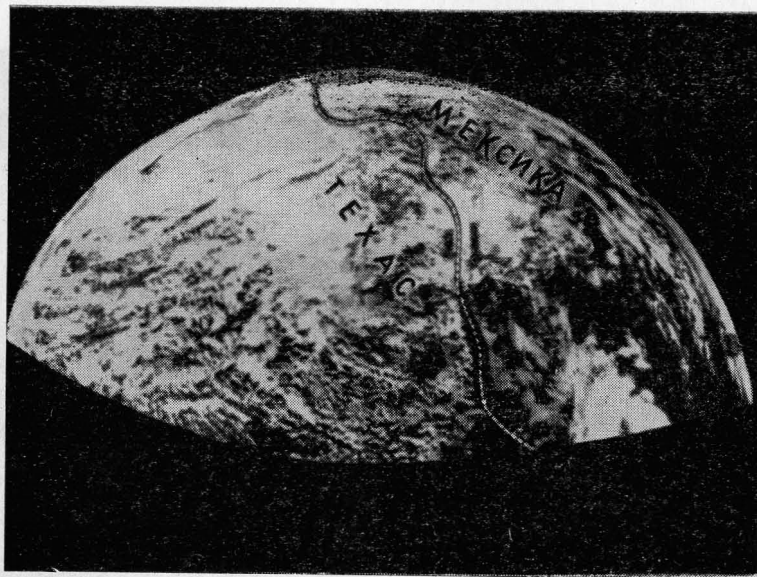


Рис. 38. Юго-запад Северной Америки, сфотографированный с высоты 160 км ракетой «Аэроби» (США).

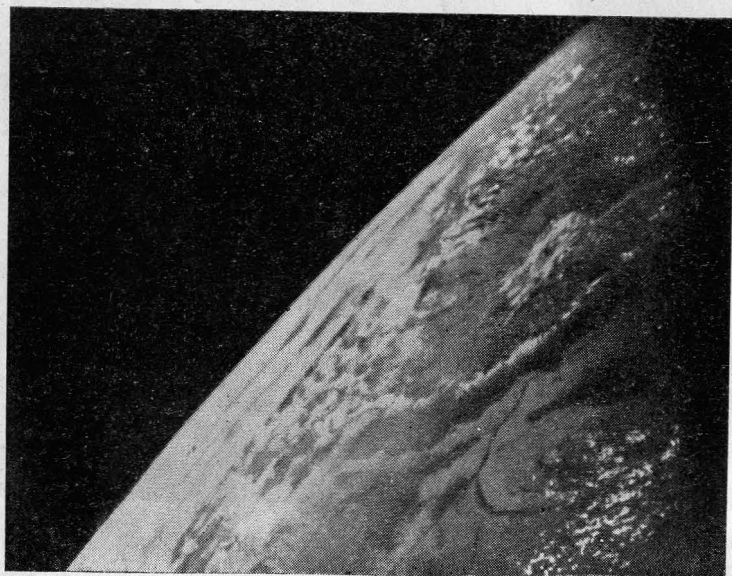


Рис. 39. Вид на Землю с космического корабля «Меркурий-Атлас 4»: видна Центральная Африка, озеро Рудольфа в Кении.

некоторых облачных образований оказалась неожиданностью для метеорологов; на фотографиях видны сильные колебания погоды на Земле. Метеорологические спутники, дающие обильную информацию о состоянии атмосферы в масштабах земного шара, превращают прогноз погоды из *искусства в науку*.

Некий гипотетический обозреватель, находящийся на некотором расстоянии от Земли в межпланетном пространстве, будучи

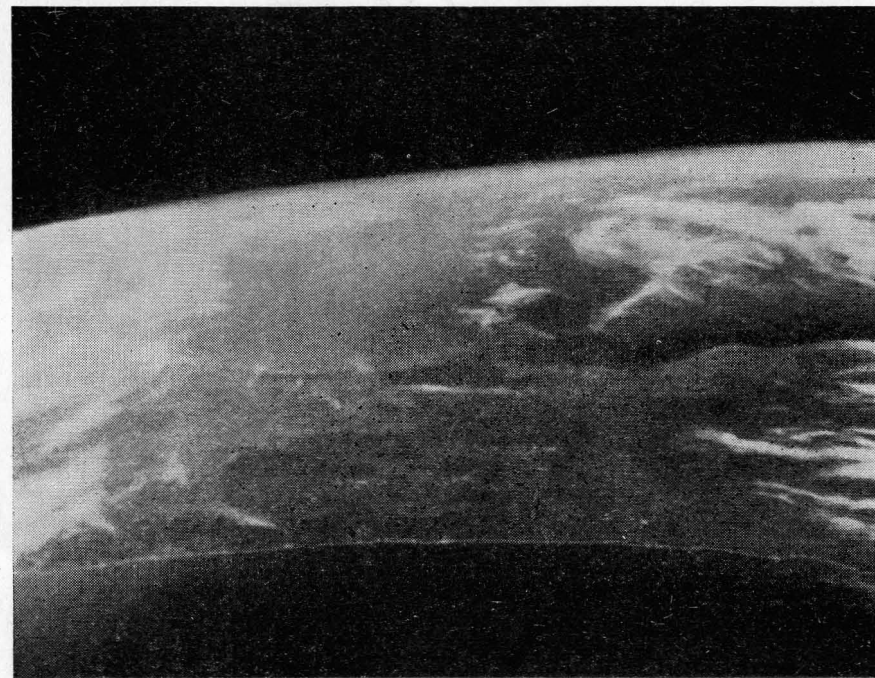


Рис. 40. Так выглядит Флорида, если смотреть на нее с космического корабля. Фотография сделана космонавтом Джоном Гленном с космического корабля «Френдшип-7».

оснащен хорошим телескопом, мог бы в конце концов отличить континенты от океанов и отождествить полярные шапки. Зимой в нашем северном полушарии он увидел бы северную полярную шапку, охватывающую огромную площадь примерно на 50° от полюса, в то время как летом эта область сокращается, занимая по широте всего несколько градусов. Нижняя граница полярной шапки всегда была бы очень неровной, в особенности там, где она прерывается океанами. Южная полярная шапка изменялась бы гораздо меньше вследствие недостатка суши. Умный обозреватель, вероятно, смог бы заметить сезонные изменения цвета от зеленого к коричневому, черному и белому в умеренных поясах и объяснить их причину.

Наш воображаемый находящийся за пределами Земли наблюдатель мог бы увидеть одну особенность, которую мы не можем наблюдать ни на одной другой планете. При соответствующем положении Земли он смог бы наблюдать *прямое отражение* Солнца от наших океанов. Это явление могло бы вызвать величайшее удивление у марсианского астронома, который никогда не встречался с большими водными

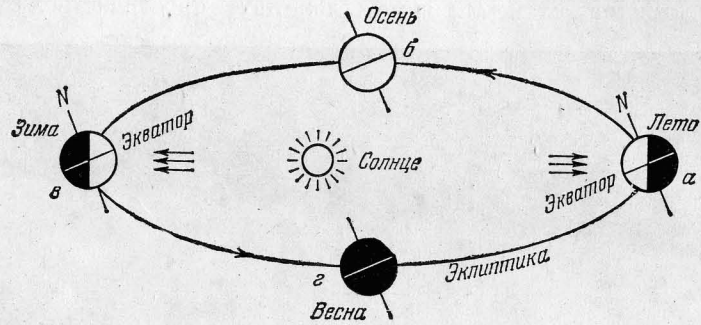


Рис. 41. Положение Земли на орбите и времена года. Разница между зимой и летом сглаживается в северном полушарии и усиливается в южном полушарии благодаря эксцентрическому положению Солнца. Времена года указаны для северного полушария, для южного они будут обратными.

массивами. Он мог бы с таким же успехом приписать яркое точечное отражение гладкой кристаллической поверхности Земли, подобно тому, как первые астрономы рассматривали Луну как идеальный кристаллический шар.



Рис. 42. Солнце нагревает поверхность эффективнее, когда лучи падают вертикально, чем когда они падают косо.

Одно из замечаний о планете Земля, записанное нашим внешним обозревателем в его журнале наблюдений, вероятно, гласило бы, что ось вращения Земли не перпендикулярна к эклиптике — плоскости обращения Земли вокруг Солнца. А в итоге длительных и тщательных наблюдений он пришел бы к выводу, что экватор наклонен к плоскости эклиптики на $23,5^\circ$. Это *наклонение экватора* могло бы дать ему возможность объяснить сезонные изменения цвета в умеренных поясах и изменения размеров полярных шапок.

Ему, вероятно, удалось бы установить, что при перемещении Земли по своей орбите вокруг Солнца, как это показано на рис. 41, направление земной оси остается неизменным в пространстве. Когда северный полюс наклонен к Солнцу (*a*), северное полушарие в большей мере освещено лучами Солнца. Полюс освещен непрерывно, а продолжительность дня больше продолжительности ночи повсюду к северу от экватора. Кроме того, свет падает на поверхность более отвесно, так что любой данный участок поверхности получает в течение дня больше тепла и света (рис. 42) и освещен Солнцем большее число часов, чем области южного полушария.

Через четверть периода (3 месяца) Земля окажется в положении *b* (см. рис. 41), а день повсюду будет равен ночи. Через полупериод (6 месяцев) южное полушарие будет получать больше тепла, чем северное, а северный полюс в это время будет совершенно не освещен. Если бы наш внешний наблюдатель вообще оказался бы сколько-нибудь сообразительным (а он, конечно, должен быть таким, будучи астрономом), он смог бы вполне объяснить наблюдаемые изменения цвета в обоих полушариях, а также особенности изменений полярных шапок. Он мог бы рассуждать примерно следующим образом: «Ясно, что на планете Земля должны происходить сложные химические или физические реакции, которые непосредственно активизируются солнечным теплом. Некоторые области — темносиние участки, охватывающие большую часть поверхности планеты, подвергаются воздействию лишь при очень значительных изменениях притока тепла, в то время как другие области, которые с повышением температуры приобретают зеленую окраску, поддаются изменениям при гораздо меньших изменениях температуры. Постоянно существующие полярные шапки, вероятно, подобны тем областям, которые при повышении температуры зеленеют, но они никогда не нагреваются настолько, чтобы в них могли происходить реакции».

Наш далекий ученый друг мог бы продолжить свои рассуждения: «Поэтому мы должны сделать вывод, что более стабильные темно-голубые области являются гораздо лучшими проводниками тепла, чем те неустойчивые области, которые подвержены влиянию самых незначительных изменений...». Так как автор данной книги не слишком уверен в прочих веских выводах гипотетического наблюдателя, то мы можем на этом расстаться с ним. Наблюдения, проведенные извне, очевидно, гораздо интереснее этих выводов.

Наблюдения показали бы, что период самой высокой температуры не совпадает с периодом наибольшей долготы дня и максимума освещенности зеленой поверхности Солнцем. В северной умеренной зоне максимум солнечного освещения приходится на 21 июня (положение *a* на рис. 41), а середина лета, т. е. период, соответствующий самой высокой температуре, наступает в действительности позднее — в июле или в самом начале августа (в северном полушарии). Соответственно наступают позднее и другие времена года.

Это запаздывание времен года происходит вследствие того, что поверхность Земли (только несколько десятков сантиметров верхнего слоя и атмосфера) начинает нагреваться лишь по мере увеличения количества тепла, получаемого от Солнца. Температура продолжает возрастать, пока нагрев достаточно силен, и возрастает до тех пор, пока скорость получения тепла не станет равной скорости его потери. Аналогичным образом самая холодная погода зимой бывает через месяц и более после 21 декабря — самого короткого дня в году.

Интересно отметить, что Земля находится ближе всего к Солнцу в перигелии, т. е. в середине зимы в северном полушарии и в афелии — дальше всего от Солнца — в середине лета. Вследствие этого разница между временами года в северном полушарии должна была бы слегка

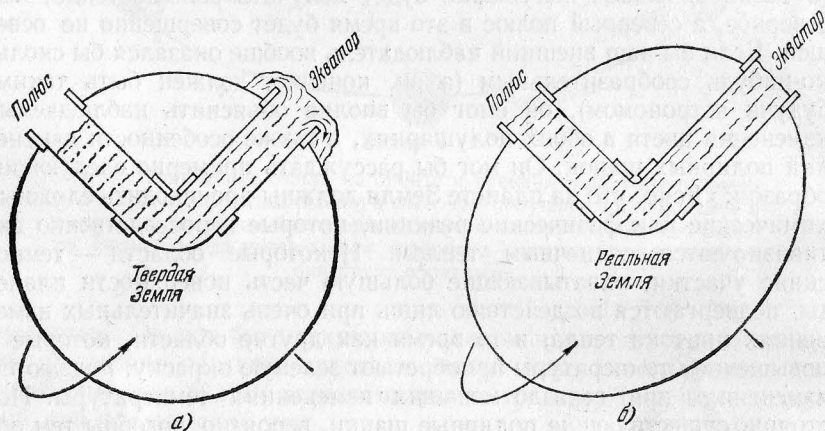


Рис. 43. На твердой сферической вращающейся Земле вода перегонялась бы по трубке от полюса к экватору. Хотя такой трубки не существует, совершенно аналогично к экватору стекли бы океаны (а). У реальной вращающейся Земли на экваторе имеется выпуклость, поэтому вода между полюсом и экватором находится на одном уровне (б).

смягчаться, а диапазон температур в южном полушарии — слегка увеличиваться. Однако в действительности по несколько иной причине сезонные изменения температуры в южном полушарии меньше, чем в северном полушарии. Дело в том, что наличие океанов приводит к некоторому регулированию и сглаживанию колебаний температуры в атмосфере, а отношение площади воды к площади суши в южном полушарии гораздо больше, чем в северном.

Принято называть Землю шаром, но в действительности она не идеальный шар. Тщательные измерения показали, что ее экваториальный диаметр примерно на 43 км ($\frac{1}{298,3}$) больше ее полярного диаметра, соответственно больше и ее экваториальное поперечное сечение. Такая деформация фигуры Земли возникла не случайно; Земля не была отлита раз и навсегда в некоторой форме. Притяжение

внутри Земли достаточно сильно и стянуло бы ее вещество в почти идеальный шар, если бы Земля не вращалась. Однако наличие осевого вращения (оборот за 24 часа) порождает центробежную силу, которая стремится увеличить экваториальный диаметр за счет полярного диаметра и создает наблюдаемый экваториальный выступ. Если бы находящееся в недрах Земли вещество было слишком твердым, чтобы принять форму, предписываемую вращением, вода океанов потекла бы к экватору и тем самым скомпенсировала бы центробежную силу (рис. 43, а). Так как океаны на экваторе не глубже, чем в каком бы то ни было месте земного шара, мы должны сделать вывод, что «твердая» Земля сама поддается действию центробежной силы (рис. 43, б).

Наличие на Земле экваториального выступа, помимо того, что оно приводит к таким парадоксальным утверждениям, как «река Миссисипи течет в гору», имеет одно очень важное, астрономическое следствие. Это следствие, называемое *прецессией точек равноденствия*, наблюдалось еще в древности и было объяснено Ньютоном.

Термин «прецессия» выражает тот факт, что направление оси Земли в пространстве не остается фиксированным на протяжении длительных интервалов времени, а медленно движется по кругу с периодом около 26 000 лет. Угол между экватором и эклиптической существенно не меняется, хотя земная ось совершает вращение подобно оси вращающегося волчка. Аналогия (рис. 44) почти полная, так как Земля и в самом деле ведет себя как гигантский волчок.

Ось волчка — это полярная ось Земли, сам волчок — Земля, а ободок волчка — экваториальный выступ Земли. Вследствие наклонения экватора к эклиптике выступ всегда притягивается Луной, Солнцем и планетами, которые пытаются вернуть выступ, а следовательно и экватор, в плоскость эклиптики. В случае волчка действие силы тяжести, наоборот, стремится перевернуть ось вращения. Но ни в том, ни в другом случае перевортывающей силе не удается опрокинуть вращающееся тело. Вместо этого угол между осью вращения и направлением действия силы остается неизменным, а ось прецессирует, описывая окружность, как показано на рис. 44. Особое присущее вращающемуся телу свойство сопротивляться силе, приложенной к его оси вращения, используется в гироскопе —

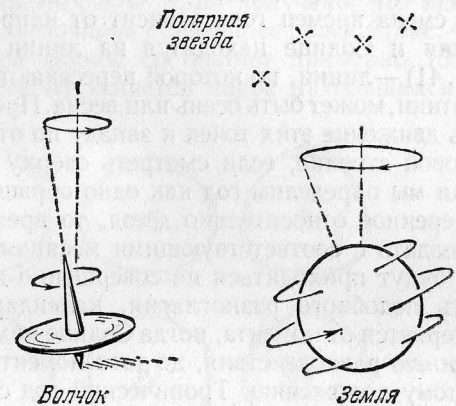


Рис. 44. Волчок и Земля. Оба при вращении описывают конус под действием сил, которые стремятся изменить направление их осей вращения.

приборе, являющемся важнейшей частью гирокомпасов, стабилизаторов и систем управления на кораблях, самолетах, ракетах и космических аппаратах. Системы управления с использованием гироскопов в настоящее время характеризуются поразительной точностью. Они могут обеспечивать ориентацию с точностью порядка одной миллионной.

Прецессия точек равноденствия перестает быть чисто академической проблемой, если мы проанализируем трудности, к которым она привела при создании календаря. Ранее на стр. 61 мы видели, что смена времен года зависит от направления земной оси. Когда Земля и Солнце находятся на линии *равноденствий* (б или г на рис. 41) — линии, по которой пересекаются плоскости экватора и эклиптики, может быть осень или весна. Прецессия точек равноденствия есть движение этих точек к западу по отношению к звездам, т. е. по часовой стрелке, если смотреть сверху на северный полюс Земли. Если мы определим год как одно обращение Земли вокруг Солнца, измеренное относительно звезд, то времена года вскоре начнут не совпадать с соответствующими месяцами, а через несколько тысяч лет будут приходиться на совершенно другие месяцы. Чтобы избежать подобного разногласия, календарный или *тропический* год измеряется от момента, когда Солнце находится в направлении точки *весеннего* равноденствия, до того момента, когда оно снова вернется к этому положению. Тропический год сохраняет календарь в соответствии с временами года, но он короче истинного или *сидерического* года примерно на 20 мин. Нарушающий календарь високосный год позволяет восстанавливать те 5 час. 48 мин. 46,6 сек., на которые продолжительность тропического года больше 365 суток.

Еще в древности астрономы заметили, что положение звезд на небе в одно и то же время года с течением времени постепенно изменяется; они обратили внимание также и на более заметное явление — перемещение северного полюса среди звезд. Полярная звезда — наш нынешний указатель полюса — лишь временно может использоваться в качестве такого указателя (см. рис. 16), хотя и кажется, что движением полюса на протяжении жизни человека можно пренебречь. В те времена, когда сооружались египетские пирамиды, полярной звездой была α Дракона, отстоящая примерно на 25° от нынешней Полярной. Южный Крест (созвездие неба южного полушария) можно было в то время наблюдать с большей части территории США. Полюс перемещается по небольшой окружности радиусом $23^\circ,5$, завершая оборот в течение мифического «года богов». В этой системе отсчета времени продолжительность жизни человека подобна дню земного года. Период прецессии близок к 70×365 годам.

Поскольку Луна действует с большой силой на экваториальный выступ Земли и обуславливает прецессию точек равноденствия, выступ должен, согласно третьему закону Ньютона, влиять на движение Луны. И он влияет: главное действие состоит в повороте плоскости лунной орбиты (к западу или в обратном направлении), в

основном сходном с прецессией, но с периодом всего около 9 лет. На находящиеся близко от Земли искусственные спутники экваториальный выступ оказывает сильнейшее влияние, заставляя их орбитальные плоскости завершать поворот не за годы, а за недели. Но хотя подобного рода движения сильно усложняют вычисление траекторий спутников, их анализ дает новые блистательные результаты: не только гораздо точнее определена сплюснутость Земли, но наблюдения спутников показали, что притяжение Земли не симметрично относительно ее экватора. Из этих измерений получено, что Земля немного напоминает грушу с «веточкой» у северного полюса (рис. 45). Отклонение от симметричной формы составляет примерно 15 м. Грушевидность Земли отчасти объясняется парой находящихся на

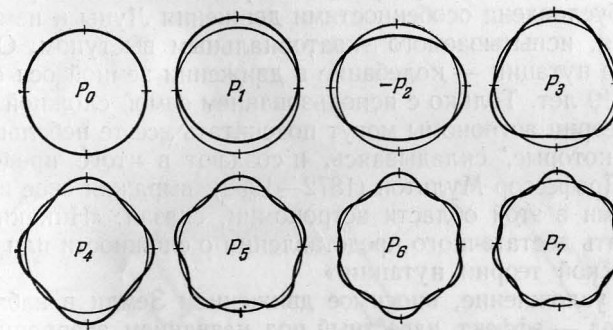


Рис. 45. Грушеобразная Земля, изображенная на чертеже P_3 , соответствует лишь третьему члену в бесконечном ряду, дающем математическое описание истинной формы Земли. Член $-P_2$ отображает сплюснутость Земли (северный полюс наверху).

противоположных сторонах Земли гравитационных «впадин» — одна вблизи Индии, другая неподалеку от западного побережья Северной Америки. Наличие эквивалентных углублений глубиной около 30 м установлено по изменениям плотности земной коры. Возможно, эти углубления являются мерой эффектов течения вещества внутри «твердой» Земли (см. гл. 6).

Для астронома прецессия точек равноденствия создает множество гораздо более серьезных трудностей, чем возникающие лишь благодаря изменению длины года. Так, астроном вынужден измерять положение небесных объектов, как естественных, так и искусственных, по отношению к системе отсчета, которая сама не остается неподвижной. Его положение напоминает положение воображаемого картографа, который вдруг обнаруживает, что все континенты и острова в мире каким-то образом смещаются. Чтобы установить широту и долготу какого-либо пункта на одном из этих объектов,

потребовалось бы произвести определенные вычисления с учетом требуемого момента времени. Аналогичным образом, в астрономии отправной точкой для практических измерений является точка весеннего равноденствия, а основной плоскостью — экваториальная плоскость. Так как эти главные реперы вследствие прецессии смещаются, каждое публикуемое измерение звезды, планеты или спутника должно быть датировано, чтобы знать, к какому именно положению точки равноденствия и плоскости экватора относится измерение.

Движения Земли вносят два дополнительных осложнения в задачу определения направлений на небе. Одно из них — учет *нута́ции*, представляющей собой небольшую периодическую неправильность в прецессии, или движении полярной оси Земли среди звезд; нутация обусловлена особенностями движения Луны и изменением притяжения, испытываемого экваториальным выступом. Основное последствие нутации — колебание в движении земной оси с периодом около 19 лет. Только с использованием самой сложной математической теории астрономы могут подсчитать все те небольшие возмущения, которые, складываясь, и создают в итоге прецессию и нутацию. Профессор Мултон (1872—1952), выражая свое восхищение работами в этой области астрономии, сказал: «Никакие слова не могут дать достаточного представления о сложности или красоте математической теории нутации.»

Второе осложнение, вносимое движением Земли в наблюдения небесных тел, — эффект, известный под названием *абerrации света*. Абerrация впервые наблюдалась и была объяснена примерно в 1728 г. английским Королевским астрономом Джемсом Брэдли (1693—1762). Эта история — один из многочисленных блестящих примеров возбуждающих интерес научных исследований, в которых рассматривается одно явление, а неожиданно открывается другое. Чтобы доказать, что Земля обращается вокруг Солнца, Брэдли пытался заметить параллактическое смещение звезд, обусловленное движением Земли по ее орбите. Он установил свой телескоп очень жестко в добротном сложенном (но не употреблявшемся) дымоходе с тем, чтобы наблюдать ежедневное прохождение определенной звезды. Если Земля действительно обращается вокруг Солнца, положение звезды при каждом прохождении в течение года должно было слегка изменяться.

Тщательные наблюдения не дали прямых доказательств движения Земли, но все же они показали, что происходит некоторое смещение звезды, находящееся не в фазе со смещением, которое ожидал Брэдли. В конце концов он объяснил новый эффект сочетанием движения Земли и конечной скорости света.

Хорошо известен рассказ о том, что это объяснение пришло Брэдли на ум, когда он плыл на лодке по Темзе. Флюгер на верхушке мачты менял свое направление, когда лодка меняла свой курс, хотя направление ветра оставалось неизменным. Если мы вообразим, что

ветер — это свет, идущий от звезды, лодка — наша движущаяся Земля, а флюгер — телескоп, установленный в том направлении, в котором кажется видимой звезда, то мы убедимся в том, что направление на звезду будет зависеть от движения Земли. На рис. 46, где изображены телескоп и падающий на него луч света, можно видеть, что если телескоп в то время, когда через него проходит свет, движется, его необходимо наклонить вперед, чтобы световой луч попал в глаз, а не в стенку тубуса.

Хороший пример абerrации дает наш повседневный опыт, который требует при ходьбе в дождь держать зонтик наклоненным вперед. Иначе капли, которые в действительности падают вертикально, попадут на ваши ноги и тело, если вы будете идти слишком быстро. Когда свет от звезды падает на Землю, изменение направления

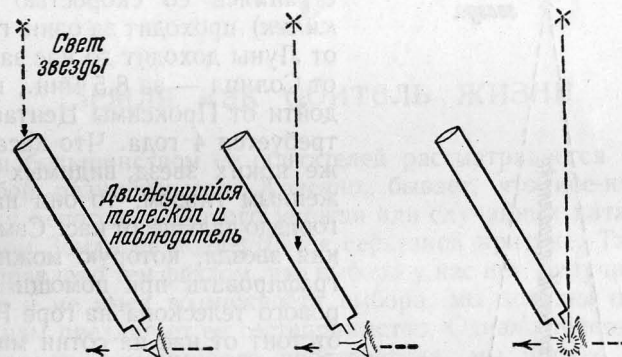


Рис. 46. Абerrация света. Движущийся наблюдатель должен наклонить свой телескоп вперед, чтобы движущийся луч света мог пройти сквозь трубу.

благодаря абerrации очень невелико, примерно около $20''$, но оно достаточно велико для того, чтобы требовалось вводить поправку во все наблюдения небесных тел. Скорость Земли составляет всего около 30 км/сек , в то время как скорость света $300\,000 \text{ км/сек}$. Отношение этих двух скоростей соответствует углу абerrации (равно тангенсу этого угла).

Стоит отметить, что хотя именно Брэдли также открыл нутацию, он так и не достиг своей первоначальной цели — непосредственно доказать движение Земли по параллактическим смещениям звезд. Для этого потребовалось свыше 100 лет всевозможных усовершенствований телескопа.

Эффект обращения Земли непосредственно не наблюдался до 1838 г., когда Фридриху Вильгельму Бесселю (1784—1846) удалось измерить небольшое смещение положения звезды β Лебедя по изменению направления на нее при наблюдениях из противоположных

точек земной орбиты. Параллакс звезды (рис. 47) равен $0'',3$. Это значит, что если смотреть с 61 Лебеда, то астрономическая единица будет видна под углом три десятых секунды дуги. Ближайшая известная в настоящее время звезда — Проксима Центавра, ее параллакс $0'',76$. Зная параллакс, можно вычислить непосредственно в километрах расстояние $(1/0,76) \times 206 \times 265 \times 149\,500\,000 = 4,1 \cdot 10^{13}$ км.

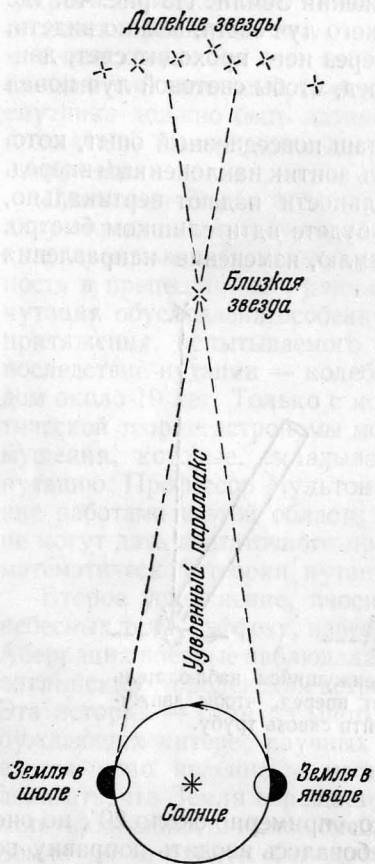


Рис. 47. Параллакс звезды — угол, под которым со звезды виден радиус земной орбиты. Угол на рисунке равен удвоенному параллаксу звезды. Непосредственно параллакс можно измерить только для ближайших к нам звезд; для более далеких звезд он не поддается измерениям.

гим больше, чем пылинка. Однако для своих обитателей Земля — дом, материнская планета и, естественно, самый важный член Вселенной. В следующей главе мы увидим, насколько хорошим домом она является в действительности.

Это расстояние слишком велико, чтобы его себе представить и лучше его выразить в световых годах, т. е. расстояниях, которые свет (распространяясь со скоростью $300\,000$ км/сек) проходит за один год. Свет от Луны доходит до нас за $1,3$ сек., от Солнца — за $8,5$ мин., но чтобы дойти от Проксимы Центавра, ему требуется 4 года. Что касается даже ярких звезд, видимых невооруженным глазом, то они находятся гораздо дальше от нас. Самая далекая звезда, которую можно сфотографировать при помощи пятиметрового телескопа на горе Паломар, отстоит от нас на сотни миллионов световых лет, в то время как самые слабые по блеску группы «звезд», так называемые *внешние галактики*, удалены от нас по крайней мере на 2 млрд. световых лет. Едва ли мы имели право порицать астрономов древности за то, что они не ожидали существования таких громадных расстояний.

В наши дни движение Земли рассматривается не как громоздкое движение гигантской массы в пространстве, а как естественное движение небольшой планеты вокруг центральной звезды. В глубинах пространства Земля значит немно-

6

Земля как обитель жизни

Земля большинством ее обитателей рассматривается как нечто само собой разумеющееся. Конечно, бывает, что кое-кто ворчит по поводу непогоды, плохого урожая или случайных катастроф, но в основном Земля не подвергается серьезной критике. Такое отношение оправдано тем фактом, что выбора у нас нет; будучи рождены на Земле и не имея возможности выбора, мы должны принимать все, что нам предлагает ее гостеприимство. Однако теперь, в связи с завоеванием космического пространства, мы вправе поставить вопрос о перемене «места жительства». Поэтому давайте рассмотрим эту проблему пошире и окинем нашу материнскую планету критическим взглядом. Оценим гарантируемую нам Землей степень безопасности, опасности, таящиеся в межпланетном пространстве, и те единственные в своем роде условия, которые необходимы для поддержания хрупкой силы, называемой нами *жизнью*.

Рассмотрим сначала опасности, угрожающие нам извне. Для существования жизни в тех формах, в каких мы ее знаем, температура непосредственного окружения живого организма должна быть хотя бы часть времени выше точки замерзания воды, но никогда не должна превышать точки кипения. Эти ограничения, накладываемые на температуру, являются более жесткими, чем может показаться на первый взгляд, так как шкала температур начинается от абсолютного нуля, т. е. от -273°C , и растет до бесконечности. Самые высокие температуры, непосредственно наблюдаемые на звездах, составляют несколько сотен тысяч градусов, но в недрах звезд преобладают температуры в миллионы и десятки миллионов градусов.

Солнце снабжает Землю количеством тепла, которое необходимо, чтобы поддерживать ее температуру в необходимых пределах, но

которого недостаточно, чтобы температура стала слишком высокой. Среди данных о прошлом Земли есть такие, из которых следует, что отдача Солнцем тепла на протяжении сотен миллионов лет изменялась *очень незначительно*. Своей энергией Солнце обязано не процессам горения, а слиянию ядер — превращению части водорода в гелий в ходе сложного процесса, в котором участвуют углерод и азот. При этом яркость Солнца не должна была сильно меняться на протяжении *миллиардов* лет и более. Однако даже небольшого изменения притока солнечного тепла, всего на несколько процентов, было бы достаточно, чтобы вызвать грандиозные изменения в климате Земли.

Предполагают, что подобные изменения солнечного излучения были причиной великих оледенений, которые повторяются примерно через каждые сто миллионов лет. В данный момент мы, по-видимому, живем в такую геологическую эпоху, когда ледник временно отступил. Однако ледниковые периоды, хотя и могут сделать на длительное время определенные области Земли необитаемыми, по-видимому, не представляют угрозы для жизни на Земле.

Жизненно важным фактором для поддержания соответствующей температуры является атмосфера Земли. Она действует, как одеяло, не давая температуре в полдень подняться слишком высоко, а ночью упасть слишком низко. Подобно тому как стекло в оранжеее пропускает видимый свет Солнца, но не дает выйти наружу инфракрасному тепловому излучению, обеспечивая в оранжеее более высокую, чем снаружи, температуру, атмосфера поддерживает более или менее постоянную температуру вблизи поверхности Земли.

На Луне, например, где нет атмосферы, температура в полдень поднимается выше точки кипения воды, а ночью падает примерно до -150°C , т. е. становится гораздо ниже точки плавления «сухого льда». В пространстве за пределами земной атмосферы и еще дальше температура в неосвещенных Солнцем областях близка к абсолютному нулю, т. е. для существования каких-либо активных форм жизни в пространстве необходим такой терморегулятор, как атмосфера.

Сверх того, атмосфера защищает нас не только от резких перепадов температуры. Она служит неопределимым щитом от метеорных тел, непрерывно бомбардирующих Землю из межпланетного пространства (рис. 48). Эти метеорные тела встречаются с Землей, двигаясь со скоростью до 72 км/сек . Удар метеорной частицы, весящей всего $\frac{1}{1000}\text{ г}$ и движущейся с такой скоростью, сравним по энергии с выстрелом по цели прямой наводкой из пистолета 45 калибра. Такие частицы, будучи не больше пылинки, гораздо меньшей, чем песчинка средних размеров, тем не менее представляют опасность для человека. Ежедневно тысячи миллионов таких частиц, попадая в земную атмосферу, обуславливают появление слабых метеоров, доступных наблюдению лишь в телескоп. Размеры

метеорных частиц, создающих видимые невооруженным глазом вспышки, в несколько раз больше. В атмосфере в результате трения о воздух эти тела быстро испаряются.

В пространстве около Земли крохотные метеорные частицы, рассеивая солнечный свет, создают свечение, видимое близ Солнца перед самым восходом утром и сразу же после захода вечером. Так

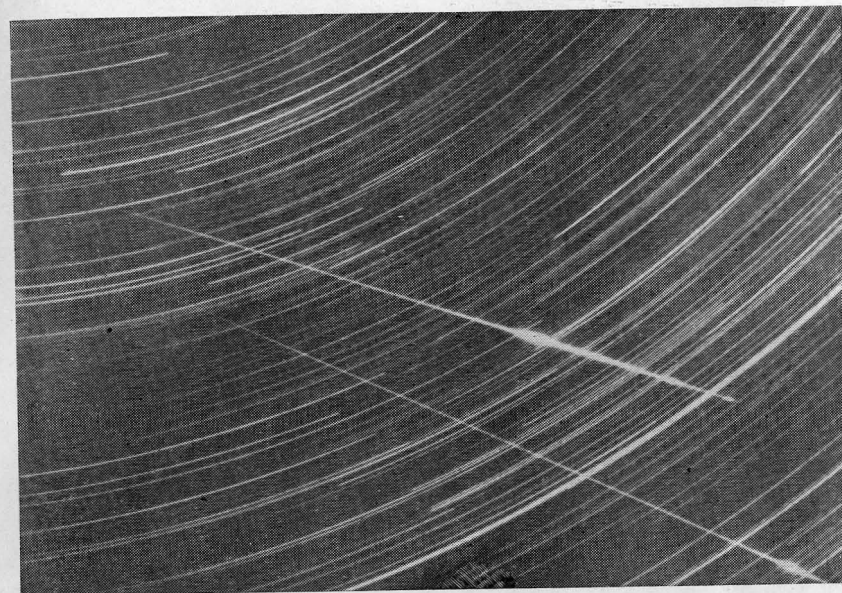


Рис. 48. Метеорная вспышка в поле зрения неподвижного телескопа. (Фотография И. С. Астаповича.)

как метеорная пыль сконцентрирована около эклиптики, которая проходит через зодиакальные созвездия, это свечение получило название *зодиакального света* (рис. 49).

Нам очень повезло в том смысле, что мы защищены от метеоров, но даже в этих условиях некоторым из них, более массивным, удается проникать до поверхности Земли и производить разрушения. Гигантский метеоритный кратер Барринджера в Аризоне образовался при взрыве такого гигантского пришельца из космоса. Этот кратер, диаметром почти в полтора километра, имеет даже в настоящее время глубину около 180 м , несмотря на то, что он заполняется вследствие эрозии. Еще больше кратер Нью-Квебек (рис. 50) в Канаде. Множество небольших метеоритов было найдено вокруг кратера Барринджера, но ни одного большого ни бурением, ни при помощи специальной радиоаппаратуры обнаружить не удалось. По-видимому, при ударе о Землю метеорит взорвался с силой, намного превы-



Рис. 49. Зодиакальный свет; тонкая вертикальная линия — дефект инструментального происхождения. (Фотография сделана Блэкуэллом и Ингамом в Боливии на высоте 5180 м.)



Рис. 50. Метеоритный кратер диаметром почти 5 км в Нью-Квебеке.

шающей силу взрыва любого из известных взрывчатых веществ. Лишь «шрапнель» и кратер остались, чтобы поведать нам эту историю. Взрыв при падении гигантского Тунгусского метеорита 1908 г. был так силен, что деревья оказались поваленными в радиусе свыше 45 км от места удара (рис. 51). Если бы какой-нибудь метеорит, подобный упомянутому, упал на большой город, разрушения

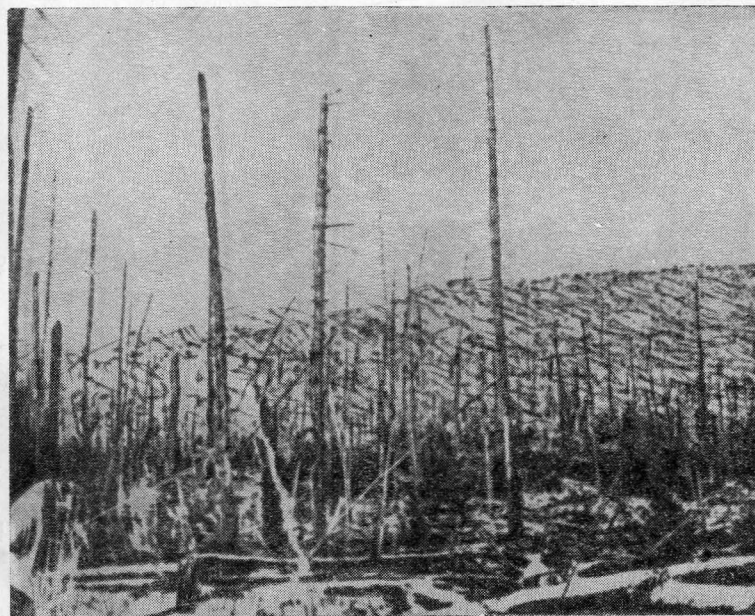


Рис. 51. Тунгусский метеорит уничтожил лес на расстоянии свыше 30 км от места падения. (Фотография Л. А. Кулика.)

были бы сравнимы с разрушением от большой атомной бомбы. Наше единственное спасение от таких разрушительных метеоритов в том, что падают они крайне редко, однако возможность встречи с одним из них никогда не исключена (см. рис. 52). Вероятность того, что падающий метеорит может убить человека, в среднем составляет один случай за несколько сотен лет.

Но наша атмосфера не только предохраняет нас от небольших метеоритов, но также защищает от смертельных для жизни излучений, существующих в космическом пространстве. Лучи близкой ультрафиолетовой области, вызывающие загар, в основном полезны для здоровья, хотя и не необходимы. Под действием солнечного излучения в атмосфере образуется озон (молекула его, состоящая из трех атомов кислорода, образуется также при электрическом разряде в воздухе и обнаруживается по характерному запаху); он

служит своего рода щитом против лучей более коротких длин волн в далекой ультрафиолетовой области спектра, лучи которой уже становятся опасными для жизни. Входящие в состав атмосферы кислород, азот и другие элементы обрезают все более далекие ультрафиолетовые лучи, находящиеся за пределами поглощения озона. Такие лучи иногда используются в медицине для того, чтобы убить

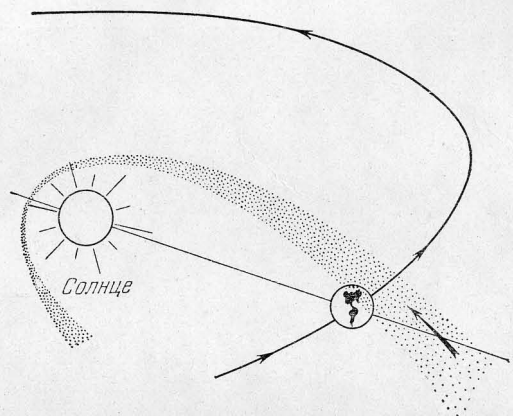


Рис. 52. Поток осколков кометы, движущийся по эллиптической орбите вокруг Солнца, создает при встрече с Землей метеорный поток.

находящиеся в воздухе бактерии. Если бы *все* эти лучи могли проникать к Земле, жизнь на ней вряд ли могла бы существовать в какой бы то ни было форме.

Помимо ультрафиолетовых лучей атмосфера задерживает множество опасных для живых организмов частиц. Эти заряженные положительно или отрицательно частицы приходят как от Солнца, так и вообще из глубин космического пространства. Потоки заряженных частиц, которые порождают северные или полярные сияния (рис. 53), выбрасываются Солнцем, в то время как частицы *космических лучей* главным образом приходят от неизвестных источников, находящихся в далеких от нас областях Вселенной и лишь в небольшой доле от Солнца. Существуют и другие виды излучения и частиц в пространстве, которым наша атмосфера мешает добраться до Земли. В наше время в лабораториях циклотроны могут генерировать потоки весьма опасных частиц, которые по своим высоким энергиям эквивалентны космическим лучам. Бомбардировка земной атмосферы космическими лучами и распад атомных ядер в пространстве обуславливают возникновение таких видов излучений очень высокой энергии, как рентгеновские и гамма-лучи, которые в равной степени могут быть смертельно опасными для живых существ.

Ясно, что жизнь в тех формах, в которых мы ее знаем на Земле, требует, для своего непрерывного поддержания комплекса весьма

специфических условий. Чтобы избежать опасностей, угрожающих существованию жизни в космическом пространстве, планета должна находиться на некотором определенном расстоянии от звезды, свет которой должен быть вполне стабилен на протяжении длительных интервалов времени, а планета должна иметь атмосферу, способную регулировать температуру и задерживать опасные лучи и частицы.



Рис. 53. Полярное сияние — лучистая полоса. (Фотография сделана В. П. Хесслером в Колледже, Аляска.)

Мы ничего не сказали о том, каков должен быть состав атмосферы. До тех пор, пока не будет осуществлен еще целый ряд экспериментов, останется не ясным, в каких пределах изменение химического состава атмосферы не грозит уничтожением всех возможных форм существования жизни. Однако, по-видимому, эти пределы очень широки. Необходимыми компонентами, вероятно, являются кислород, азот и углекислый газ и при этом в наличии должна быть вода (табл. 1). Для некоторых растений пустыни вода не обязательно должна быть на поверхности Земли, но в той или иной форме вода необходима для жизни во всех ее известных нам проявлениях.

Таблица 1

Состав воздуха

Элемент	Содержание (в % объема)	Элемент	Содержание (в % объема)
Азот	78,09	Гелий	0,0005
Кислород	20,95	Криптон	0,0001
Аргон	0,93	Водород	0,00005
Углекислый газ	0,03	Пары воды	0,2—4
Неон	0,0018	Другие газы и пыль	

Первоначальный состав атмосферы определялся, по-видимому, вулканическими газами и их химическими соединениями с породами, образующими поверхность Земли. Так, например, в настоящее время кислорода и углерода содержится гораздо больше в виде соединений в горных породах, чем в свободном состоянии в воздухе. По мере развития и распространения жизни химические реакции, связанные с жизнедеятельностью организмов, оказывают влияние на химический состав атмосферы; в настоящее время происходит своего рода состязание за больший захват атмосферного углекислого газа между растениями, произрастающими на суше и в морях, и силикатными горными породами. Однако благодаря гниению растительных организмов и эрозии известняковых пород содержание углекислого газа удерживается в равновесии.

Со времен второй мировой войны для зондирования верхних слоев атмосферы и космического пространства широко используются геофизические ракеты (рис. 54). Находящиеся на борту ракеты приборы при помощи специальной аппаратуры передают измерения на Землю. Эти измерения показали, что атмосфера до высоты порядка 100 км имеет практически однородный состав. По измерениям метеорных следов в атмосфере (рис. 55) и непривычных нам серебристых облаков, наблюдаемых на границе полярного круга, было установлено, что на высотах свыше 80 км ветры имеют скорости до 150 км/час и более. Такие сильные ветры перемешивают воздух, препятствуя тем самым значительной диффузии таких легких газов, как водород, до высот свыше 100 км. Для измерения плотности и температуры на больших высотах разработано несколько способов. Способы эти довольно сложны; они основаны на измерениях скорости звуковых волн, возникающих при взрывах, сопротивления воздуха движению метеоров, отражения радиоволн от различных слоев ионосферы, а также на данных, передаваемых с ракет; сведения о плотности атмосферы выше 150 км получают из измерений скорости, с которой снижаются искусственные спутники вследствие сопротивления воздуха.

Для измерений температуры на малых высотах (порядка 30 км) запускают небольшие воздушные шары с легким по весу метеоро-

логическим оборудованием. Поднятые на этих шарах крохотные радиопередатчики передают на Землю сообщения о температуре,

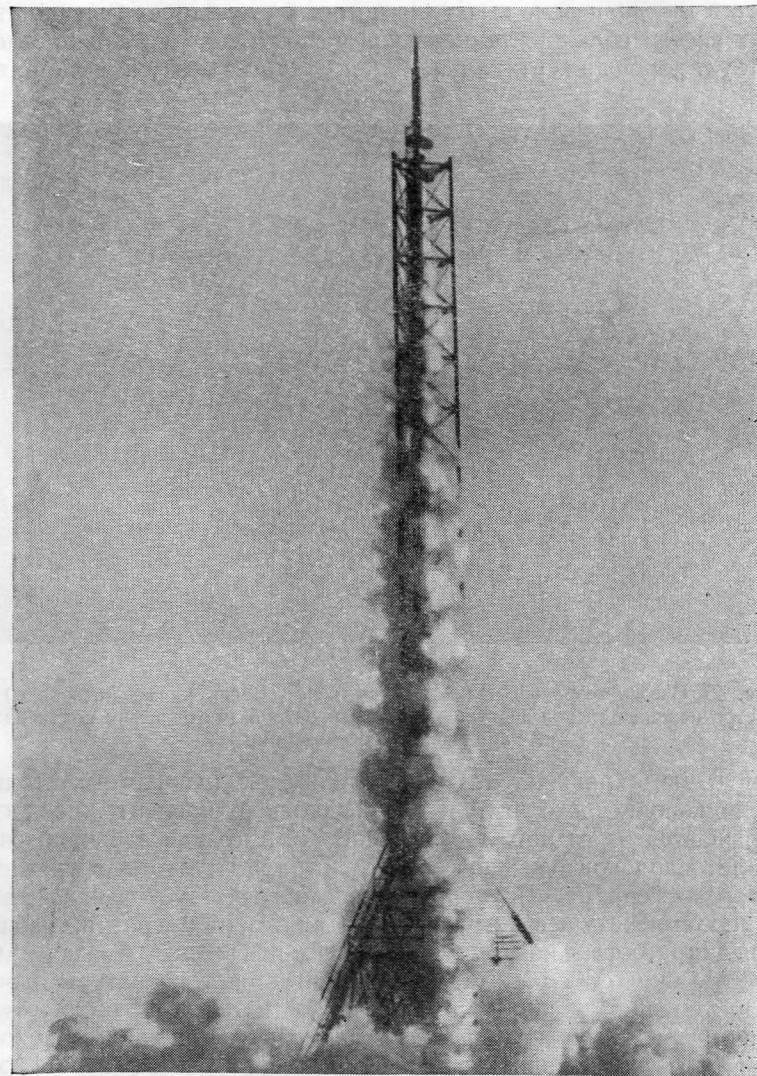


Рис. 54. Ракета «Аэробии» может поднять 45 кг измерительных приборов на высоту порядка 160 км.

давлению и других характеристиках, в то время как высоты самих шаров измеряют при помощи телескопов или радиолокаторов.

Наилучшие оценки температуры на разных высотах приведены на рис. 56 с указанием основных явлений, наблюдаемых на этих уровнях. С увеличением высоты на протяжении нескольких километров в том диапазоне высот, на которых существует большинство наших систем облаков, температура воздуха сначала падает; здесь действует хорошая вертикальная циркуляция и воздух, расширяясь

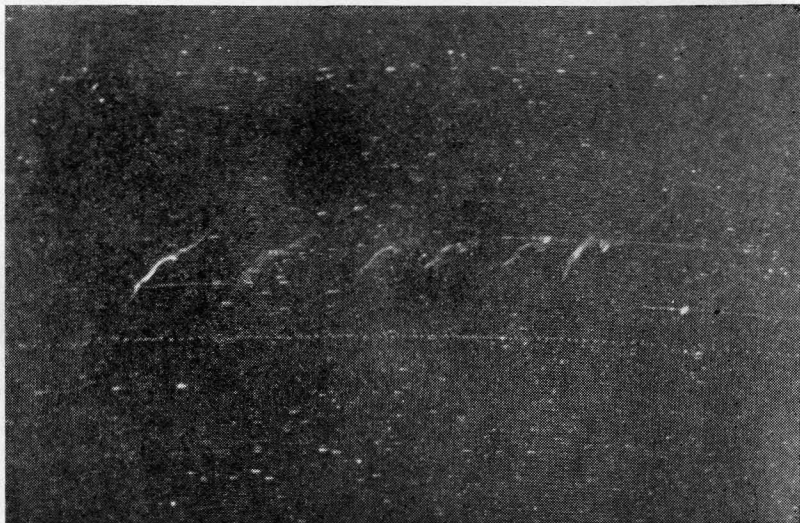


Рис. 55. След метеора (сфотографирован через 10-секундные интервалы) быстро искажается под действием высотных ветров. (Фотография получена на Гарвардской обсерватории.)

при подъеме, охлаждается. С дальнейшим увеличением высоты под влиянием солнечного излучения небольшой процент кислорода превращается из годного для дыхания O_2 в крайне ядовитый озон O_3 . Благодаря поглощению озоном ультрафиолетового солнечного света атмосфера нагревается, что противодействует дальнейшему падению температуры. Следовательно, минимум температуры наблюдается в стратосфере на высоте около 15 км над землей, а максимум — на высоте около 50 км, где вновь достигается температура, почти равная температуре воздуха у поверхности Земли. Второй очень холодный минимум температуры приходится на высоту около 80 км, а с дальнейшим увеличением высоты температура снова начинает расти. На высотах более 320 км при температуре порядка $1650^\circ C$ остаются лишь следы атмосферы, нагреваемой солнечным ультрафиолетовым светом и частицами высоких энергий.

Начиная примерно с высоты 1000 км, мы сталкиваемся со знаменитыми радиационными поясами (рис. 57, 58), открытыми по изменениям радиации на первых искусственных спутниках, запущен-

ных США*). Радиационные пояса можно рассматривать как часть земной атмосферы, состоящую из ионизованных ядер атомов, главным образом водорода и электронов, характеризующихся большими

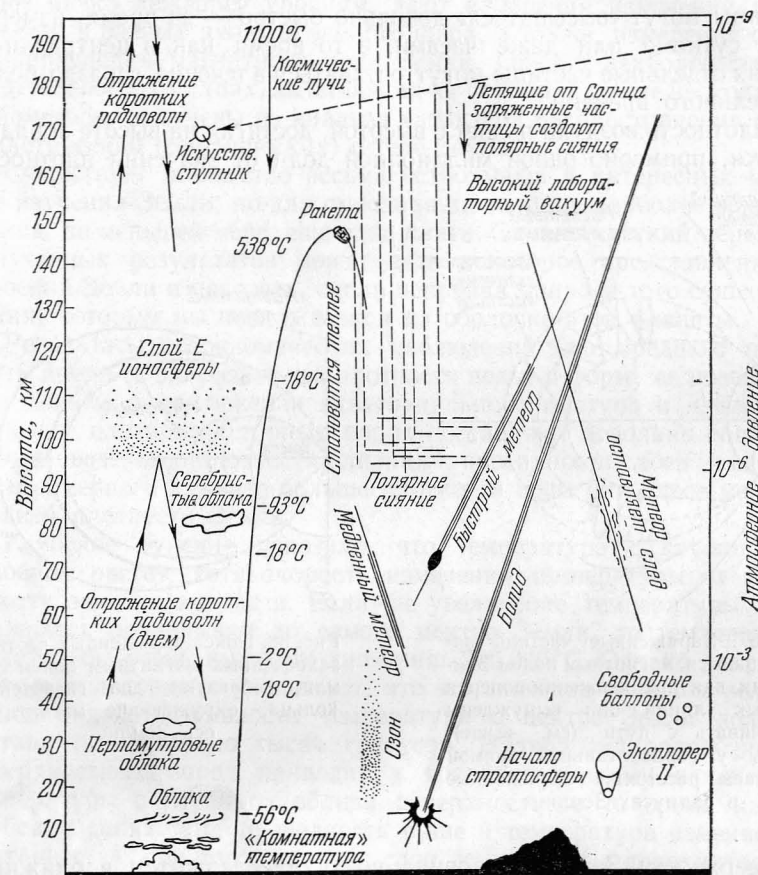


Рис. 56. Явления в верхней атмосфере.

энергиями и захваченных в плен магнитным полем Земли. Пояса радиации очень опасны для живых организмов, не защищенных экранами, эквивалентными слою свинца толщиной около 1,2 см, но даже и через этот экран некоторые частицы могут проникать. Некоторая доля частиц, входящих в состав поясов, возникает при столкновениях космических лучей с атомами и молекулами атмосферы,

*) Радиационные пояса были открыты практически одновременно Ван-Алленом и советскими учеными (С. Вернов и др.) по наблюдениям искусственных спутников, запущенных в СССР и США. (Прим. перев.)

но большая их часть порождается грандиозными выбросами частиц от Солнца во время солнечных вспышек. Пояса могут также пополняться за счет частиц, возникающих при ядерных взрывах на больших высотах. Из пограничных областей радиационных поясов частицы могут «высыпаться» довольно быстро — за время, измеряемое сутками или даже часами, в то время как в центральных частях отдельные частицы могут оставаться в течение гораздо более длительного времени.

Плотность воздуха падает с высотой, достигая на высоте порядка 100 км, примерно одной миллионной доли от значения плотности

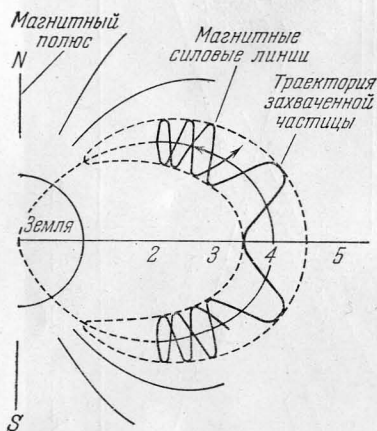


Рис. 57. Заряженные частицы захватываются магнитным полем Земли, так как при движении поперек силовых линий они вынуждены сворачивать с пути (см. выше). Цифры у горизонтальной прямой указывают расстояния, выраженные в радиусах Земли.

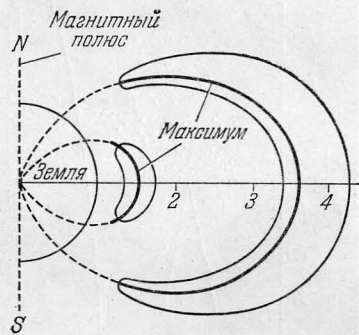


Рис. 58. Пояса заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли, образуют два гигантских кольца, окружающие магнитную ось Земли.

у поверхности Земли. Половина воздуха содержится в ближнем слое толщиной 5,6 км, половина оставшейся части — на высотах до 11,2 км и т. д. На высотах, на которых видны метеоры, отражаются радиосигналы и видны полярные сияния, плотность воздуха не больше, чем в вакууме. Гораздо более разреженная атмосфера, чем земная, была бы все еще хорошей защитой от внешних опасностей, но она не смогла бы столь же эффективно регулировать температуру поверхности.

Изучать земные недра, конечно, труднее, чем атмосферу, однако есть методы, которые позволяют получить немало данных и о недрах Земли. Глубокое бурение проникает до глубин всего около 8 км — это расстояние ничтожно мало по сравнению с радиусом Земли. Некоторые выводы можно сделать, изучая те астрономические

эффекты, которые обязаны своим происхождением экваториальному выступу. Чрезвычайно важное значение для описания явлений, происходящих в поверхностных слоях, имеют данные геологии. Дополнительные, очень ценные сведения, относящиеся к несколько более низко лежащим уровням, дают измерения изменений силы тяжести в разных пунктах земного шара, а также измерения силы и направления магнитного поля Земли. Однако наиболее точные сведения обо всех слоях, залегающих на глубинах свыше нескольких километров, получены из анализа характера распространения волн землетрясений (сейсмических) в теле Земли.

Существует множество весьма остроумных и интересных методов изучения Земли, но для описания даже лишь наиболее важных нужна, по меньшей мере, еще одна книга. Однако краткий перечень полученных результатов может дать некоторое представление о строении Земли и показать, сколь непрочна природа того существования, которым мы наслаждаемся на оболочке этой планеты.

Результаты астрономических наблюдений дают среднюю плотность Земли (в 5,5 раза выше плотности воды) и форму ее поверхности; данные о притяжении экваториального выступа и известные данные о плотностях горных пород поставляют довольно согласованные сведения о плотности близких к поверхности слоев Земли — она примерно в 2,8 раза больше плотности воды или вдвое меньше средней плотности Земли.

Глубокое бурение показало, что температура с глубиной в основном растет, хотя скорость изменения температуры от места к месту заметно меняется. Если бы увеличение температуры продолжалось непрерывно до самого центра Земли, то температура достигла бы очень высокого значения: 200 000°С. Однако геофизические исследования указывают, что это значение слишком велико и что в действительности температура в центре Земли должна составлять несколько тысяч градусов. Низкая теплопроводность поверхностных пород приводит к довольно резкому изменению температуры с глубиной вблизи поверхности, в то время как в глубоких слоях теплопроводность выше и температура изменяется медленнее. Кроме того, верхние слои земной коры дополнительно нагреваются за счет выделения тепла при радиоактивном распаде таких элементов, как торий и радий, которые, по-видимому, сконцентрированы в этих слоях. Количество продуктов радиоактивного распада гелия и некоторых изотопов свинца позволяет оценить возраст тех горных пород, в которых они заключены, а также и возраст Земли — около 4,7 млрд. лет.

Согласно геофизическим измерениям Земля когда-то была нагрета, возможно, в основном благодаря радиоактивности, до такой степени, что большая часть ее недр находилась в расплавленном состоянии. Когда атомы радиоактивных элементов с малым периодом полураспада распались, наша планета остыла, а большая ее часть затвердела. На более ранних стадиях эволюции Земли —

свыше 4 млрд. лет назад — скорость выделения Землей тепла должна была быть гораздо большей, чем в настоящее время, так как тепло быстро выносилось из недр на поверхность благодаря быстрым конвективным потокам. После образования твердой коры

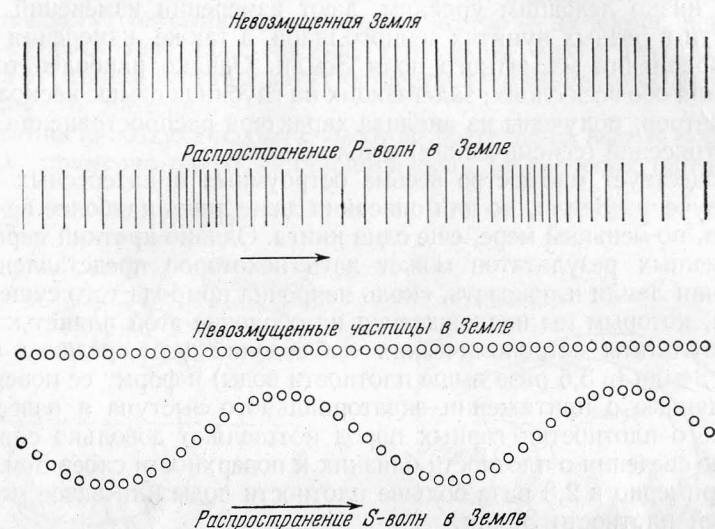


Рис. 59. Сейсмические волны. *P*-волны перемещаются путем последовательного сжатия и разрежения, тогда как *S*-волны представляют собой поперечные колебания.

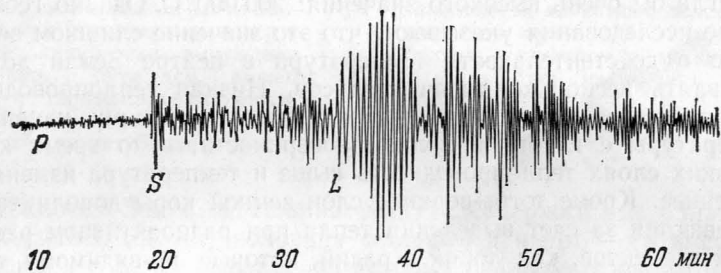


Рис. 60. Сейсмограмма, демонстрирующая характер записей, обусловленных различными сейсмическими волнами. *P*- и *S*-волны предшествуют более сильным поверхностным *L*-волнам.

этот процесс стал гораздо более медленным, так как при извержениях вулканов и вытекании лавы выделяется, самое большее, несколько процентов от общего тепла Земли.

Если бы не те сведения, которые дает анализ сейсмических волн, о строении земных глубин можно было бы в основном только

строить различные предположения. Когда происходят землетрясения, в теле Земли во всех направлениях распространяются волны двух типов. *P*-волны — *первичные* или *продольные* — подобны звуковым волнам. В этом случае колебания передаются в направлении распространения волны путем увеличения давления и плотности, как показано на рис. 59 сверху. Колебания второго типа — *S*-волны — *вторичные* или *поперечные*; они перпендикулярны к направлению распространения, как в случае световых волн или волн на поверхности воды (рис. 59 внизу). *P*-волны всегда распространяются быстрее (примерно в 1,8 раза) *S*-волн и поэтому раньше извещают о землетрясении, будучи зарегистрированы сейсмографом сейсмической станции (рис. 60). На глубине несколько километров от поверхности Земли скорость распространения *P*-волн составляет около 8 км/сек, а *S*-волн — немного меньше, 4,8 км/сек. На больших глубинах, где плотности и давления больше, скорости волн обоих типов возрастают. Разрушительная сила землетрясений связана с более медленными поверхностными волнами (*L*-волны), природа которых гораздо сложнее, чем *P*- и *S*-волн.

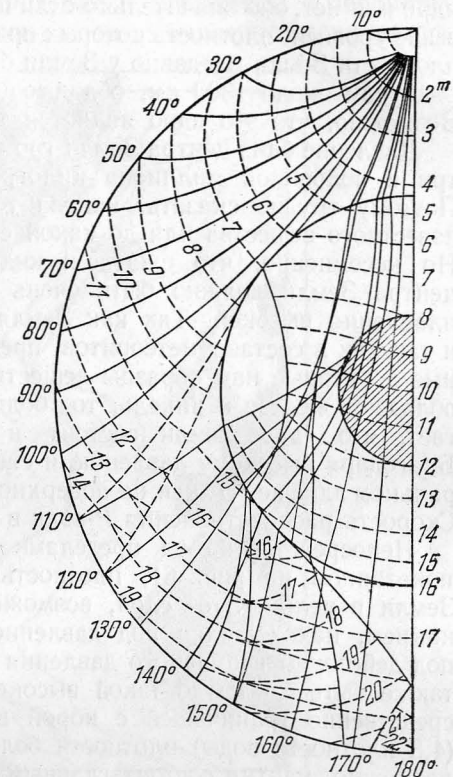


Рис. 61. Траектории сейсмических волн в Земле. Вследствие изменений плотности с глубиной траектории искривляются. В местах разрыва непрерывности на границах ядра *P*-волны резко изгибаются. *S*-волны не проникают в ядро и оказываются скрытыми для станций, находящихся с противоположной по отношению к ядру стороне от землетрясения. Цифры соответствуют минутам времени распространения. Обратите внимание на недавно открытое твердое (?) внутреннее ядро.

Самый значительный и интересный результат, полученный из анализа записей сейсмических волн после прохождения ими различных слоев Земли, сводится к тому, что *S*-волны не проникают в ядро, радиус которого немного больше половины радиуса Земли (рис. 61). Так как *S*-волны затухают в жидкостях, большинство геофизиков считает, что ядро у Земли жидкое. Вполне возможно, что в действительности земное ядро твердое, но поперечные волны

останавливаются у его поверхности благодаря наличию жидкого или какого-то особого слоя. Однако независимо от того, жидкое ядро или нет, оно значительно отличается по строению от лежащих выше уровней, плотность которых примерно в два раза выше средней плотности Земли. Недавно у Земли было открыто центральное ядро радиусом около 1300 км, обладающее очень высокой плотностью. Возможно, что это ядро является твердым.

Давление близ центра Земли громадно; оно составляет примерно три с половиной миллиона килограммов на каждый сантиметр. Поэтому трудно сказать, какова температура плавления любого известного вещества или до какой степени оно может быть сжато. Но несомненно, что сжатие и жидких, и твердых веществ близ центра Земли должно быть очень значительным, а температура плавления высокой. Так как Земля обладает свойствами магнита и так как в составе метеоритов, представляющих собой единственные доступные нам образцы вещества других планетных тел, преобладают железо и никель, то большинство исследователей полагает, что ядро Земли состоит в основном из этих металлов. Благодаря высокому давлению и сжатию плотность железа в центральном ядре не 7,7, как на поверхности Земли, а достигает 11—12. Скорость распространения *P*-волн в ядре составляет 11—13 км/сек.

Непосредственно за пределами ядра в промежуточном слое, показанном на рис. 61, плотность близка к средней плотности Земли в целом. Этот слой, возможно, состоит из смеси железа с камнем, находящихся под давлением, однако не исключено, что под действием громадного давления обычные горные породы могут также быть сжаты до такой высокой плотности. Плотность непосредственно граничащей с корой верхней мантии немного выше (4,3 плотности воды) плотности более тяжелых горных пород, но, возможно, мантия состоит главным образом из таких пород. Кора Земли построена в основном из гранитов и других вулканических пород, осадочные породы в среднем появляются лишь начиная с глубин порядка 1,5 км от поверхности Земли.

Толщина внешней части земной коры в разных местах Земли и по данным разных исследователей имеет различные значения, но, по-видимому, она составляет под континентами примерно 30—40 км, а в некоторых местах под океанами 5—6 км. Таким образом, есть надежда действительно осуществить эксперимент по сквозному бурению земной коры. С геологической точки зрения кора представляется как бы находящейся на поверхности поддающегося деформациям, но крайне вязкого слоя глубиной 150—300 км. Горообразование и наличие протяженных искривлений коры ясно показывают, что кора подвержена движениям, которые были бы невозможны, если бы под ней не было слоя из псевдожидкого вещества, которое может поддаваться таким движениям. Принято говорить, что земная кора находится в состоянии изостатического равновесия. Это означает, что общая масса вещества, находящегося

под любой данной площадью, — величина постоянная. Более легкие вещества поверхностных слоев Земли, как, например, те, из которых образуются горы, поднимаются. Ледники заставляют поверхность опускаться, но после таяния льдов она опять медленно поднимается.

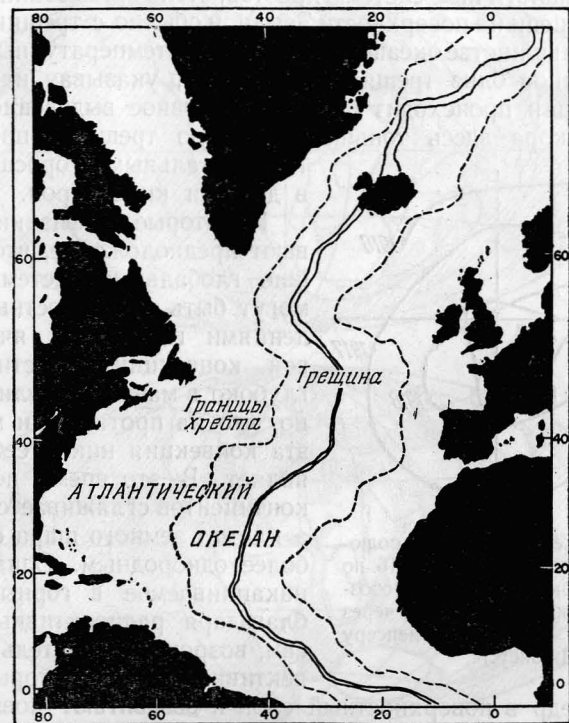


Рис. 62. Атлантический хребет; дно ущелья находится на 2750—4570 м ниже уровня моря, отдельные вершины хребта затоплены всего на 1200—2100 м. Вдоль ущелья систематически происходят глубинные землетрясения. Числа по краю карты — градусы долготы и широты. (По В. Хизену.)

По отношению к столь быстродействующим силам, как сейсмические волны, вещество Земли ведет себя как очень жесткое, но оно поддается силам, действующим на протяжении длительных интервалов времени. Примером вещества подобного рода является стекло. Обычная оконная замазка до некоторой степени моделирует свойства твердой Земли, но в очень короткой шкале времени. Конечно, вулканические извержения указывают на то, что некоторое количество вещества непосредственно под корой должно существовать в жидком состоянии, но все деформируемые слои совсем не обязательно должны быть жидкими в обычном смысле этого слова.

За последние годы были предприняты многочисленные попытки создания карт, взятия проб и измерения температур дна океанов. Установлено, что по всей длине Атлантического океана проходит высокий хребет, близ вершины которого имеется глубокая трещина (рис. 62). Аналогичные системы хребтов, столь же высоких, как большие горные цепи на поверхности Земли, и обычно с трещиной, встречаются в большинстве океанов. Как правило, температурный градиент на дне океанов близ трещины возрастает, указывая на то, что в районе трещин происходит более интенсивное выделение тепла и, возможно, кора здесь тоньше. Зачастую трещины прерываются горизонтальными сбросами длиной в десятки километров.

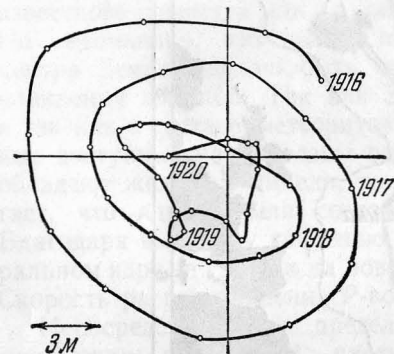


Рис. 63. Движение Северного полюса по поверхности Земли с 1916 по 1920 г. Маленькими кружками обозначены положения полюса через десятые доли года. (По Спенсеру Джонсу.)

Некоторые геофизики высказывают предположение, что эти большие глобальные системы хребтов могут быть поверхностными проявлениями гигантских ячеек тепловой конвекции, простирающихся глубоко в мантию Земли. Возможно, что на протяжении многих лет эта конвекция никак себя не проявляет. В это время поверхность континентов сглаживается эрозией, а климат земного шара становится более однородным. Однако тепло, накапливаемое в горных породах благодаря радиоактивным процессам, возрождает деятельность конвективных ячеек, которые выносят тепло из недр в поверхностный слой и воздвигают новые горные цепи. Затем эти горы и прочие неровности материков вызывают нарушения существовавшей глобальной циркуляции воздуха, что ведет к изменению климата. Возможно, что подобного рода процесс вызывает повторение великих геологических эпох, грубо говоря, через каждые 100 млн. лет. Мы не можем сказать, как именно происходят оледенения, но совершенно несомненно, что их наступление связано с горами и горообразованием.

Два факта из комплекса геологических данных — климатические изменения за последние 500 млн. лет и отпечатки древнего магнитного поля в старинных отложениях — указывают на то, что земная кора *может* также подобно яичной скорлупе смещаться как целое по отношению к более глубоким внутренним слоям. Это движение навеивает воспоминание о классическом способе отличить сырое яйцо от сваренного вкрутую, не разбивая скорлупы. Если закрученное сырое яйцо остановить и тут же убрать руку, то оно снова начнет крутиться. По причине такого движения северный полюс Земли мог некогда находиться в Тихом океане. Согласно

измерениям изменения широты ряда различных станций полюс Земли действительно блуждает в пределах нескольких десятков

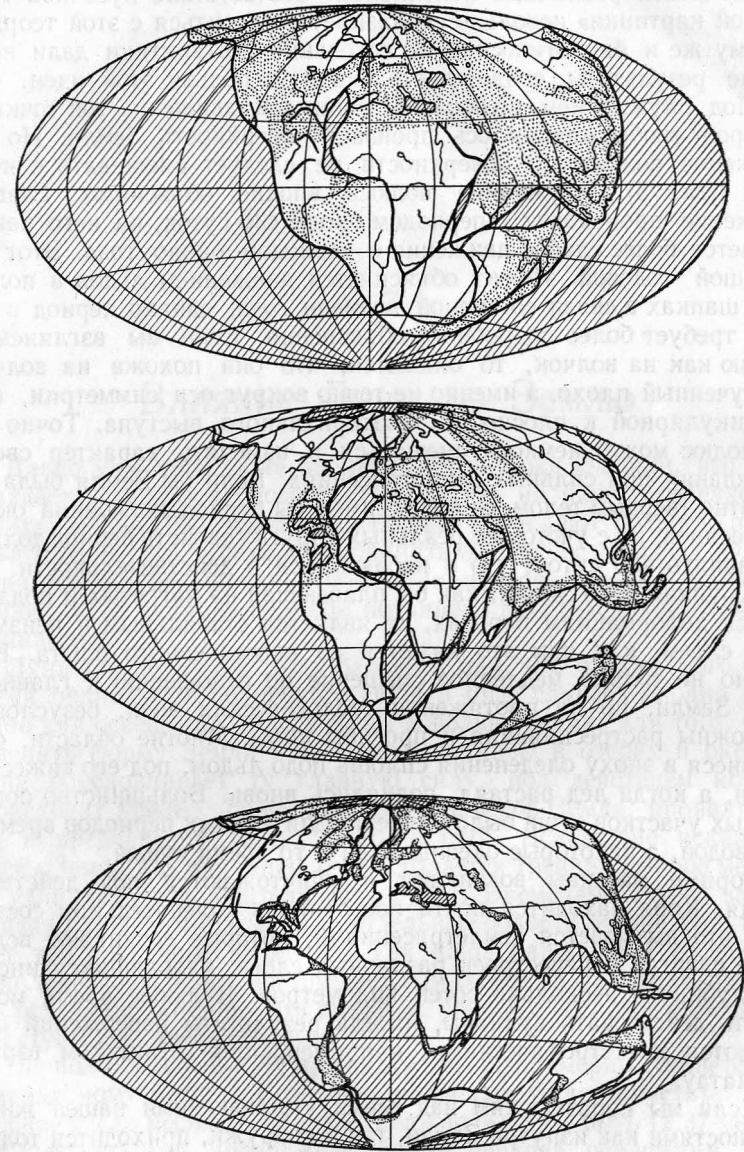


Рис. 64. Движения континентов согласно теории Вегенера.

сантиметров в ту или другую сторону, а возможно, может перемещаться и систематически, но *очень* медленно (рис. 63). Смещаются

ли континенты друг относительно друга, пока не ясно. На рис. 64 показано, каким образом из какого-то одного континента могли образоваться различные континенты. Соответствие кусочков «разрезной картинки» невольно соблазняет согласиться с этой теорией, к тому же и биологические исследования Антарктики дали некоторые результаты, свидетельствующие в пользу этой идеи.

Под блужданием полюса мы понимаем движение той точки, в которой воображаемая ось пронзает поверхность Земли. Но это движение полюса по поверхности не следует смешивать с нутацией (гл. 5). Блуждание полюса вполне объяснимо. Главное движение происходит с периодом около 430 суток, на него накладывается более слабое движение с периодом около года. Этот небольшой годовой эффект объясняется движением льдов в полярных шапках в связи со сменой времени года, однако период в 430 дней требует более подробного объяснения. Если мы взглянем на Землю как на волчок, то окажется, что она похожа на волчок, закрученный плохо, а именно не точно вокруг оси симметрии, перпендикулярной к плоскости экваториального выступа. Точно так же полюс может немного смещаться и изменять характер своего блуждания при сильных землетрясениях. Если бы Земля была абсолютно твердым телом, ее полюс имел бы период колебаний около 10 месяцев, но с учетом ее реальных упругих свойств период должен составлять 430 суток, что и наблюдается в действительности.

Хрупкая кора Земли, как бы плавающая на нагретых и подпадающих деформациям породах, не является стабильным и неизменным слоем, как нам это кажется из повседневного опыта. Возможно не только медленное смещение по отношению к главному телу Земли, но на протяжении геологических эпох, безусловно, возможны растрескивания и прогибы коры. Многие области, оказавшиеся в эпоху оледенения сплошь подо льдом, под его тяжестью осели, а когда лед растаял, поднялись вновь. Большинство современных участков суши было в течение длительных периодов времени под водой, а некоторые океаны были в то время сушей.

Горные массивы возникают и уничтожаются под действием дождя. Кора находится почти постоянно в колебательном состоянии, что вызывается землетрясениями, которые возникают вследствие сдвигов и перестроек различных слоев, находящихся иногда на глубине в несколько сотен километров. В любое время могут начать действовать вулканы, иногда результаты извержений оказываются катастрофическими, например, при гигантском взрыве Кракатау.

Если мы поразмыслим над всеми угрожающими нашей жизни опасностями как изнутри Земли, так и снаружи, приходится только удивляться, что мы все еще существуем.

7

Влияние Луны на Землю

Давно уже прошли те времена, когда люди считали, что Луна обладает загадочной способностью влиять на нашу повседневную земную жизнь. Разумные люди больше не делают попыток приписывать Луне свои успехи или обвинять ее в своих неудачах. Однако Луна все же во многих отношениях непосредственно влияет на Землю, но ее влияние целиком подчинено простым законам физики и динамики.

Луна так велика и столь близка к нам, что отражаемого ею во время полнолуния солнечного света в ряде случаев вполне достаточно для освещения. Масса Луны довольно велика для того, чтобы изменять форму Земли и вызывать приливы в озерах и океанах. Луна обуславливает ту главную силу, под действием которой происходит прецессионное движение полюсов Земли, проявляющееся в предварении точек равноденствия. Вследствие искажения формы Земли под влиянием Луны создается трение, которое медленно удлиняет продолжительность суток. Временами Луна, загораживая Солнце и отбрасывая на отдельные области Земли тень, вызывает там солнечные затмения. Так наша ближайшая соседка по межпланетному пространству дает нам о себе знать. Чтобы понять, как осуществляются все эти влияния, начнем с исследования движений Луны и ее внешнего вида.

Период обращения Луны вокруг Земли примерно соответствует календарному месяцу. Если бы в календаре было допустимо иметь дробное число месяцев, то в году должно было бы быть 12,37 месяца, так как средняя продолжительность периода обращения Луны равна 29 суткам 12 час. 44 мин. 2,8 сек. Этот период, называемый *синодическим* месяцем, равен интервалу времени, в течение которого Луна проходит всю последовательность фаз — *новолуние, первую*

четверть, полнолуние, третью четверть и опять возвращается к новолунию (рис. 65), т. е. завершает полный оборот вокруг Земли относительно Солнца. Но так как за это же время Земля продвигается по своей орбите вперед примерно на 30° , то истинный или *сидерический* месяц, измеряемый по отношению к звездам, короче синодического месяца (немного меньше, чем на двое суток). В среднем продолжительность сидерического месяца 27 суток 7 час. 43 мин. 11,5 сек.

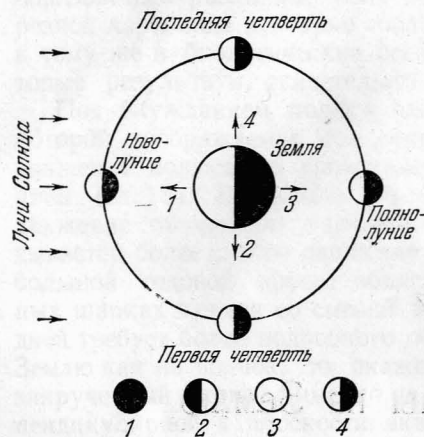


Рис. 65. Фазы Луны при наблюдениях с Земли в течение синодического месяца.

дам *раньше*, чем она опять достигнет фазы *новолуния*, потому что за это время Земля совершит часть своего обращения вокруг Солнца.

Самым любопытным в движении Луны является тот факт, что Луна поворачивается вокруг своей оси с той же средней скоростью, с какой она обращается вокруг Земли. Вследствие этого мы всегда видим *одно и то же* полушарие поверхности Луны и *никогда* не видим другого полушария. Чтобы продемонстрировать движение Луны, возьмите мяч или шар и, крепко держа его в вытянутой руке, медленно поворачивайте вокруг него. Когда вы завершаете одно обращение, то же самое происходит и с мячом, но вы все время видите только одну его сторону, если, конечно, не вращаете его в руке.

В действительности у нас есть некоторая возможность заглянуть за краешек Луны, главным образом потому, что Луна обращается не по круговой, а по эллиптической орбите. Вследствие движения

Причина различия в продолжительности этих двух месяцев становится понятной из рассмотрения рис. 66. Возьмем в качестве исходного момента новолуние (а), когда Солнце, Луна и Земля находятся на одной прямой; мы видим, что Луна возвращается к тому же самому положению по отношению к звездам

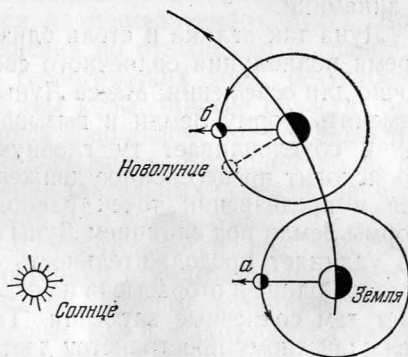


Рис. 66. Сидерический месяц короче синодического месяца. Луна еще не в новолунии (положение б), хотя она завершила оборот вокруг Земли по отношению к звездам.

Луны по эллипсу скорость ее обращения не равномерна, в то время как скорость вращения вокруг оси почти равномерна. Кроме того, орбита Луны наклонена примерно на 5° к эклиптике и полюс Луны движется к западу вокруг полюса эклиптики, завершая полный оборот примерно за 19 лет. Таким образом, мы можем также заглянуть примерно на 5° за полюсы Луны. Наше положение на Земле позволяет нам видеть чуть большую часть Луны; кроме того, при своем вращении Луна слегка покачивается в ту и другую сторону примерно на $1-2'$ за три года. Все эти эффекты, которые позволяют нам видеть частично «запретное» для нас полушарие, называются *либрациями*. Если все либрации просуммировать, то они дают нам возможность в разное время видеть до 59% поверхности Луны, тогда как 41% вообще невозможно увидеть. Лишь с началом завоевания космоса человеку удалось проникнуть в тайны обратной стороны Луны (см. след. главу).

Так как Луна — ближайший к нам объект, ее расстояние известно с наибольшей точностью. Ранее для измерения расстояния Луны использовался старый метод, почти в точности аналогичный используемому для измерений расстояния Эроса, описанный в гл. 4. Радиолокационные измерения подтвердили прежнее значение расстояния Луны и довели точность его определения до 1,5 км. Самое близкое расстояние, на которое Луна подходит к центру Земли, составляет около 356 414 км. Конечно, поскольку наблюдатель находится на поверхности Земли, он как бы может подойти на 6400 км ближе к Луне. Когда мы видим Луну над головой, то мы также рассматриваем ее с расстояния на 6400 км более близкого, чем если смотреть на Луну при ее восходе или заходе (рис. 67). Наибольшее расстояние от Луны до Земли составляет 402 400 км, в то время как ее среднее расстояние равно 384 400 км.

При наблюдениях восходящей или заходящей Луны неожиданный эффект создает атмосфера Земли. Лучи света отклоняются атмосферой до такой степени, что *целиком Луну (или Солнце) можно видеть еще до того момента, как она действительно взошла, и после того, как она в действительности зашла за горизонт*. Дело здесь в том, что *рефракция* света при переходе его из пустоты в атмосферу составляет как раз около полуградуса, т. е. примерно равна видимому диаметру Луны. Таким образом, когда верхний край Луны должен был бы быть, если бы не было атмосферы, еще невидим, вся Луна, благодаря рефракции, как бы поднимается и

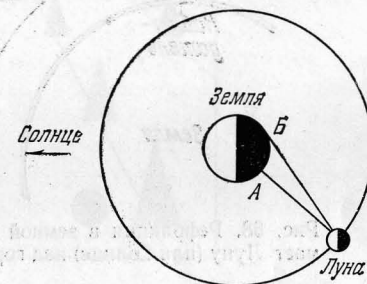


Рис. 67. Расстояние до Луны для наблюдателя А, который видит ее над головой, меньше, чем для наблюдателя В, который видит ее заходящей.

становится видимой (рис. 68). Чем больше высота, тем рефракция меньше, в зените она равна нулю.

Каждый замечал, наверное, то странное явление, что Луна кажется больше, когда она находится близ горизонта, чем когда она находится высоко в небе. В действительности измерения показывают, что когда Луна находится близ горизонта, ее диаметр меньше вследствие упомянутого выше эффекта небольшого увеличения расстояния, а также вследствие того, что рефракция слегка

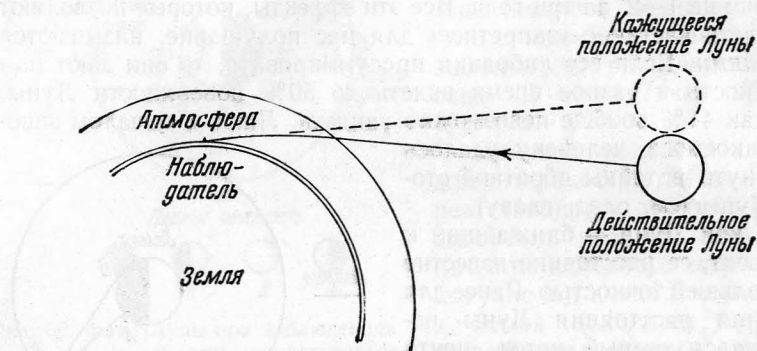


Рис. 68. Рефракция в земной атмосфере видимым образом поднимает Луну (или Солнце) над горизонтом, хотя фактически она зашла.

сплюсчивает диск. Общепринятое объяснение этого эффекта сводилось к тому, что Луна кажется больше, когда мы смотрим на нее и невольно сопоставляем с удаленными объектами на горизонте, чем когда мы видим ее на широком небесном просторе. Однако поскольку этот эффект сохраняется и в случае сплошной гладкой линии горизонта на море, а не только в случае горизонта суши с характерными для него далекими объектами, это объяснение признано теперь неудовлетворительным. По мнению психологов, этот эффект возникает благодаря особым свойствам мозга и глаза. Наблюдатель невольно стремится рассматривать Луну как находящуюся на более далеком расстоянии, когда она видна близ горизонта, чем когда она стоит над головой, т. е. он бессознательно относит ее к более далекому горизонту. Но так как угловой размер Луны остается неизменным, то близ горизонта, где она *кажется* более далекой, она *кажется* и существенно большей (рис. 69).

Важно, конечно, то, что Луна может быть объектом, стимулирующим развитие человеческой мысли, однако наибольшее влияние, которое Луна оказывает на Землю, является результатом ее способности вызывать приливы. Приливообразующая способность есть прямое следствие гравитационного притяжения Земли близкой к ней Луной. Причина приливов была давно уже понята Ньютоном как подтверждение открытого им закона всемирного тяготения. Так как сила притяжения обратно пропорциональна квадрату рассто-

яния, то та часть Земли, которая находится ближе к Луне, притягивается с силой почти на 7% большей, чем та, с которой притягивается самая далекая от Луны часть. В центре Земли сила, конечно,

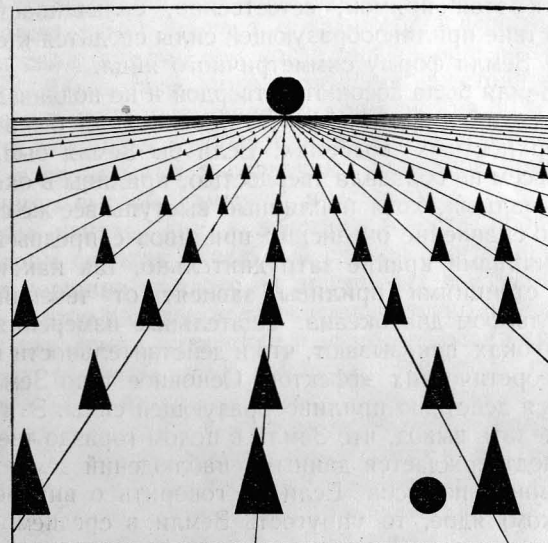


Рис. 69. Лунная иллюзия: два черных диска имеют одинаковые диаметры (по Року и Кауфману).

имеет среднюю величину, которая как раз такова, чтобы удерживать Луну на ее орбите. Разность в 7% в силе действует на тело Земли как возмущение, стремящееся растянуть земной шар в направлении прямой, соединяющей Землю с Луной (рис. 70).

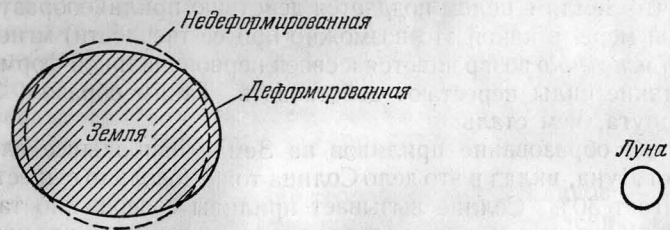


Рис. 70. Причина приливов. Луна вытягивает Землю в направлении прямой, соединяющей их центры.

Самая интересная особенность этой приливообразующей силы состоит в том, что *обратная* по отношению к Луне сторона земной поверхности подвергается почти точно такому же возмущению, что и сторона, обращенная к Луне. Это симметричное удлинение трудно понять, если учесть, что обращенное к Луне полушарие

Земли оттягивается от центра, а центр в свою очередь оттягивается от противоположного полушария. Когда Земля растягивается вдоль прямой, соединяющей ее с Луной, круглое сечение, перпендикулярное к этой прямой, естественно, сплющивается. Таким образом, действие приливообразующей силы сводится к стремлению придать телу Земли форму симметричного яйца.

Если бы Земля была абсолютно твердой и не поддавалась деформациям, то все приливные эффекты происходили бы в океанах и прочих поверхностных водоемах. Если бы Земля была идеально упругой и совсем не обладала твердостью, приливы в океанах были бы ничтожно малыми, хотя приливные выступы все же существовали бы. Однако сравнение океанских приливов с предвычисленными для них величинами крайне затруднительно, так как измеряемые береговыми станциями приливы зависят от течений, которые связаны с рельефом дна океана. Тщательные измерения приливов в длинных трубках показывают, что в действительности происходит всего 70% теоретических эффектов. Основное тело Земли на 30% само поддается действию приливообразующей силы. Эти измерения позволяют сделать вывод, что Земля в целом гораздо тверже стали. Этот вывод подтверждается данными наблюдений землетрясений и движения земных полюсов. Если не говорить о внутреннем (возможно, жидком) ядре, то упругость Земли в среднем в два раза превышает упругость стали.

Из экспериментов с приливами был получен еще один неожиданный, относящийся к Земле результат: Земля является упругим шаром. До этих экспериментов в основном считали, что Земля вязкая, как густая патока или стекло, т. е. если бы она оказалась подвергнутой небольшим деформациям, то, вероятно, или осталась бы такой или же медленно вернулась к своей первоначальной форме под действием малых восстанавливающих сил. Эксперименты показали, что Земля в целом поддается действию приливообразующих сил (в той мере, в какой это возможно при ее твердости) мгновенно и что она мгновенно возвращается к своей первоначальной форме, как только такие силы перестают действовать. Таким образом, Земля более упруга, чем сталь.

Хотя на образование приливов на Земле наибольшее влияние оказывает Луна, вклад в это дело Солнца тоже довольно существен — он достигает 30%. Солнце вызывает приливы совершенно так же, как Луна. Когда эти два тела находятся почти на одной прямой, как это бывает во время новолуния или полнолуния, их приливные силы складываются. Если направления на Солнце и на Луну составляют 90° , как в первой или третьей четверти, то их приливные воздействия стремятся погасить друг друга. Вследствие этого во время новолуний или полнолуний бывают сизигийные приливы, при которых прилив очень высок и очень низок отлив. Между ними — в первую и третью четверть — бывают квадратурные приливы, во время которых разница уровней воды между приливом и отливом умень-

шается более чем вдвое по сравнению с этой разницей во время сизигийных приливов.

При образовании приливов существует еще один фактор. Когда Луна ближе всего к Земле, т. е. находится в перигее, ее приливообразующая сила больше, чем когда она дальше всего от Земли, т. е. в апогее. Вследствие этого изменения расстояния вклад Луны в образование приливов меняется примерно на 30%. Сочетание переменности величины лунных приливов с переменностью комбинированной части лунных и солнечных приливов приводит к большим колебаниям высоты приливов в океанах.

Чтобы понять, как в действительности происходят приливы, рассмотрим сначала идеальный случай, когда прилив имеет место точно в вершине каждого из приливных выступов, показанных на рис. 70. В этом идеальном случае ежедневно происходят два прилива, так как Земля вращается и мимо наблюдателя последовательно проходят вершины двух выступов. Приливы происходят, когда Луна находится выше всего над головой (проходит через меридиан — воображаемую линию, пересекающую небо с севера на юг) и когда она находится в противоположной точке с другой стороны Земли, а отливы, когда Луна занимает промежуточные положения. Вследствие обращения Луны вокруг Земли наступление приливов каждые сутки опаздывает примерно на 50 минут.

Сизигийные приливы происходят дважды в месяц — в новолуние и полнолуние, когда лунные и солнечные приливы складываются. Между сизигийными приливами в первую и третью четверти, когда солнечный прилив вычитается из лунного, происходят квадратурные приливы.

Как правило, один раз в год новолуние приходится на тот момент, когда Луна находится близ перигея, а приблизительно через полгода на такой же момент приходится полнолуние. Возникающие при этом сизигийные приливы оказываются дважды в году особенно высокими вследствие увеличения силы лунных приливов. Но даты этих максимальных сизигийных приливов из года в год запаздывают больше чем на месяц, так как направление на перигей непрерывно перемещается по лунной орбите с периодом около 9 лет.

Хотя предвычисление теоретических приливов — дело довольно сложное, гораздо труднее предсказать наступление действительных приливов на данной станции. Высоты приливов на береговых станциях в основном составляют несколько десятков сантиметров, т. е. оказываются значительно более высокими, чем в среднем следует ожидать согласно простой теории. Это расхождение обусловлено тем, что высоты наблюдаемых приливов измеряют на мелководных побережьях океанов. Вследствие вращения Земли приливные выступы (см. рис. 70) становятся, по существу, приливными волнами, которые нагромождаются на наклонное дно океанов близ берегов, подобно тому как океанская мертвая зыбь может превращаться

в высокие волны при приближении к отлого поднимающемуся берегу. В заливе Фунди, где этот эффект еще усиливается благодаря наличию воронкообразной береговой линии, высота приливов составляет часто 15 м и более.

В любом пункте берега время, необходимое для того, чтобы прилижная волна достигла максимальной высоты, всецело зависит от очертаний дна океана. Во многих местах прилив неизменно запаздывает на несколько часов по сравнению с максимумом приливообразующей силы. Это запаздывание, известное в морских портах под названием *прикладного часа* данного порта, используется при предвычислении приливов. Если фаза Луны и прикладной



Рис. 71. Неравенство суточных приливов. Прилив в А выше, чем в В.

час для данного места на берегу известны, то можно обычно оценить время наступления прилива и отлива с ошибкой, не превышающей часа.

В новолунии или полнолунии прикладной час представляет собой число часов после полудня или полуночи (солнечное время), через которое должен наступить прилив. В первой или третьей четверти то же самое предсказание дает время отлива. Прибавляя поправку — 50 мин. за каждые сутки, прошедшие с момента ближайшей предшествовавшей фазы Луны, можно подсчитать время приливов для любой промежуточной даты.

Для станций, далеких от экватора, заметное влияние на приливы оказывает наклон эклиптики. Поскольку ось Земли наклонена к плоскости лунной орбиты, высота двух суточных приливов может быть весьма различной. Обратившись к рис. 71, мы видим, что прилив в точке А будет более высоким, чем через 12 часов в точке В. На некоторых станциях часто случается, что вместо двух приливов заметен только один.

В береговых районах приливы, естественно, вызывают большой интерес и имеют важное значение в повседневной жизни людей, так или иначе связанных с морем. Для большинства остальных обитателей земного шара приливы — всего лишь интересное, связанное с морем явление. Во всяком случае мы считаем приливы чем-то

настолько само собой разумеющимся, что склонны забывать, какую роль при этом играет Луна. С другой стороны, пораженный другим замечательным явлением — полным затмением Солнца, ни один из смертных не может ошибиться в том, что оно вызвано Луной. Изредка, благодаря удивительному стечению обстоятельств, Луна оказывается как раз в таком положении, что закрывает собой свет Солнца для небольшой площадки на Земле. Если бы Луна была чуть ближе к Земле, солнечные затмения были бы обычным явлением, а если бы она была чуть дальше, мы вообще никогда не могли бы наблюдать полных затмений.

На рис. 72 показана тень Луны, падающая на Землю. Для наблюдателя, находящегося в пределах темного конуса (*область*

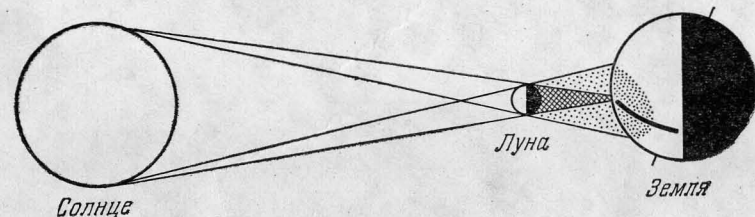


Рис. 72. Полное солнечное затмение. Темной штриховкой изображена область полной тени (полное затмение), светлой штриховкой — область полутени (частное затмение). Показана полоса полного затмения. Относительные размеры Солнца, Земли и Луны не соответствуют истинным.

полной тени), прямые лучи Солнца не видны; он может видеть лишь *корону* — самую внешнюю часть атмосферы Солнца и высокие протуберанцы. Вне конуса тени — в области *полутени* закрыта часть солнечного диска. По мере того как тень Луны перемещается по поверхности Земли, солнечный свет медленно меркнет, и это затмение длится порядка часа или более (рис. 73). Когда свет становится более слабым и остается видимым лишь узенький серп солнечного диска, в воздухе разливается необычная прохлада и воцаряется удивительная тишина. Серп все же еще настолько ярък, что его следует рассматривать через затемненное стекло. Непосредственно перед самым наступлением полного затмения узкий серп разрывается на ряд бусинок — это последние лучи Солнца прорываются между неровностями лунной поверхности. Эти бусинки — так называемые *четки Бейли* — сверкают в течение всего нескольких секунд (рис. 74). К этому времени вокруг всего диска Луны образуется как бы сияющее кольцо, а если, как это иногда бывает, одна из бусин оказывается особенно яркой, создается впечатление сияющего бриллиантового кольца. Забавно, что эти четки в действительности должны были бы называться четками Уильямса, так как Уильямс (1743—1817) наблюдал и описал их за много лет до Бейли (1774—1844).

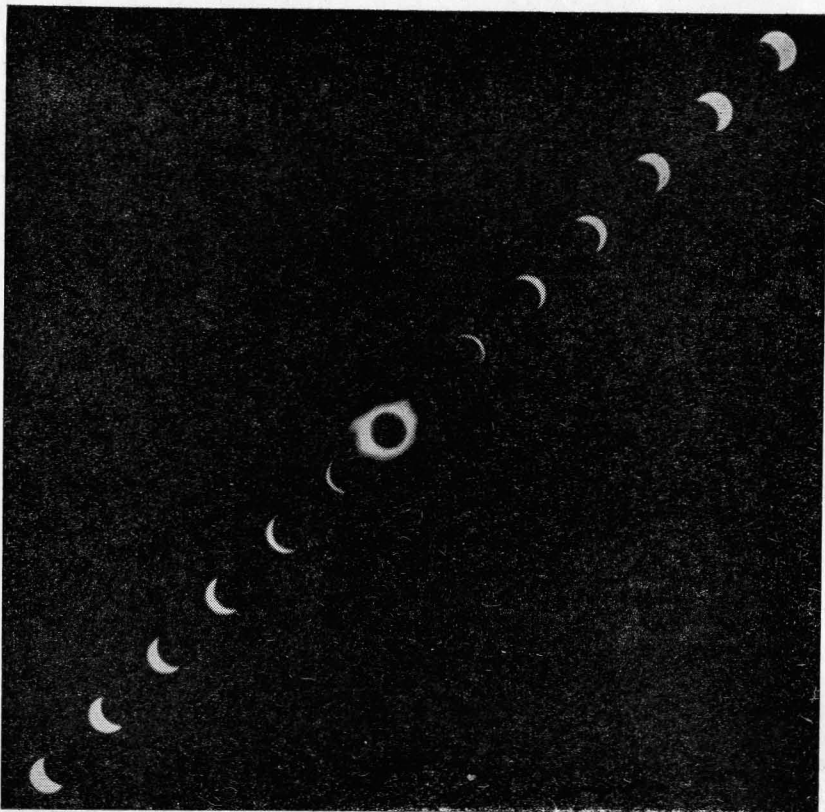


Рис. 73. Солнечное затмение в феврале 1961 г.

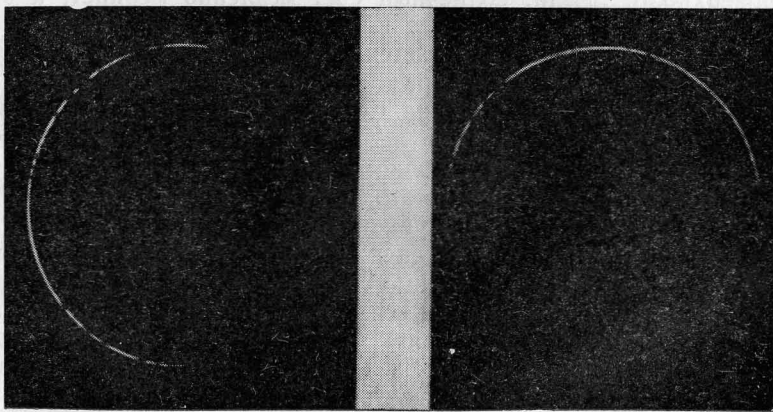


Рис. 74. Четки Бейли.

Небо быстро становится темным, как во время вечерних сумерек. В этот момент вокруг Солнца вспыхивает корона (рис. 75). Длинные языки света, протяженностью в несколько диаметров Солнца, выдаются из сияющего ореола света в темную синеву неба. При этом можно видеть несколько ярких звезд и планеты. Безмолвие и прохлада внушают благоговейный страх, а для описания великолепия сверкающей серебристо-синей короны не хватает слов.

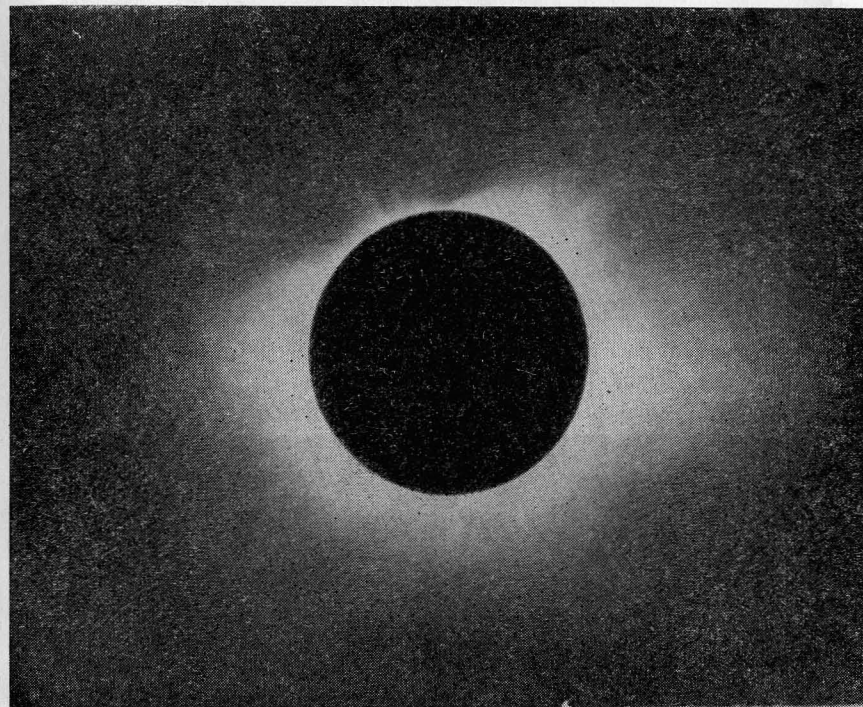


Рис. 75. Солнечная корона во время полного солнечного затмения 31 августа 1932 г.

Очень скоро это зрелище нарушается появлением ослепительно ярких лучей из четок, которые становятся видимыми на западном краю Солнца. После полной фазы затмения четки кажутся гораздо ярче и сильнее бросаются в глаза, чем до полной фазы, так как глаз привык к полумраку. Вскоре уже серп Солнца освещает ландшафт, и медленно в обратном порядке повторяются частные фазы затмения, пока Солнце не окажется полностью открытым.

Полное затмение не может продолжаться свыше семи минут, а обычно оно длится значительно меньшее время, и, тем не менее,

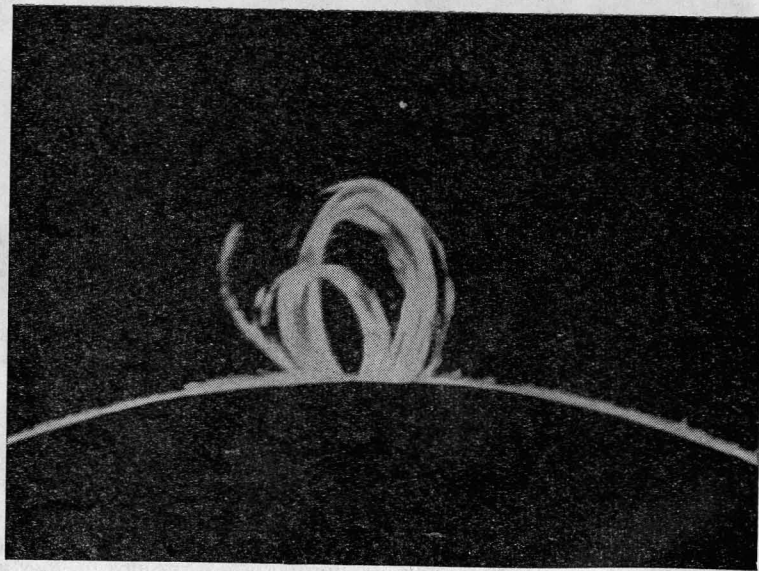
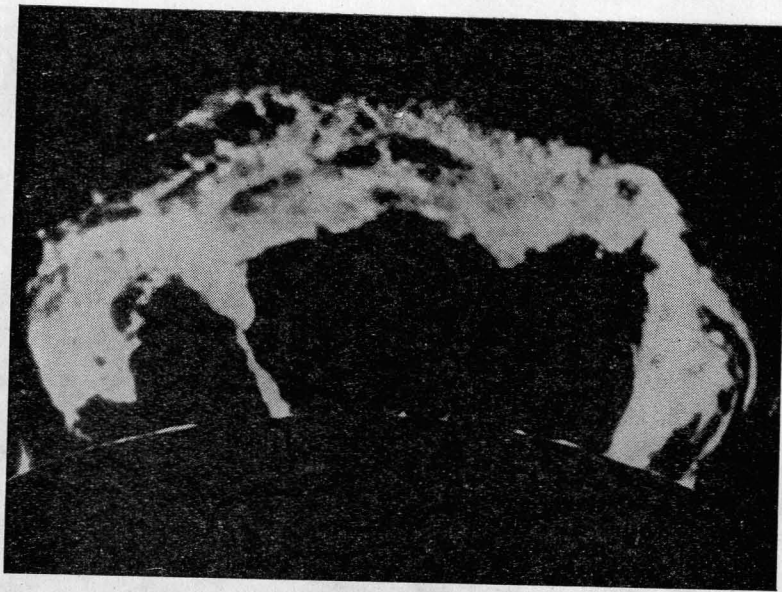


Рис. 76. Солнечные протуберанцы представляют собой гигантские облака раскаленного водорода, кальция и других газов. Форма протуберанцев весьма разнообразна и зависит от магнитных полей на Солнце.

это зрелище с избытком вознаграждает наблюдателя за его старания прибыть в зону полной фазы. Что же касается астрономов, то для них затмение представляет возможность пронаблюдать корону — протяженную, но крайне разреженную и очень горячую газовую оболочку, окружающую главное тело Солнца. Во время полной фазы можно также видеть солнечные *протуберанцы* — огромные, вихрем кружащиеся или взрывающиеся облака газа, ярко светящиеся в линиях водорода и кальция (рис. 76), хотя теперь и протуберанцы и корону можно наблюдать и вне затмения. Астрономы имеют также возможность сфотографировать и измерить положения звезд близ Солнца, где обычно измерения невозможны вследствие яркости солнечного света, рассеянного в земной атмосфере. Эти измерения показали, что свет далеких звезд действительно отклоняется массой Солнца в соответствии с выводами из теории относительности Эйнштейна. Этот наблюдательный факт, а также аномальное движение перигелия Меркурия представляют собой два из трех астрономических доказательств теории относительности.

После многих месяцев, проведенных за конструированием и изготовлением приборов, зачастую после длительного путешествия в отдаленнейшие места земного шара, где должно было быть видно затмение, и после напряженной и обычно поспешной окончательной сборки приборов в выбранном для наблюдений пункте, астроном считает себя счастливым, если ему повезло настолько, что как раз в критический момент в течение нескольких минут небо было чистым. Хотя солнечное затмение — явление не слишком редкое (ежегодно бывает от двух до пяти затмений), такие экспедиции необходимы, так как площадь Земли, покрываемая полной тенью, очень мала — ширина полосы полной фазы составляет всего несколько десятков километров. В каждом данном месте *полное* затмение можно наблюдать в среднем лишь один раз в 360 лет. Иногда только лунная полутьма пересекает Землю, вызывая частное затмение, а иногда Луна оказывается настолько далекой от Земли, что ее диск покрывает Солнце не полностью. В последнем случае наблюдается *кольцеобразное* затмение (рис. 77). Кольцеобразные затмения иногда используются для измерения точного профиля лунного края.

Затмения Луны Землей менее многочисленны, чем солнечные затмения, но каждое лунное затмение доступно наблюдениям более чем на половине поверхности земного шара (рис. 78). Следовательно, в каждом данном месте Земли лунное затмение можно видеть довольно часто. В некоторые годы не происходит ни одного лунного затмения, а максимальное возможное число их в год — три. Общее максимальное число затмений в течение одного календарного года — семь: 5 солнечных и 2 лунных, или 4 солнечных и 3 лунных. Но лунные затмения совсем не так эффектны, как солнечные, и не представляют большой ценности для астрономов. Когда Луна оказыва-

ется полностью в конусе полной тени Земли, она обычно приобретает тусклый медный оттенок, так как часть солнечного света в

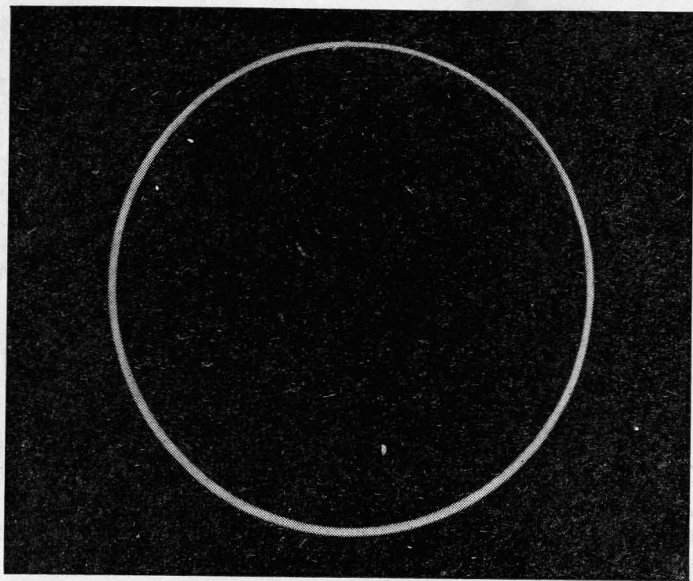


Рис. 77. Кольцеобразное затмение Солнца, сфотографированное 30 июля 1962 г. Стоддардом и Моуритоном из Локхидской солнечной обсерватории.

результате преломления в земной атмосфере создает впечатление солнечного захода. В редких случаях затмеваемая Луна выглядит

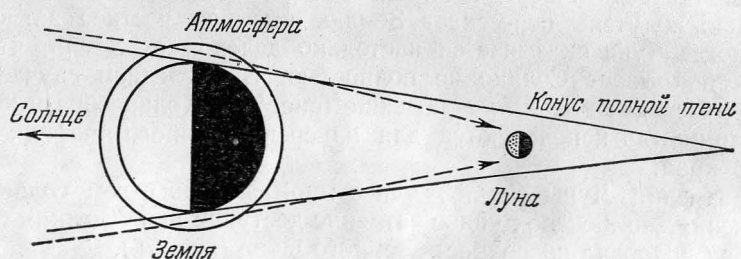


Рис. 78. Во время лунных затмений Луна остается видимой, так как вследствие рефракции в земной атмосфере солнечные лучи отклоняются в область полной тени.

очень темной, что бывает обусловлено сплошной облачностью сумеречной зоны земной атмосферы; в других же случаях часть Луны во время полной фазы оказывается освещенной (рис. 79).

Наблюдения солнечных затмений в древности оказали нам неоценимую услугу, так как они показали, что Луна стремится увеличить продолжительность земных суток, действуя как тормоз на вращение Земли.



Рис. 79. Полное затмение Луны. Часть Луны слегка освещена светом благодаря преломлению света в атмосфере с одной стороны Земли.

То, что тогда не существовало точных приборов для хранения времени, не является помехой в такого рода исследованиях, так как место, в котором могло наблюдаться полное затмение Солнца, само по себе служит хорошей мерой времени и положения Луны во время затмения. Для того чтобы тень Луны упала на данную точку земной поверхности, Земля должна быть повернута на определенный угол, а Луна должна занимать совершенно определенное положение. Вычисления, основанные на записях древних затмений, показывают, что *продолжительность* суток *увеличивается* почти на 0,001 сек в столетие. Это изменение должно возникать вследствие приливного трения.

Энергия приливов при этом переходит в тепловую энергию мощностью 4 млрд. лошадиных сил. В 1920 г. Джефрис подсчитал,

что 80% наблюдаемого изменения продолжительности суток можно объяснить трением при движении воды в мелководных областях Берингова моря. Однако недавно Мунк и Мак-Дональд поставили под сомнение этот вывод и считают проблему нерешенной. Сочетание полученных в последние годы сейсмических данных и экспериментального исследования приливов на суше приводит к решению, которое, возможно, в конечном итоге окажется верным. Японские геофизики нашли, что земная кора, по-видимому, делится на глыбы размерами в несколько километров. Когда приливные силы оказывают на кору возмущающее действие, глыбы реагируют на него каждая в отдельности, скользя одна относительно другой или же «размалывая» друг друга. Таким образом, приливное трение может иметь место не только в больших мелководных бассейнах, но и в земной коре.

Точные наблюдения Луны, Меркурия, Венеры и Солнца в течение последнего столетия выявили еще более удивительные неравномерные изменения продолжительности суток. На рис. 80 отклонения наблюдаемых положений этих тел от вычисленных по теории движения приведены к эквивалентной ошибке определения положения Луны во времени. Из того факта, что кривые отклонений почти одинаковы, следует сделать вывод, что наша Земля оказалась плохими часами. В конце 19 в. Земля уходила вперед более чем на секунду в год, после 1900 г. она стала отставать менее чем на секунду в год, а с 1920 г. она опять начала спешить.

Изменение скорости вращения примерно на 1 сек в год соответствует точности лучших маятниковых часов, но гораздо ниже точности, обеспечиваемой современными атомными часами. Но это изменение поразительно велико для Земли, рассматриваемой как твердое тело. С другой стороны, наблюдаемую ошибку можно было бы объяснить, если бы радиус Земли равномерно увеличивался или уменьшался всего на несколько сантиметров. Имеются некоторые данные, из которых следует, что изменения скорости вращения Земли связаны с явлением глубинных землетрясений. Такая связь не удивительна, если учесть тот факт, что для изменения скорости вращения Земли в ней должны происходить какие-либо изменения.

За последние годы были подсчитаны периоды колебаний кристаллов кварца, атомов в молекуле аммиака, атомов цезия и других атомов, которые и были использованы для приведения часов в действие. Обеспечиваемая такими часами точность поразительна, причем она непрерывно повышается с общим ростом технического прогресса. Ошибки порядка 0,001 сек в год уже не считаются феноменально малыми и серьезно обсуждается вопрос о дальнейших усовершенствованиях часов, чтобы увеличить их точность еще в 1000 раз. По сравнению с такими устройствами Земля хранит время как какие-нибудь дешевенькие часики. Смена времен года на Земле, систематические ветры, метеорологические явления,

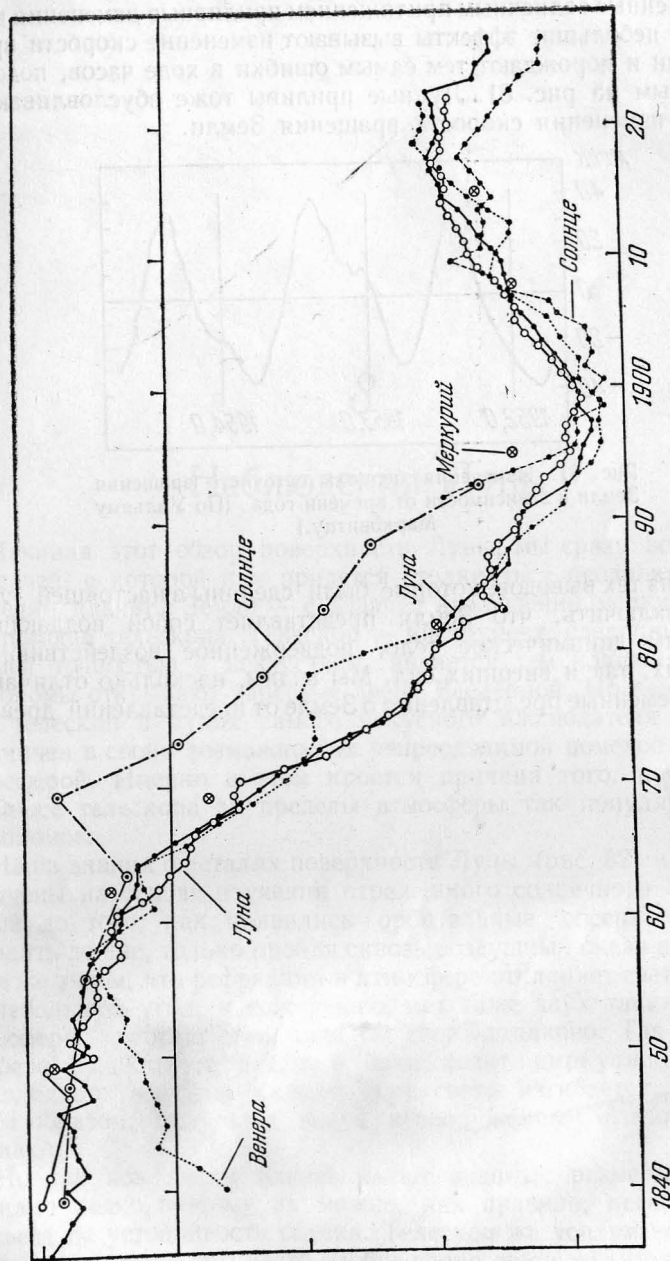


Рис. 80. Земля — не идеальные часы. Кривые, выведенные Спенсером Джонсом, представляют собой наблюдаемые отклонения от вычисленных движений Луны, Солнца, Венеры и Меркурия. Так как эти тела едва ли могли отклоняться под действием случайных причин одинаково, ошибочными должны быть моменты наблюдений. Следовательно, Земля вращается неравномерно.

обусловленные солнечным притяжением приливные изменения в коре и прочие небольшие эффекты вызывают изменение скорости вращения Земли и порождают тем самым ошибки в ходе часов, подобные показанным на рис. 81. Лунные приливы тоже обуславливают измеримые изменения скорости вращения Земли.

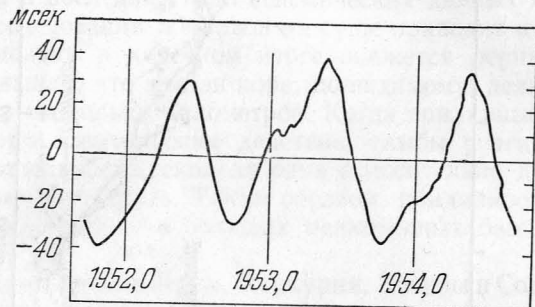


Рис. 81. Изменения периода суточного вращения Земли в зависимости от времени года. (По Уильяму Марковитцу.)

Итак, из тех выводов, которые были сделаны в настоящей главе, можно заключить, что Земля представляет собой поддающееся изменениям динамическое тело, подверженное воздействию как внутренних, так и внешних сил. Мы видим, насколько отличаются наши современные представления о Земле от представлений древних!

8

Наблюдения Луны

Начиная этот обзор поверхности Луны, мы сразу встречаемся с задачей, с которой нам придется столкнуться неоднократно при изучении планет с Земли — с задачей наблюдений мелких деталей при помощи телескопа. Телескоп — инструмент, сделанный с величайшей точностью и искусством, является тем ключом, которым астрономы открывают запертые двери Вселенной. Но даже идеальный телескоп в руках самого искусного наблюдателя на Земле ограничен в своих возможностях непреодолимой помехой — земной атмосферой. Именно в этом кроется причина того, почему идея о выносе телескопа за пределы атмосферы так популярна среди астрономов.

Наши знания о деталях поверхности Луны (рис. 82) или планет получены на основе изучения отраженного солнечного света, который до того, как появились орбитальные обсерватории, мог доходить до нас, только пройдя сквозь воздушный океан атмосферы. Мы уже знаем, что рефракция в атмосфере отклоняет световые лучи на небольшой угол; к сожалению, нет даже двух таких участков атмосферы, которые отклоняли бы свет одинаково. Так как в атмосфере существуют ветры и происходит циркуляция теплого и холодного воздуха, каждый луч света изгибается несколько иным образом. Результат виден невооруженным глазом: звезды мерцают.

Но так как диски планет имеют видимые размеры, планеты мерцают редко, поэтому их можно, как правило, легко отличить от звезд по устойчивости блеска. Телескоп же усиливает мерцание настолько сильно, что часто изображения звезд кажутся «кипящими», как будто они видны над поверхностью горячей плиты или раскаленных песков пустыни. Эта похожая на кипение турбулентность атмосферы обуславливает «качество изображения», которое

может быть хорошим или плохим в зависимости от того, каким видно изображение звезды при рассмотрении его в телескоп.



Рис. 82. Луна после первой четверти (южный полюс наверху); так выглядит Луна при рассмотрении ее в астрономические телескопы.

Атмосфера не только искажает изображения звезд; она крадет примерно 30% приходящего от них света и рассеивает его во всех направлениях. Над атмосферой ночное небо выглядит гораздо

чернее, чем мы его видим с Земли, и днем оно там такое же черное; благодаря этому звезды и планеты можно наблюдать не только ночью, но с таким же успехом и днем. На Земле в ясный день можно увидеть невооруженным глазом Венеру, когда она близка к максимуму своего блеска, если стоять в тени и точно знать, в каком направлении следует смотреть. Некоторые из самых ярких звезд удавалось увидеть днем, когда их наблюдали через высокую дымовую трубу, из ствола шахты или каким-либо аналогичным образом. Однако если читатель действительно захочет увидеть звезды днем, советуем ему воспользоваться небольшим телескопом или биноклем.

Лишь немногие имели возможность видеть черное небо среди бела дня. Первым был Стивенс, который в 1935 г. со стратостата Эксплорер II увидел, как выглядит небо с высоты 22 км над уровнем моря: «Сам горизонт казался полосой белой дымки. Непосредственно над горизонтом небо было светло-синее, а еще на 20—30° выше оно было того синего цвета, к которому мы привыкли. Но на самых больших высотах, которые были доступны нашему обзору, небо стало совсем темным. Я бы не сказал, что оно было совершенно черным; скорее, оно было черным с темно-синим оттенком... Посмотреть прямо на Солнце через один из иллюминаторов означало ослепнуть. Солнечные лучи были невероятно интенсивными».

Об аналогичных наблюдаемых явлениях сообщают и космонавты. На черном фоне неба планеты, звезды и Млечный Путь благодаря своему свечению выделяются в такой степени, которая недостижима ни в одном из самых лучших наблюдательных пунктов на Земле.

Яркость ночного неба, если смотреть с Земли, весьма незначительно влияет на визуальные наблюдения, так как наш глаз недостаточно чувствителен, чтобы его мог слепить такой слабый свет. Однако фотографическую пластинку при соответствующей экспозиции можно довести до почернения под действием света ночного неба. По этой причине наша атмосфера очень мешает фотографированию слабых туманных объектов, свечение которых бывает гораздо слабее диффузного света неба.

Плохое «качество изображения» является непреодолимым барьером как для визуальных, так и для фотографических наблюдений мелких деталей на поверхности Луны и планет. Поэтому если угловые размеры деталей меньше некоторой определенной предельной величины, то их нельзя зарегистрировать ни глазом, ни на фотографической пластинке. Эта предельная величина в лучшем случае составляет 0",1 и соответствует теоретической разрешающей способности телескопа с отверстием ~115 см. Теоретическая разрешающая способность обратно пропорциональна действующему отверстию телескопа, т. е. при диаметре отверстия 23 см она равна 0",5. В случае ярких объектов глаз оказывается эффективнее фотографической эмульсии, так как он может фиксировать отдельные детали в течение тех редких и коротких промежутков времени, когда

«качество изображения» бывает почти идеальным. В случае же фотографической пластинки необходимо значительное время для экспозиции, в течение которого «качество изображения» будет меняться. Разрешение деталей на фотографиях Луны редко превышает 1", т. е. около 1,5 км. Поэтому терпеливый наблюдатель при помощи сравнительно небольшого телескопа при хорошем «качестве изображения» за свое терпение будет вознагражден исключительно хорошей видимостью деталей поверхности Луны. Телевизионные трубки, обладающие гораздо большей чувствительностью, чем фотографическая эмульсия, могут в отдельных случаях конкурировать с глазом в выявлении отдельных деталей.

Чтобы уменьшить нежелательные атмосферные помехи, астрономы готовы были ехать на «край Земли», а в наши дни и еще дальше, в надежде найти место с исключительно хорошими «условиями видимости». Вершины гор, до которых не доходят ни пыль, ни испарения расположенных ниже областей, в основном обеспечивают очень высокую прозрачность неба, но качество изображения на случайно выбранной горе может оказаться хуже, чем на уровне моря. Обсерватории Маунт Вилсон и Ликская, на которых было сделано большинство фотографий Луны, приведенных в этой главе, расположены на вершинах гор в Калифорнии. Обсерватория Лоуэлла была заложена на высоте 2100 м на Флагстафском плато в Аризоне после длительных поисков Лоуэллом в Японии, в Альпах, в Алжире, Мексике, Калифорнии и Аризоне «самого лучшего воздуха, который только можно достать». Аналогичным образом, чтобы обеспечить наилучшие условия для наблюдений, южная станция Гарвардской обсерватории (со всеми ее телескопами, куполами и прочим оборудованием) была перенесена из Арекипы (Перу) в Блумфонтейн (Южная Африка). По той же причине французские астрономы освоили Пик дю Миди высотой около 2900 м как наилучшее место для наблюдений. В отдельных случаях астрономов выручали аэростаты, но идеальное решение проблемы «качества изображения» дают только телескопы, вынесенные в космическое пространство. Мы уже отмечали, что более крупные телескопы дают возможность наблюдателю увидеть более мелкие детали, чем маленький телескоп, только в том случае, если это позволяет «качество изображения». Однако если «качество изображения» плохое, изображение планеты или Луны, построенное большим телескопом, может оказаться даже хуже, чем в случае небольшого телескопа, так как чем больше отверстие телескопа, тем оно охватывает большее разнообразие атмосферных условий. Поэтому при прямых визуальных наблюдениях обычно наиболее эффективны телескопы умеренных размеров (15—50 см). Большие же рефлекторы используются почти исключительно для фотографических наблюдений, при которых самым важным является их огромная светособирающая способность. Увеличение всякого телескопа есть отношение фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра и

может быть выбрано по желанию путем смены окуляра. Большое увеличение используется, когда «качество изображения» хорошее, в противном случае используется малое увеличение.

Но в какой бы телескоп ни рассматривали Луну — большой или малый, она представляет великолепное зрелище, Галилей был первым в истории человеком, воспользовавшимся этой возможностью и оставившим записи своих наблюдений потомкам. Даже со своим небольшим телескопом ему удалось обнаружить горы,

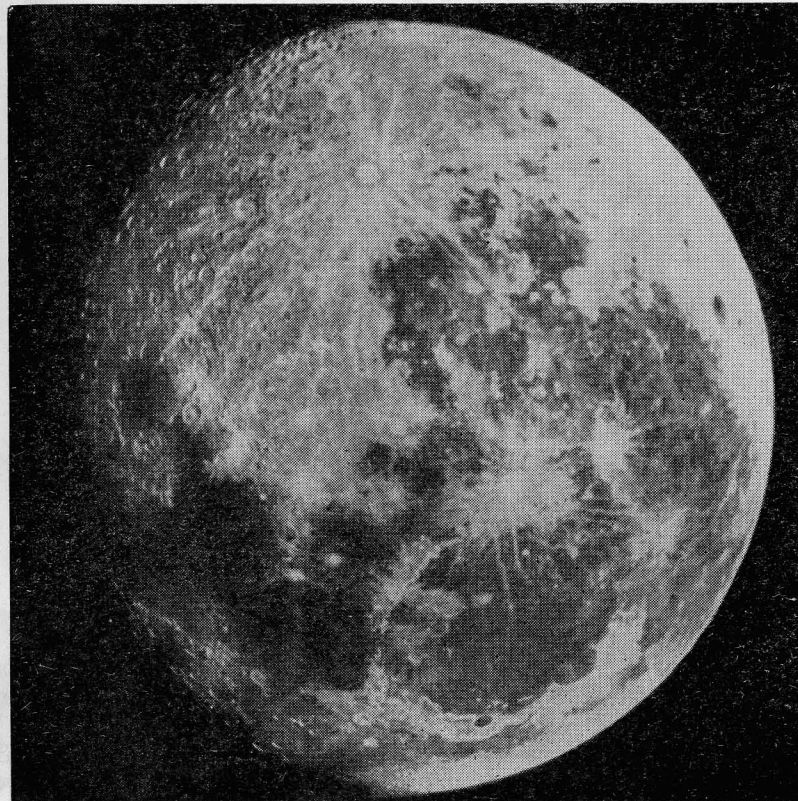


Рис. 83. Луна вблизи полнолуния. Соответствующая карта деталей Луны приведена на рис. 84.

кратеры и большие темные области, которые создают в совокупности черты «человека на Луне». Темные области показались Галилею большими водными бассейнами, поэтому он назвал их по-латыни *maria*, т. е. морями (в единственном числе *mare*; ударение всегда делается на первом слоге).

На рис. 83, где сфотографирована Луна сразу после полнолуния, моря видны очень хорошо. Некоторые из них, а также и другие заметные детали лунной поверхности, отождествлены на рис. 84. Латинские наименования морей несколько эксцентричны — их нельзя объяснить какими-то рациональными соображениями, хотя названия Море Спокойствия, Море Дождей и Море Холода кажутся

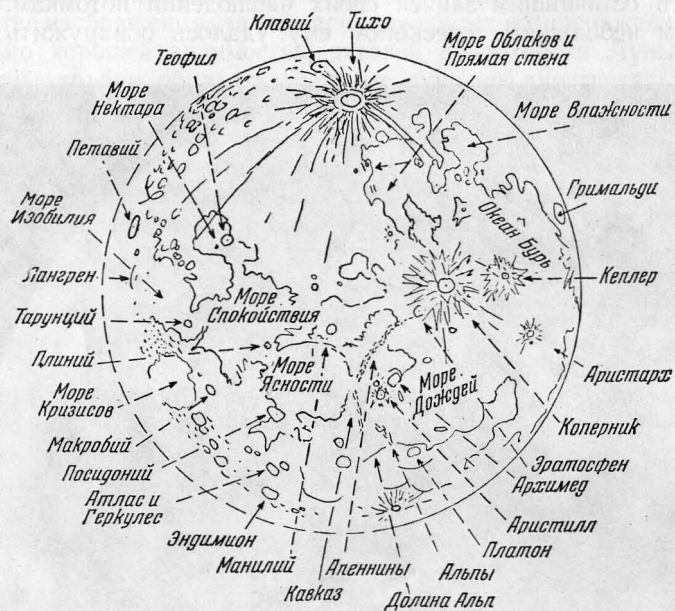


Рис. 84. Карта Луны с обозначениями некоторых деталей поверхности. Сравните с фотографией на рис. 83. (Рисунок сделан Д. А. Мак-Раэ.)

довольно подходящими. Эти *maria*, разумеется, не моря в обычном смысле, а гигантские равнины, почти плоские, если не считать кривизны поверхности, и лишенные воздуха и влаги.

Море Дождей и Море Ясности (в середине нижней части рис. 83) очень велики и имеют почти круглую форму. Наибольший поперечник Моря Дождей свыше 1120 км, а Моря Ясности — около 700 км. На рис. 85 показана крупным планом часть Моря Дождей. Величественная горная область, окаймляющая верхнюю левую часть этого Моря, носит название Апеннины. Эти горы поднимаются примерно на 5500 м над уровнем равнины; такая высота вполне оправдывает плагиат их наименования. Перспектива, создаваемая тенью этих гор на рис. 85, позволяет установить, что Апеннины представляют собой большие пики, резко поднимающиеся со дна «моря», но с пологим склоном к внешней его стороне. Многочисленны глубокие долины и крутые обрывы. Горные районы по внешнему

виду представляют собой своего рода модели земных горных областей, долины которых промыты водой, но на Луне воды нет.

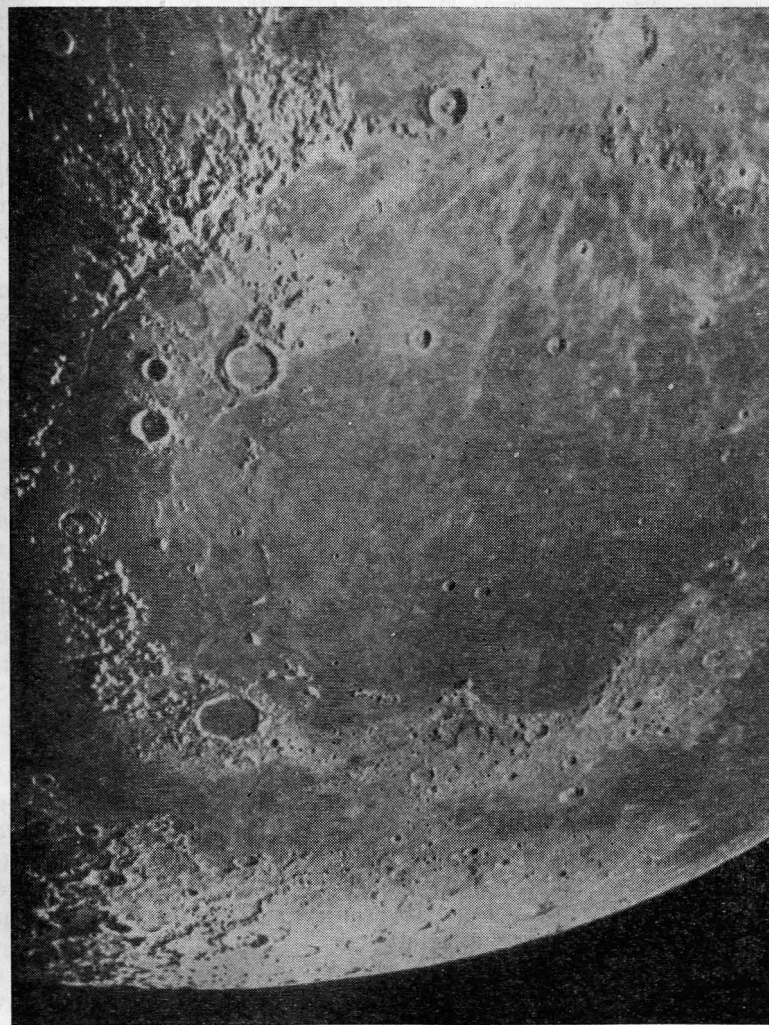


Рис. 85. Море Дождей; Луна в третьей четверти.

Параллельно внутреннему краю Апеннин можно видеть длинную, несколько искривленную бороздку. На Луне обнаружено несколько сотен бороздок. Они представляют собой траншееобразные углубления глубиной в несколько сотен метров, простирающиеся на десятки километров по поверхности Луны. Так как у бороздок

нет притоков, которые должны были бы быть, если бы они образовались под действием эрозии, и так как их стенки не поднимаются выше окружающего «ландшафта», разумнее всего, по-видимому, интерпретировать их как трещины. Возможно, во время охлаждения лунной поверхности местами она потрескалась. Длинные или глубокие трещины могли быть также заполнены или залиты находившимся под поверхностью расплавленным веществом и в этом случае выглядеть образованиями другого типа. Так, длинный низкий хребет в середине верхней части рис. 85 выглядит как продолжение

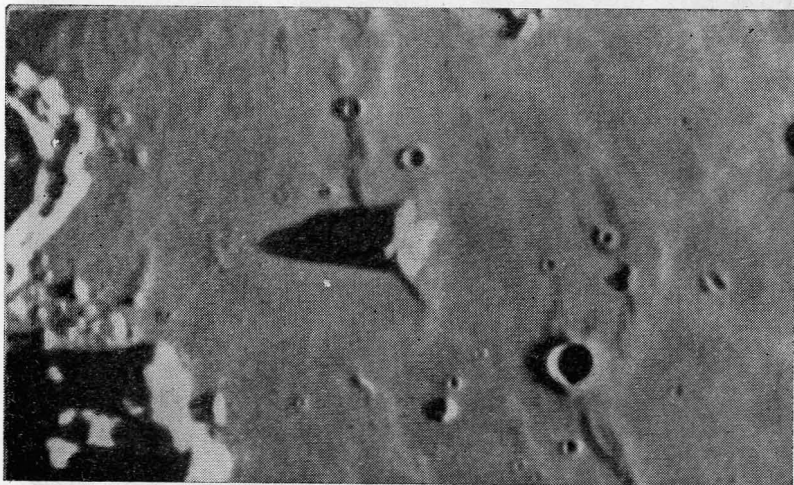


Рис. 86. Питон — изолированный лунный пик в Море Дождей; Луна в третьей четверти.

уже отмеченной системы бороздок. Вполне возможно, что большая трещина, которая когда-то возникла у основания Апеннин, выглядит теперь как бороздка в одной своей части и как хребет в другой части, тогда как промежутки между ними, может быть, полностью скрыт потоком расплавленного вещества.

Более разбросанные горы слева в нижней части рис. 85 — Альпы. Самая заметная их деталь — Альпийская долина — гигантский разрез, проходящий через центральную часть цепи. В самой широкой своей части долина имеет ширину 9,6 км и длину 120 км; дно ее ровное.

Резкость края Моря Дождей на рис. 85 по сравнению с общей нечеткостью рис. 83 обусловлена не повышенным фотографическим контрастом и не эффектом увеличения. На рис. 83 Луна почти полная и солнечные лучи падают на нее почти отвесно, поэтому тени короткие. На рис. 85 солнечные лучи падают справа, обуславливая длинные тени поперек луча зрения. Вследствие кривизны

Луны левый край рис. 85, за исключением высоких горных пиков, оказывается неосвещенным. Вдоль *терминатора* — линии, отделяющей темную половину диска от светлой лунной поверхности, детали видны особенно хорошо. Длинные тени выдают неровности, которые могут остаться незамеченными, когда Солнце стоит «над головой». Вот почему лучше всего Луну наблюдать вблизи первой и третьей четвертей. Солнечные лучи вдоль терминатора почти перпендикулярны к нашему лучу зрения. В полнолуние мы можем различить лишь светлые и темные области — неровности как бы исчезают.

Тени очень полезны в том отношении, что они позволяют точно измерить высоты деталей поверхности Луны. На рис. 86 изолированный горный пик Питон в нижней левой части Моря Дождей дан даже с еще большим увеличением с тем, чтобы сильнее выделить его тень. Длину такой тени можно измерить, а

угол, под которым падают солнечные лучи, можно вычислить, зная фазу Луны и положение горы. На рис. 87 показано геометрическое решение задачи определения высоты горы. Высота определяется прямыми вычислениями, но ход их несколько запутан тем, что при расчёте надо рассмотреть несколько углов.

На Луне почти повсеместно имеются кратеры, которые особенно заметны близ терминатора. Разнообразный характер кратеров ясно виден в области Моря Дождей, где они стоят изолированно на открытой равнине. Некоторые кратеры кажутся гладкими и плоскими внутри, тогда как другие обладают одним или несколькими центральными пиками, часто усеяны маленькими кратерами. Стены кратеров едва возвышаются здесь и там над равниной, у некоторых кратеров имеется лишь часть стены. Тщательная проверка показывает, что поверхность Луны покрыта почти неисчислимым количеством маленьких кратеров, как если бы Луна была обстреляна картечью. Самые маленькие кратеры, еще отождествимые на фотографиях, обычно имеют диаметры порядка 1,5—3 км.

В соответствии с их формой, кратеры можно подразделить на несколько типов. Так как тонкие различия можно продолжать находить до бесконечности и так как определения не всегда сформулированы четко или сделаны по однородным признакам, вероятно, лучше не уделять особого внимания названиям типов. Многие кратеры обладают внутренними равнинами, столь же плоскими, как «моря», а стены их представляют собой горы, резко поднимающиеся вверх и ограничивающие края кратера. Такие кратеры называют

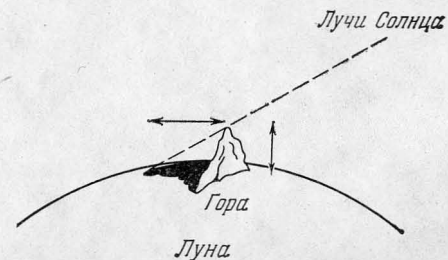


Рис. 87. Лунная гора. Длины теней, отражаемых лунными образованиями, позволяют астрономам измерять их высоты. Сравните с рис. 86.

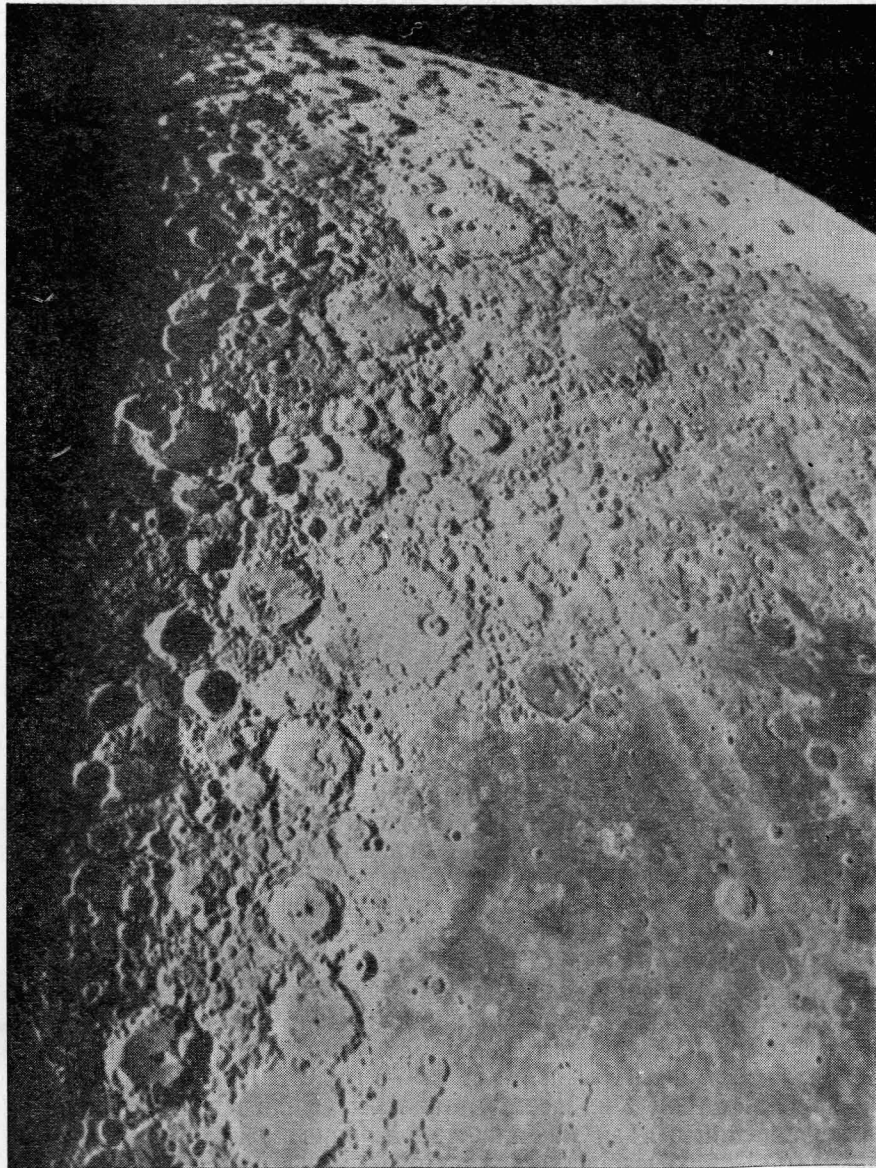


Рис. 88. Неровности лунной поверхности. Южная область Луны в третьей четверти.

кратерными морями. Уровень равнин внутри кратеров может быть выше или ниже общего уровня поверхности вне кратера. Точно так же и моря могут быть выше или ниже среднего уровня лунной поверхности. Самый большой, четко вырисовывающийся кратер на обращенной к нам стороне Луны, Клавийус, относится к «кратерным морям»; его максимальный поперечник, измеренный как расстояние между противоположащими горными вершинами, составляет около 230 км. Клавийус хорошо виден в середине верхней части рис. 88. Кривизна лунной поверхности достаточно велика для того, чтобы скрыть горные стены высотой 6000 м от наблюдателя, стоящего в центре равнины этого кратера.

Кратер Тихо, который можно видеть выше центра на рис. 88, представляет несколько иной тип кратерных образований, часто называемых кольцевыми горами. Лишь небольшая часть основания такого кратера — плоская; кратер скорее имеет блюдцеобразную форму. Внутренний склон горного вала сам по себе является кольцеобразным и состоит как бы из нескольких слоев или уступов. Эти кратеры в виде кольцевых гор имеют также почти идеально круглую форму, которая редко бывает искажена наличием меньших кратеров или другими деформациями. Это доказывает, что кольцевые горы образовались в более поздний период истории Луны, чем кратерные моря, которые несут на себе следы последующих событий. Другими прекрасными образцами кольцевых гор являются Эратосфен и Коперник (рис. 85, справа сверху, и рис. 89).

Более неровные участки Луны (рис. 88) целиком загромождены кратерами в кратерах и кратерами на кратерах. Все они выглядят так, как если бы они образовались совершенно беспорядочным образом — новые кратеры появлялись независимо от того, что здесь было раньше. Части старого вала могли остаться стоять после того, как старый кратер был частично разрушен при возникновении нового, а последний в свою очередь мог покрыться выбоинами еще более мелких и еще более молодых кратеров.

Через эти весьма неровные области Луны и через обширные равнины тянутся гигантские системы *лучей* — светлых полос, которые отчетливо видны в полнолуние (рис. 90), но почти исчезают во время частных фаз. Лучи самой заметной системы с центром в кратере Тихо можно проследить почти вокруг всей Луны. На рис. 88 лучи едва различимы, и Тихо сразу же становится кратером, каких много, а вовсе не самым заметным. Эти лучи не отбрасывают теней, и их можно обнаружить только благодаря более светлой окраске. Они не прерываются ни горами, ни какими-либо другими деталями лунной топографии. Их подлинная природа пока еще не нашла сколько-нибудь удовлетворительного объяснения, но существует довольно согласованное мнение, что лучи представляют собой следы каких-то брызг из больших относительно молодых кратеров.

Обратите внимание на сложность структуры лучей около кратеров Коперник и Кеплер на рис. 90. Светлая окраска лучей прису-

ща и кратерам, с которыми они связаны, а также отличает ободки многих кратеров. На первый взгляд область вокруг Коперника на рис. 90 в полнолуние едва ли можно отождествить с областью вокруг

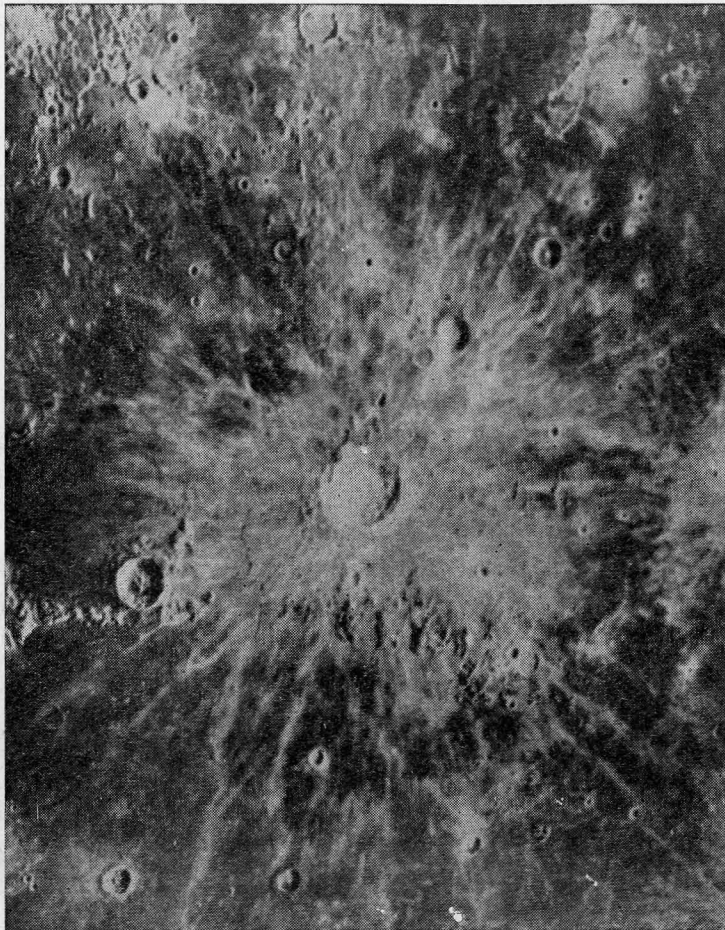


Рис. 89. Коперник. Луна в последней четверти. Сравните с рис. 90.

Коперника на рис. 89 во время более поздней фазы. Однако яркие ободки кратеров на рис. 89 можно быстро отыскать и на рис. 90, а вот некоторые кратеры больших размеров, но с тусклыми краями ступевались и стали невидимыми. Тщательное сравнение этих двух фотографий весьма поучительно. Второй по величине кратер на рис. 89, Эратосфен, едва можно найти на рис. 90, хотя по своему типу он очень похож на Коперник.

Слева от Коперника на рис. 89 находится несколько кратеров-колодцев, образующих своего рода узор. Такие кратеры-колодцы не представляют чего-то необычного на поверхности Луны. Они особенно заметны, если смотреть в телескоп с большим увеличением при

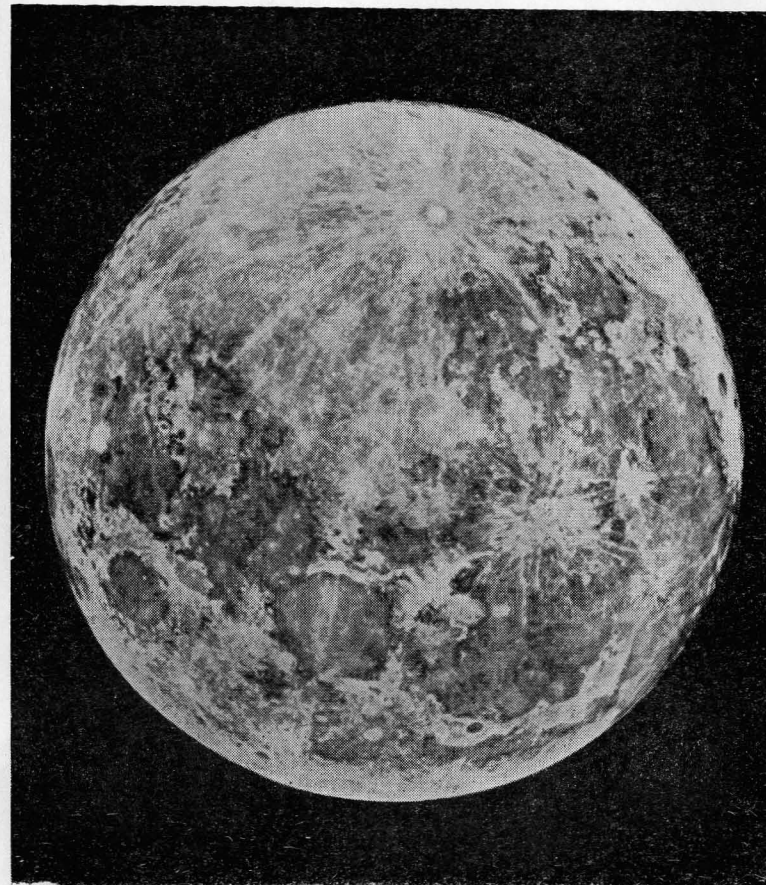


Рис. 90. Лучи (Луна в полнолунии). Обратите внимание на великолепные лучи, исходящие из кратера Тихо (в середине вверху) и Коперник и Кеплер (примерно посредине диска справа). Обратите также внимание на то, что многие кратеры имеют яркие ободки.

хорошем качестве изображения. На сильно увеличенном участке области вблизи Коперника на рис. 91 видны образования, которые выглядят как *кулообразные* и *воронкообразные* вулканы. У некоторых из этих куполов имеются в центре кратеры и они очень похожи на земные вулканы типа Везувия.

На плоских равнинах рис. 92 и в Море Дождей можно видеть длинные извилистые гребни (рис. 85). Эти низкие гребни — явные следы потоков, несомненно, образовывавшихся при искривлении этой области, может быть, в то время, когда дно морей находилось

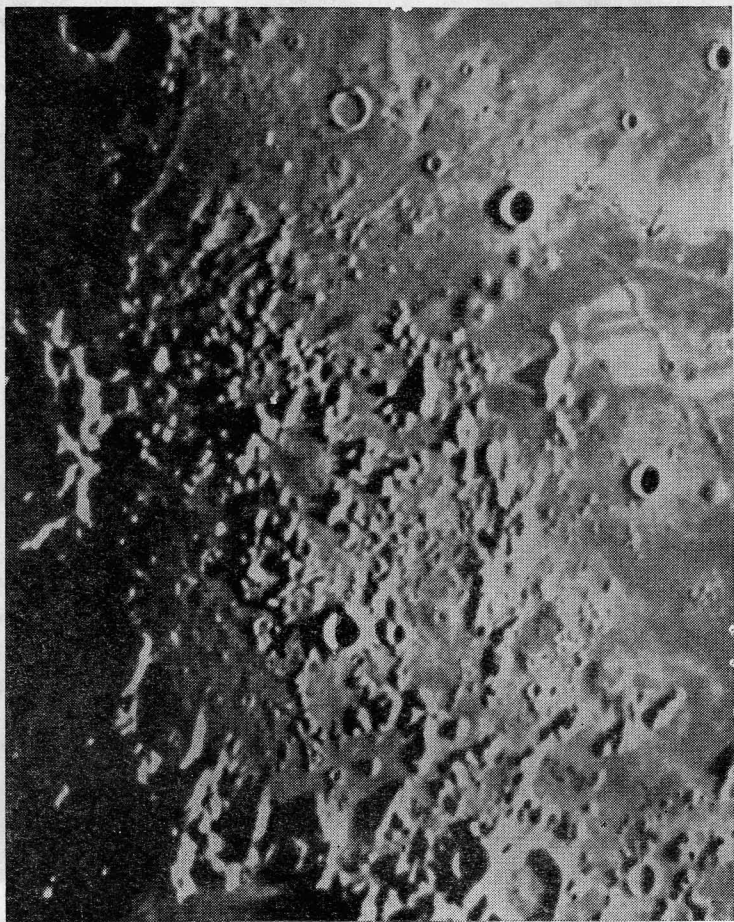


Рис. 91. Область к востоку от Коперника.

в вязком состоянии. На плоской поверхности смолы при ее горизонтальном сдвиге образуются детали аналогичного типа, особенно если смола немного подогрета, что делает неровности гребня более плоскими.

Другое интересное лунное образование видно на рис. 92. Это Прямая Стена (или Железная дорога) длиной около 110 км; она вид-

на также на рис. 88 и 95. На этих снимках солнечные лучи падают справа, и Прямая Стена выглядит как *белая* линия (справа почти параллельно ей проходит более короткая извилистая бороздка). Фотография на рис. 92 сделана почти сразу после первой четверти,

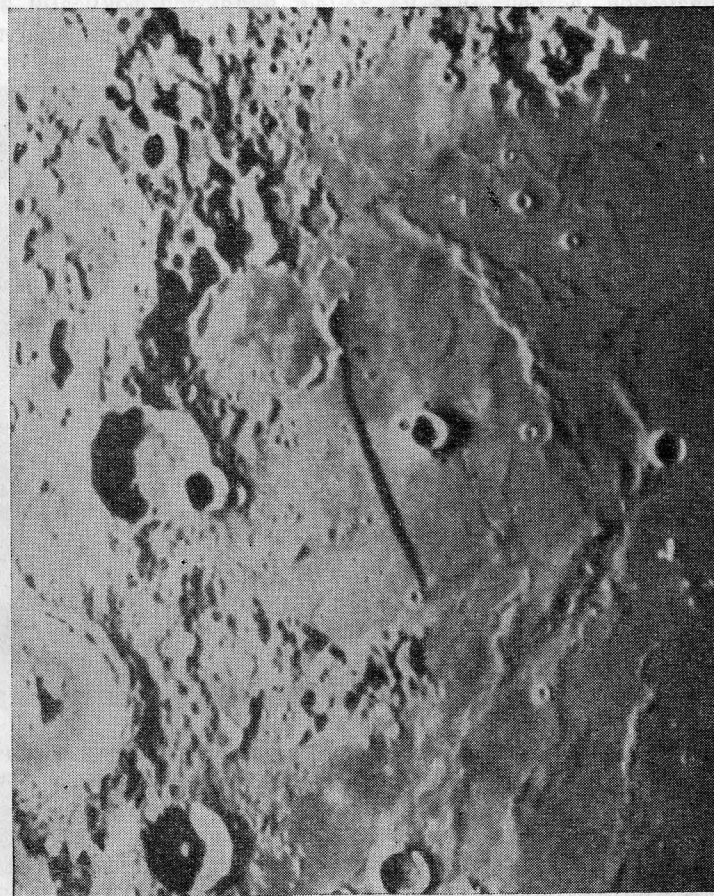


Рис. 92. Прямая Стена при освещении ее с запада (слева) отбрасывает тень. Сравните с рис. 88 и 95.

т. е. солнечный свет падает на Луну слева. Теперь Прямая Стена выглядит как *темная* линия, что и доказывает, что эта деталь представляет собой длинную прямую крутую скалу или стену, обращенную плоской стороной вправо. Измерения показывают, что большая часть Стены возвышается примерно на 600 м над равниной. Однако Прямая Стена не так уж крута, как может показаться. Ашбрук

считает, что ее склон образует с равниной угол не более 40° ; ясно, что это скальный сброс, при котором один край оказался поднятым над другим. Вероятно, эта Стена и другие стены, обнаруживаемые на Луне, связаны с грандиозными лунотрясениями в туманном и отдаленном прошлом. Аналогичные следы сбросов частые, но меньших размеров, встречаемые на Земле, являются фокусами землетрясений. По Луне проходят большие системы параллельных

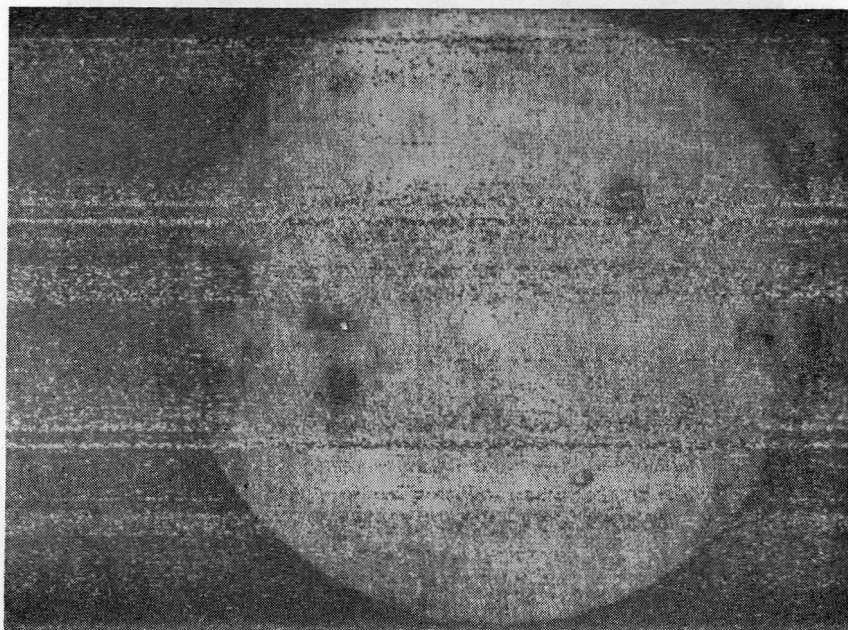


Рис. 93. Обратная сторона Луны. Одно из нескольких телевизионных изображений, переданных с советской ракеты, запущенной вокруг Луны. Северная сторона наверху.

трещин и сбросов, которые указывают на то, что поверхность подвергалась натяжениям и сдвигам под действием внутренних сил.

Обратная сторона Луны утратила свою таинственность 4 октября 1959 г., когда Советским Союзом был совершен замечательный подвиг — получено изображение Луны с «космической ракеты», прошедшей позади Луны. Имея в своем распоряжении около 30 кадров телевизионных изображений, подобных воспроизведенному на рис. 93, Н. П. Барабашов, А. А. Михайлов и Ю. Н. Липский создали Атлас обратной стороны Луны, часть которого показана на рис. 94. Значительное перекрытие с ранее известными деталями в окрестностях Моря Кризисов и Моря Изобилия дало возможность проверить надежность метода обработки материала. Лишь неболь-

шой участок Луны, находящийся в стороне, противоположной перекрывающейся части, остался не охваченным этими наблюдениями.

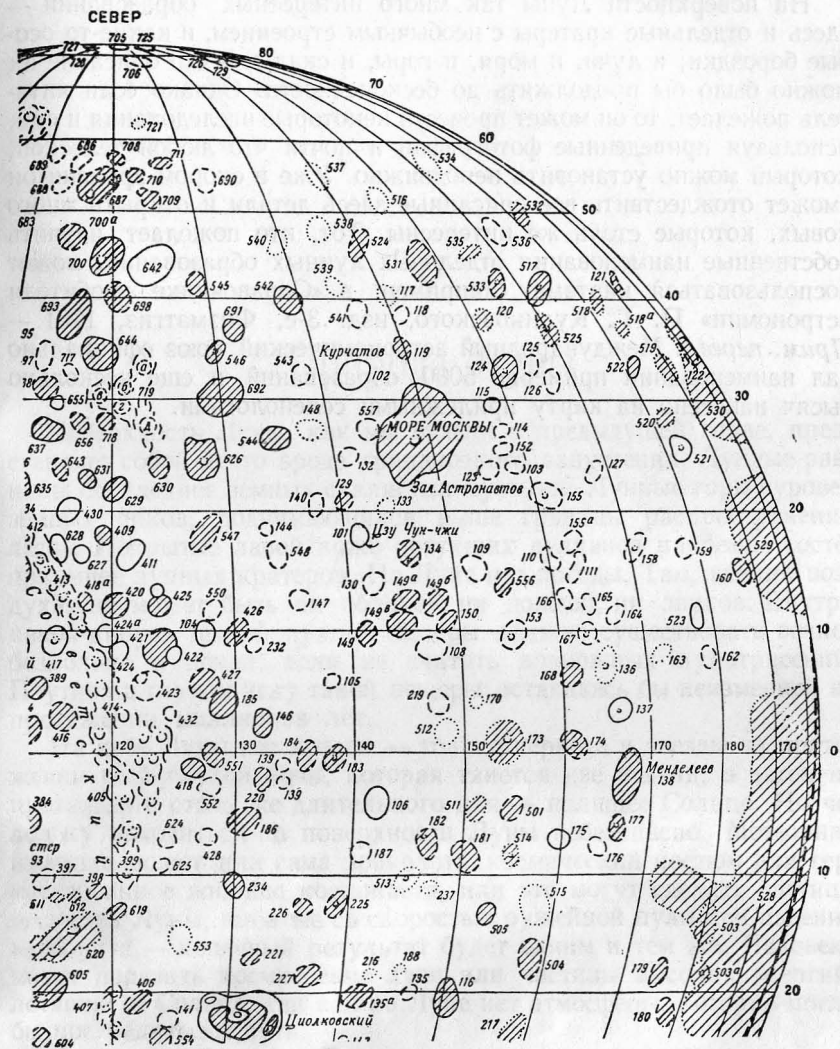


Рис. 94. Карта обратной стороны Луны. (Составлена советскими учеными.) Обратите внимание на Море Москвы на прямом изображении рис. 93. Север наверху.

В результате достижения советских ученых сделано весьма неожиданное открытие, а именно, что обратная сторона Луны

сравнительно бедна морями. Этот факт может иметь решающее значение для окончательного выяснения вопроса о возникновении морей.

На поверхности Луны так много интересных образований — здесь и отдельные кратеры с необычным строением, и какие-то особые бороздки, и лучи, и моря, и горы, и скалы, — что описание их можно было бы продолжить до бесконечности. Однако если читатель пожелает, то он может провести некоторые исследования и сам, используя приведенные фотографии и почти что любой телескоп, который можно установить неподвижно. Уже в скором времени он сможет отождествить все описанные здесь детали и открыть много новых, которые столь же интересны. Тот, кто пожелает изучить собственные наименования отдельных лунных образований, может воспользоваться картами (например, в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского, изд. 3-е, Физматгиз, 1961. — *Прим. перев.*). Международный астрономический союз официально дал наименования примерно 5000 образований и еще несколько тысяч нанесено на карту прилежными селенологами.

9

Природа Луны

Поверхность Луны, как мы видели в предыдущей главе, представляет собой нечто вроде грандиозного запустения. Лунные равнины бесплоднее земных скалистых пустынь. Лунные горы суровее земных пиков, поднимающихся выше границы распространения лесов. Покрытые лавой ложа потухших вулканов на Земле гостеприимнее лунных кратеров. На Луне нет погоды. Там, где нет воздуха, не может быть ни облаков, ни дождей, ни звуков. Внутри какой-нибудь темной лунной пещеры должно существовать вечное безмолвие и покой, если не считать возможных лунотрясений. Паутина в глухом углу такой пещеры оставалась бы неизменной на протяжении миллионов лет.

На небе Луны нет красок — только чернота и звезды на протяжении всей глухой ночи, которая тянется две недели, а затем на протяжении столь же длительного дня — палящее Солнце. Но человеку находиться на поверхности Луны небезопасно. Метеорная пылинка может или сама проколоть космический костюм или герметизованное жилище космонавта, или это могут сделать частицы вещества Луны, выбитые со скоростью ружейной пули при падении метеорита, — конечный результат будет одним и тем же. Человека могут поразить космические лучи или частицы высоких энергий, летящие от Солнца, так как на Луне нет атмосферы, которая могла бы преградить им путь.

Благодаря близости Луны к нам ее поверхность была изучена в мельчайших подробностях. Увеличенное изображение Луны при рассмотрении ее в самые большие телескопы эквивалентно тому, которое мы увидели бы невооруженным глазом, находясь от нее на расстоянии порядка 300 км; это достаточно близко для того, чтобы наблюдатель мог различить объекты, отстоящие друг от друга примерно на 300 м. Если на протяжении тех столетий, в течение которых

ведутся интенсивные телескопические наблюдения Луны, и произошли какие-то изменения лунного ландшафта, то эти изменения были слишком незначительны или слишком неопределенны, чтобы наблюдатели могли согласованно подтвердить их реальность. Однако

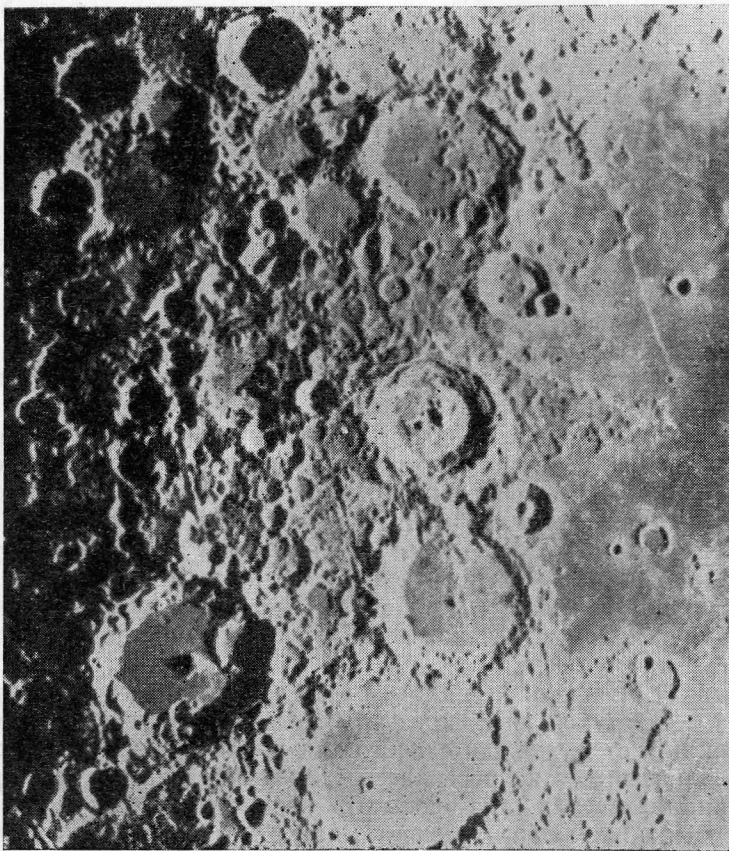


Рис. 95. Кратер Альфонс находится в центре одного из трех больших кратеров, почти касающихся друг друга (в центральной части нижней половины рисунка).

некоторым наблюдателям казалось, что они видели в течение некоторого времени нечто вроде тумана или облачков на дне нескольких кратеров.

3 ноября 1958 г. Н. А. Козырев (СССР) на Крымской обсерватории установил щель своего спектрографа (описание спектрографа см. на стр. 150) на центральный пик кратера Альфонс (рис. 95). Сначала он увидел, что пик «стал казаться сильно размытым

и приобрел необычный красноватый оттенок». Спустя два часа он «был вновь поражен, но на этот раз необычайной яркостью и белизной». Полученные Козыревым спектрограммы, подтверждающие его визуальные наблюдения, показывают, что в первом случае свет центрального пика по сравнению с соседними деталями кратера был заметно ослаблен в фиолетовой области спектра; во втором случае в спектре центрального пика были видны яркие полосы. Очевидно, что выделение газа из кратера в эту ночь продолжалось не менее получаса, но не более $2\frac{1}{2}$ часов. Эти и другие наблюдения убедительно

показывают, что изредка из трещин в лунной поверхности или кратеров выделяются заметные количества газа. Возможно также, что в некоторых кратерах возникают иногда эффекты утренней «мглы».

За исключением таких наблюдений, не существует каких-либо доказательств того, что на Луне имеются и другие, а не только эти слабейшие признаки атмосферы. На Луне нет также никаких признаков эрозии под действием ветра или дождя. С течением времени в результате все возрастающей точности наблюдений Луны верхний предел возможной атмосферы на Луне непрерывно понижается. Отсутствие рефракции звезд близ поверхности Луны, а также отсутствие какой-бы то ни было видимой зари, которые должны были бы наблюдаться в остаточной атмосфере, показывают, что атмосфера Луны должна быть крайне разреженной. Наиболее чувствительным методом обнаружения атмосферы является измерение поглощения радиоизлучения Крабовидной туманности при покрытии этой «радиозвезды» Луной. На основе этих измерений Элсмор установил для плотности лунной атмосферы предельное значение меньше $2 \cdot 10^{-13}$ (т. е. меньше одной миллион-миллионной) плотности земной атмосферы вблизи уровня моря.

Таким образом, мы вынуждены предположить, что Луна вследствие того, что масса ее мала, утратила значительную часть своей атмосферы. Сила притяжения на поверхности Луны недостаточно велика для того, чтобы помешать молекулам атмосферы после столкновения с другими молекулами оказаться выброшенными в пустое пространство. Любое тело, будь оно большим или малым, удаляющееся от поверхности Луны со скоростью больше $2,4$ км/сек, будет продолжать удаляться до бесконечности и навсегда уйдет из сферы притяжения Луны. Эта критическая скорость убегания лишь немного больше *средней* скорости молекул водорода при обычных температурах. Так как некоторые молекулы всегда движутся со скоростью больше средней, то водородная атмосфера улетучилась бы с Луны почти мгновенно. Рассеяние кислорода или азота происходило бы гораздо медленнее, так как их молекулы тяжелее молекул водорода. Однако какую бы атмосферу ни приобрела когда-то Луна, она все равно должна была бы ее утратить в короткие в астрономических масштабах времени сроки. Весьма возможно, что Луна теперь при-

обретает некоторое подобие атмосферы, извлекая ее из межпланетного пространства, главным образом за счет облаков газа, выбрасываемых Солнцем, и газа, потерянного солнечной короной. Эта чрезвычайно разреженная атмосфера должна испытывать непрерывные потери, поскольку приходящие извне и обладающие высокой энергией атомы, вероятно, должны выбивать в пространство

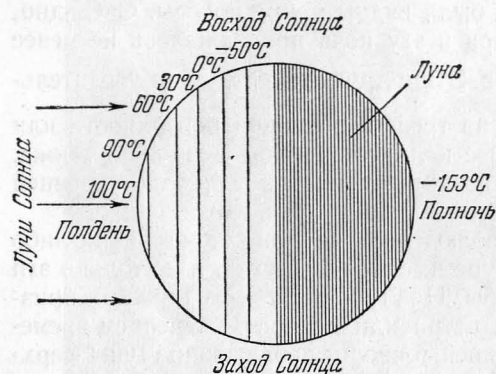


Рис. 96. Температуры на Луне (по измерениям Петтита и Никольсона).

даже в верхние слои поверхности. Ни один из этих факторов не может вызвать заметных изменений на Луне на протяжении жизни одного поколения, однако через сотни миллионов лет лунная поверхность может заметно измениться. Вероятно, лик Луны будет сильно изменен руками человека.

Некоторые наблюдатели сообщали, что на поверхности Луны наблюдалось несколько вспышек, вероятно, возникавших при падении на нее метеоритов и советского Лунника 2. Однако, так как другими наблюдателями подобные сообщения не были подтверждены, достоверность их вызывает некоторые сомнения. Конечно, с тех пор как Луну наблюдают в телескоп, на ней не появилось никаких новых кратеров. Правда, едва ли можно было надеяться обнаружить новый кратер, так как мы все равно были бы не уверены в своем открытии, разве только размеры нового кратера оказались бы порядка размеров Аризонского метеоритного кратера. Так или иначе, падение метеоритов на Луну представляет своего рода непрерывный процесс.

Колебания температуры при переходе от лунного полудня к полуночи весьма велики — более 200°C (рис. 96), но происходят они постепенно. Расслоение или отслаивание поверхностных земных пород обусловлено, главным образом, их расширением при замерзании абсорбированной ими влаги. Так как на Луне нет воды, расслаивание там могло бы происходить как следствие попеременного расширения при нагревании и сжатия при охлаждении поверхност-

ных пород. Однако благодаря очень медленному изменению температуры на Луне горные породы имеют достаточно времени для того,

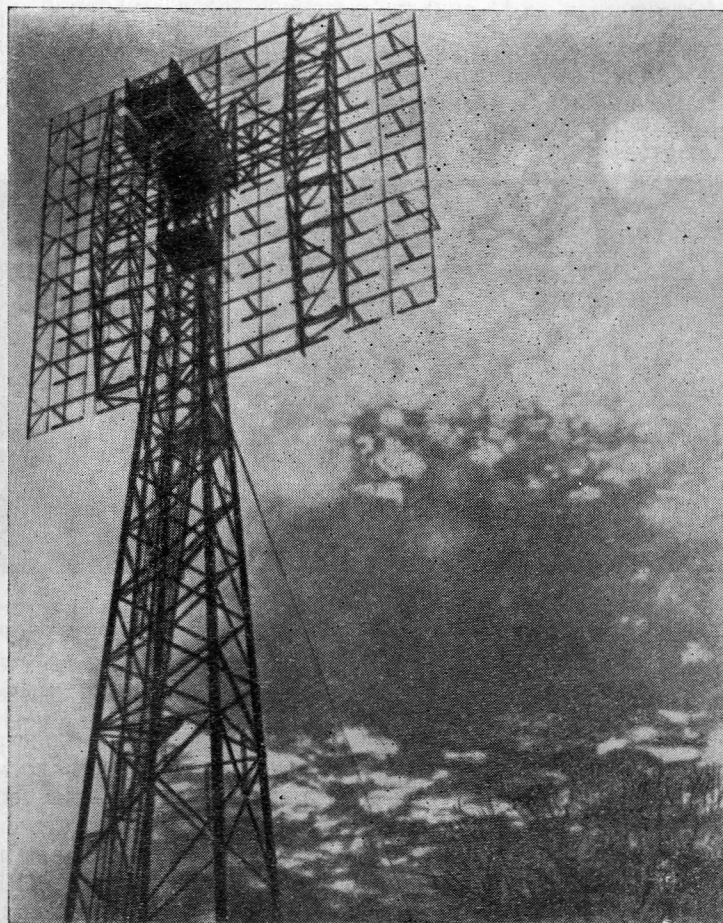


Рис. 97. Первая радиолокация Луны. Эта антенна в январе 1946 г. впервые приняла отраженный от Луны импульс на волне около 1,5 м.

чтобы отрегулировать свою температуру в соответствии с температурой недр, поэтому расслаивание при слабом расширении и сжатии идет очень медленно.

Кроме огромных колебаний температуры от дня к ночи, происходящих очень медленно, во время лунных затмений наблюдаются и резкие ее изменения. Петтит и Никольсон на обсерватории Маунт Вилсон первыми провели измерения температуры Луны по ее

инфракрасному (или тепловому) излучению в ходе всего лунного затмения. Примерно за час температура упала с $+71^{\circ}$ до -79° С. При такой резкой смене температур расслаивание лунных горных пород может происходить быстрее. Если этот вывод справедлив, то он влечет за собой весьма неожиданные, хотя и естественные следствия. *Скрытая от нас сторона Луны может иметь несколько более неровную структуру поверхности, чем наблюдаемая сторона, так как лунные затмения могут происходить лишь на обращенной к Земле стороне!*

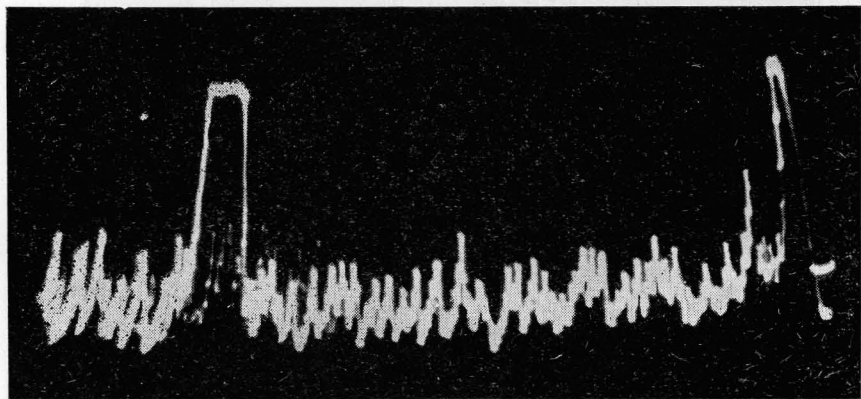


Рис. 98. Первый радиопулс, отраженный от Луны. Антенна радиолокатора показана на рис. 97.

Добавочное расслаивание, приводящее к ослаблению кристаллической структуры Луны, может быть вызвано действием космических лучей и жесткой космической радиации. За время своей весьма продолжительной ночи Луна выстывает до такой степени, что температура ее падает ниже пределов, доступных измерениям при помощи самых чувствительных приборов. Мюррей и Уайлди (США, Калифорнийский технологический институт) следили за изменениями температуры до той предельной величины, которую позволял измерять их прибор — до -168° С; такова была температура через 6—7 суток после захода Солнца в середине экватора и через 10 суток — в «горячих пятнах» кратеров Тихо и Коперник.

Радиотелескопы значительно пополнили наши познания о расстоянии до Луны (рис. 97 и 98) и ее температуре. По времени распространения до Луны и обратно посланного с Земли радиосигнала можно определить расстояние до Луны, а также оценить шероховатость ее поверхности. С другой стороны, при помощи специальных радиоприемников можно измерять излучение, испускаемое лунной поверхностью, и таким путем определить ее температуру. Обычно все

вещества испускают тем больше энергии во всех длинах волн, чем больше они нагреты.

Радиоизлучение веществ, находящихся на некоторой глубине, может проходить через пористые верхние слои, принося тем самым сведения о температуре подповерхностного слоя. На волне 30 см и более длинных волнах температура практически не меняется ни в течение месяца, ни даже во время лунных затмений, тогда как в диапазоне более коротких волн изменение температуры тем больше, чем ближе к инфракрасной области спектра ведутся измерения. Под поверхностью Луны на глубине в несколько сантиметров или, может быть, несколько десятков сантиметров на экваторе температура, по видимому, остается постоянной, составляя -40° С или немного ниже.

Совместные данные измерений в инфракрасной области и в радиодиапазоне показывают, что верхний слой лунной поверхности сложен из очень пористого материала, являющегося прекрасным изолятором и, вероятно, этот слой очень тонок — может быть, его толщина порядка 1 см и даже меньше. Этот изолирующий слой удерживает мало тепла и поэтому может быстро реагировать на изменения солнечного излучения во время захода и восхода Солнца, а также и во время лунных затмений. Тоньше всего этот слой, по видимому, в центральных частях самых молодых кратеров, таких как Тихо, где температура во время лунных затмений падает гораздо медленнее, чем для поверхности в среднем. Теплота, исходящая от поверхностных более твердых пород, очевидно, может просачиваться через такие участки к поверхности, компенсируя частично уменьшение тепла от Солнца.

Значительное увеличение яркости Луны вблизи полнолуния показывает, что поверхность ее весьма шероховата; размеры неровностей порядка 1 мм и меньше. Но даже в полнолунии Луна — очень плохой отражатель; ее альbedo составляет всего 0,07, т. е. такое же, как для черных горных пород. Или Луна должна быть покрыта крохотными чашеобразными кратерами, что представляется маловероятным, или ее поверхность действительно должна иметь пористую, возможно, волокнистую структуру. Эффект шероховатости иллюстрируется тем фактом, что полный поток излучения от Луны резко возрастает вблизи самого полнолуния. Однако согласно радиолокационным наблюдениям поверхность Луны довольно гладкая, причем примерно половина площади поверхности отличается по форме от сферической больше чем на $6-10^{\circ}$. По имеющимся ограниченными данным моря выглядят более гладкими, чем кратеры и горы. При этом по наблюдениям радиоизлучения на длинных волнах в центре лунного диска во время полнолуния имеется очень яркая область, поперечник которой не превышает четвертой части лунного диаметра. Радиолокационные измерения, проведенные в Линкольновской лаборатории Массачусетского технологического института, показали, что на волне 8 мм поверхность Луны выглядит гораздо более шероховатой, чем на более длинных волнах, а центральная область

повышенного отражения имеет гораздо большие размеры. Однако в визуальной и инфракрасной областях спектра полная Луна выглядит почти равномерно освещенной.

Таким образом, на волнах порядка сантиметра и меньше Луна выглядит весьма шероховатой и начинает казаться более гладкой на волнах порядка 2—3 см. При усреднении порядка 10 см и более поверхность Луны имеет довольно мягкие очертания с отлогими склонами, составляющими всего несколько градусов с поверхностью. Прямые измерения уклонов на поверхности Луны также подтверждают, что, действительно, крутые склоны встречаются очень редко; мы уже отмечали ранее, что даже для Прямой Стены типичный угол наклона составляет всего 40° , внутренние стенки кратера Тихо наклонены в среднем всего на 17° . Длинные тени, которые можно видеть близ терминатора, вводят нас в заблуждение, преувеличивая неровность лунного рельефа. Так, например, гора Питон (рис. 86), возвышающаяся примерно на 2000 м над дном «моря» и имеющая основание протяженностью свыше 20 км, обладает плоской вершиной.

Так как пыль в условиях вакуума является прекрасным теплоизоляционным материалом, то резкие изменения температуры лунной поверхности во время затмений долгое время служили основанием для утверждения, что верхний слой лунной поверхности, возможно, состоит из пыли. Развивая эту идею далее, Голд выдвинул предположение, согласно которому пылинки на Луне являются электрически заряженными в результате взаимодействия с ионизованными частицами космических лучей, а также под действием ультрафиолетового солнечного излучения. Получив достаточно большой заряд, такие частицы вследствие электростатического отталкивания могут подскакивать над поверхностью. Голд предполагает далее, что эти пылинки, постепенно соскакивая с горных склонов, заполняют «моря» и центральные области многих кратеров. По мнению Голда, космические корабли при посадке посреди моря могут при этом погрузиться в пыль на большую глубину и даже «утонуть». К несчастью для этой потрясающей идеи, современные данные о физических свойствах мелкой пыли в условиях вакуума делают описанный Голдом процесс совершенно неприемлемым на Луне. Частицы пыли в вакууме имеют тенденцию к слипанию друг с другом, не говоря уж о том, что там же должен присутствовать в значительных количествах газ, образующийся при ударе очень быстрых частиц о поверхность Луны; газ стремится цементировать пылевые частицы, находящиеся на небольшой глубине от поверхности, в довольно прочную в механическом отношении структуру, например, подобную гипсу*).

*) Снимки лунной поверхности с близкого расстояния, полученные с борта американских межпланетных зондов серии «Рейнджер», и успешная посадка «Луны-9» и «Сервейора-1» окончательно доказали, что в механическом отношении лунная поверхность является довольно прочной, а пылевой слой, если он и существует, то очень небольшой толщины. (Прим. ред.)

Эксперименты Голда и его помощников, а также ряда других исследователей показывают, что верхний слой поверхности должен иметь весьма пористую структуру, состоящую из микроскопических сплетенных «бакенбард» или же из пылинок, слепленных друг с другом так, что промежутки между пылинками, остающиеся пустыми, составляют, вероятно, 90% общего объема. Только такая поверхность может обуславливать необычайную отражательную способность Луны в оптическом диапазоне. Такая же структура присуща боковым стенкам кратеров и сбросам, хотя внутри и вокруг таких кратеров, как Тихо и Коперник, пористость поверхности кажется гораздо более слабой.

Небольшие метеориты, летящие со скоростью порядка 15 км/сек и сталкивающиеся с лунной поверхностью, могут, вероятно, образовать в мелкой пыли кратер, причем масса выброшенного при этом с низкими скоростями вещества (пыли?) будет во много раз больше массы упавшего метеорита. Таким образом постепенно создается пылевая структура поверхности наблюдаемого типа. При образовании большего кратера выбрасываются и также остаются лежать на поверхности твердые горные породы. Возможно, для полного завершения пористой структуры таких относительно молодых кратеров, как Тихо или Коперник, прошло еще недостаточно времени. Скорость приращения вещества на Луне за счет падения метеоритов оценивается слоем толщиной около 30 см за миллиард лет. Но, вероятно, при таком захвате вещества из межпланетного пространства потеря массы Луной больше, чем прирост. Каждый метеорит при ударе о Луну создает как бы миниатюрный взрыв, при этом как вещество поверхности, так и метеорита разбрасывается во всех направлениях. Летящая со скоростью 30 км/сек частица может сообщить другой частице с массой, большей массы летящей частицы, скорость больше 2,5 км/сек, т. е. скорости убегания с Луны. Так как у Луны нет атмосферы, которая могла бы препятствовать уходу частиц, получившая такую скорость частица может уйти за пределы поля тяготения Луны, хотя значительное количество утерянного вещества может быть вновь захвачено Луной при ее движении вокруг Земли.

Итак, мы видим, что хотя шероховатость поверхности Луны существует только в микроскопическом масштабе, вся поверхность покрыта кратерами и другими неровностями, причем крутые склоны перемежаются плоскими участками. Если бы на Луне были слышны звуки, то при ходьбе вещество ее поверхности трещало бы под ногами. Но под этим хрупким верхним слоем на глубине нескольких сантиметров или нескольких десятков сантиметров вещество может быть довольно твердым. Не исключено также, что на поверхности встречаются и расщелины, и изломы, но все-таки почти по всей своей площади она состоит из отлогих склонов.

Если бы Земля была не в состоянии сохранить свою атмосферу, вероятно, ее поверхность была бы подобно поверхности Луны

бесплодной и, возможно, более пересеченной, но воздух и вода сделали земную поверхность такой, какой мы ее знаем, и способствовали развитию жизни в различных ее формах. На поверхности же Луны нет никакой жизни, хотя можно думать, что в ходе ее формирования был такой период, когда Луна обладала заметной атмосферой. Возможно, там могли развиться простейшие микроорганизмы, но это предположение носит сугубо гипотетический характер и является весьма сомнительным.

Проблема происхождения Луны и различных образований на ее поверхности долго была предметом жарких споров. Образовалась ли Луна когда-то сразу в виде шара из расплавленного вещества или же формировалась постепенно из крупных метеорных тел и лишь впоследствии была разогрета хотя бы частично в результате радиоактивных процессов? Образовались ли лунные кратеры при столкновениях Луны с гигантскими метеоритами, осколки которых оказались разбросанными на сотни километров лунной поверхности или же кратеры имеют вулканическое происхождение и появились вследствие подъема и опускания жидкой лавы? Могут ли «моря» быть последствиями падений гигантских метеоритов и их дно было уже впоследствии покрыто вытекшей из кратеров лавой или же моря представляют собой просто проявления вулканической деятельности в гигантском масштабе? Действительно ли большие лучевые системы являются следами разбрызгивания грязи при взрывах кратеров и почему они так сильно отражают свет во время полнолуния?

Одним из тех, кто заинтересовался проблемой эволюции планет, был Юри, использовавший для этого свои глубокие познания в химии и присущую ему интуицию. С позиций химика он пришел к выводу, что Земля должна была образоваться как сравнительно холодное тело путем постепенного объединения твердых частиц. Его аргументация была основана на химическом составе Земли и метеоритов и в особенности на вычислении химического взаимодействия тех веществ, которые при относительно низких температурах находятся в газообразном состоянии. Хотя Юри и не высказывает предположения о том, что Луна образовалась из крохотных «лун», двигавшихся вокруг Земли, мы можем все же постулировать, что и Луна тоже, вероятно, сформировалась при низких температурах, а не в виде расплавленной массы или путем конденсации из последней. Есть основания полагать, однако, что вещество Луны могло содержать радиоактивные элементы в достаточном количестве, чтобы нагреть и расплавить некоторую значительную часть ее массы, величина которой зависит от степени теплоизоляции, обеспечиваемой верхними слоями.

Но если Луна оказалась разогретой таким образом, то железо, входящее в состав силикатных пород, должно было бы расплавиться и стечь к центру Луны, образовав железное ядро, подобное предполагаемому у Земли, а доказательство существования такого железа

мы находим в железных метеоритах. Железные метеориты могли образоваться при разрыве какой-то планеты или нескольких планет, которые были больше Луны, но ни одна теория, по-видимому не требует при той концентрации железа, которая характерна для железных метеоритов, чтобы эта планета была больше Луны. Трудность, с которой сталкивается это обобщение гипотезы Юри на Луну, состоит в том, что средняя плотность Луны всего в 3,33 раза больше плотности воды. Возникающее под действием давления сжатие в недрах Луны едва ли может обеспечить увеличение плотности больше чем на 1%, поэтому очень похоже, что средняя плотность Луны близка к плотности ультраосновных пород, обнаруживаемых у Земли на умеренных глубинах. Вот почему, если считать, что процентное содержание железа для Луны в целом такое же, как для Земли, очень трудно понять, почему плотность Луны столь низка. С другой стороны, процентное содержание железа в каменных метеоритах в среднем даже больше, чем для Земли, а плотность у них такая, как у Луны. В результате мы вынуждены сделать вывод, что или в составе Луны в силу какого-то необычного стечения обстоятельств содержится относительно меньшее количество железа, чем в составе Земли, или же что вещество Луны вообще не было расплавлено до такой степени, чтобы железо могло отделиться от других пород вследствие расслоения под действием силы тяжести. Разумеется, существуют и другие возможности, но они носят довольно умозрительный характер.

Существуют некоторые данные, указывающие на неравномерность распределения плотности лунного вещества. Так, диаметр Луны, направленный к Земле, на полтора километра больше перпендикулярного ему диаметра, в то время как под действием приливообразующей силы Земли это удлинение должно измеряться лишь несколькими десятками сантиметров. Если бы эта удлиненность была своего рода замороженным «ископаемым» приливом, который существовал, когда Луна находилась гораздо ближе к Земле и вращалась быстрее, то у Луны должен был бы быть соответствующий экваториальный выступ. Но видимый диск Луны имеет уж очень круглую форму. Более того, Луна не обнаруживает никаких признаков жесткости, т. е. не наблюдается каких бы то ни было колебаний, обусловленных гравитационным притяжением ее длинной оси к Земле. Возможно, Луна вообще никогда не была целиком в расплавленном состоянии, но в ее недрах содержатся довольно большие объемы нерасплавленных каменных материалов, от которых не отделилось железо. Тот факт, что согласно измерениям с советского *Лунника* магнитное поле Луны меньше 0,001 магнитного поля Земли, наводит на мысль, что если в недрах Луны и имеются какие-либо течения, то они очень слабы.

В поисках более непосредственных данных, свидетельствующих о расплавлении и вулканической деятельности на Луне, обратимся к рассмотрению самой лунной поверхности. В южной части Луны

(рис. 99) мы замечаем беспорядочное нагромождение кратеров одного на другом, образующих неровное «поскогорье». По контрасту с этой областью поверхности морей выглядят сравнительно гладкими

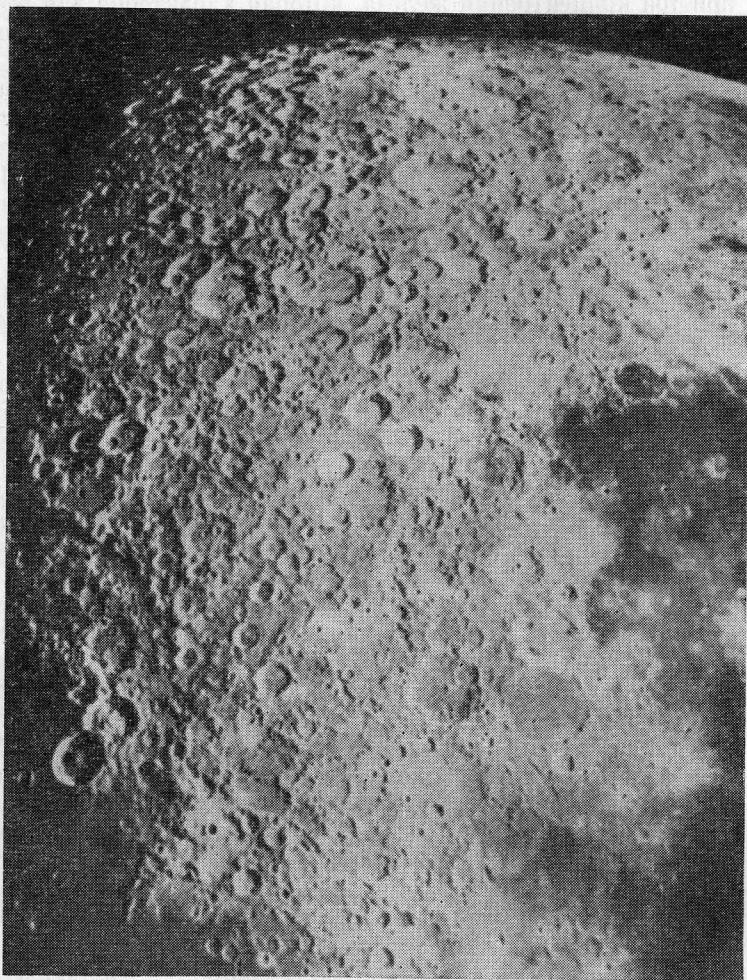


Рис. 99. Южная область Луны перед последней четвертью.

и содержащими гораздо меньше небольших кратеров (на единицу площади). Едва ли можно сомневаться в том, что моря представляли собой в прошлом потоки лавы, причем или лава поднималась или поверхность Луны опускалась. По краям Моря Дождей мы отмечаем большую систему бороздок, частично пустых, частично заполненных, а частично переполненных каким-то материалом.

Нам представляется самым резонным предположить, как это сделал Юри, что Луна выросла путем постепенного накопления частиц, оставаясь сравнительно холодным телом, а недра ее разогрелись за счет радиоактивных элементов с малым периодом полураспада. В течение десятков или сотен миллионов лет на ранней стадии развития Луны на нее все еще, вероятно, выпадало вещество, хотя окружающая среда и поредела. Образовавшийся при этом внешний слой, обеспечивая хорошую теплоизоляцию, удерживал выделяемое в недрах тепло до тех пор, пока в конце концов вещество не начало плавиться где-то неподалеку от поверхности. В такие моменты на протяжении сравнительно короткого промежутка времени дно многих кратеров, трещины, а также некоторые обширные низменности, которые мы теперь называем «морями», заполнялись лавой. Когда лава вышла на поверхность, то благодаря возросшей теплопроводности должно было наступить быстрое охлаждение, и процесс плавления в недрах, очевидно, прекратился. На поверхности «морей» видны явные следы тех сильных давлений и натяжений, причиной которых послужили изменения температуры. Бороздки, вероятно, образовались еще раньше, чем прекратилось нагревание. Расширение поверхности сопровождалось ее натяжением, в результате чего образовались трещины. Тенденция к образованию извилистых гребней проявилась немного позднее; в этом можно легко убедиться, глядя в котел с расплавленной смолой. При остывании ее находящиеся на поверхности вещества сжимаются, образуя гребни и другие неровности.

Следы вулканической деятельности на Луне хорошо видны во многих местах: таковы, например, упоминавшиеся выше (рис. 89) цепочки кратеров недалеко от большого кратера Коперник, а также вулканические воронки и купола (рис. 91) к востоку от Коперника. На примере замечательного кратера Варгентин (рис. 100) хорошо видно, что или лава действительно доходила до верхней линии кратера и он так и остался по существу заполненным ею, или же что прилегающие к кратеру области позднее осели, став ниже общего уровня. Вулканы вообще создают нагромождение материалов в виде горки вокруг своего центрального жерла, как у Везувия, вулканов на Гавайских островах и в ряде других случаев (рис. 101). Свидетельство существования на Луне вулканов таких размеров представлено на рис. 91, но во всех этих четко выраженных случаях вулканы и вулканические сопки имеют сравнительно небольшие размеры.

Спор между сторонниками вулканической и метеорной гипотез происхождения более крупных лунных кратеров в основном, по-видимому, разрешился. В 1949 г. Болдуин представил такой комплекс данных в пользу метеорной гипотезы, что в настоящее время у вулканической теории осталось очень немногих защитников. Ранее в опровержение метеорной гипотезы выдвигался такой аргумент: если крупные лунные кратеры образуются в результате падения

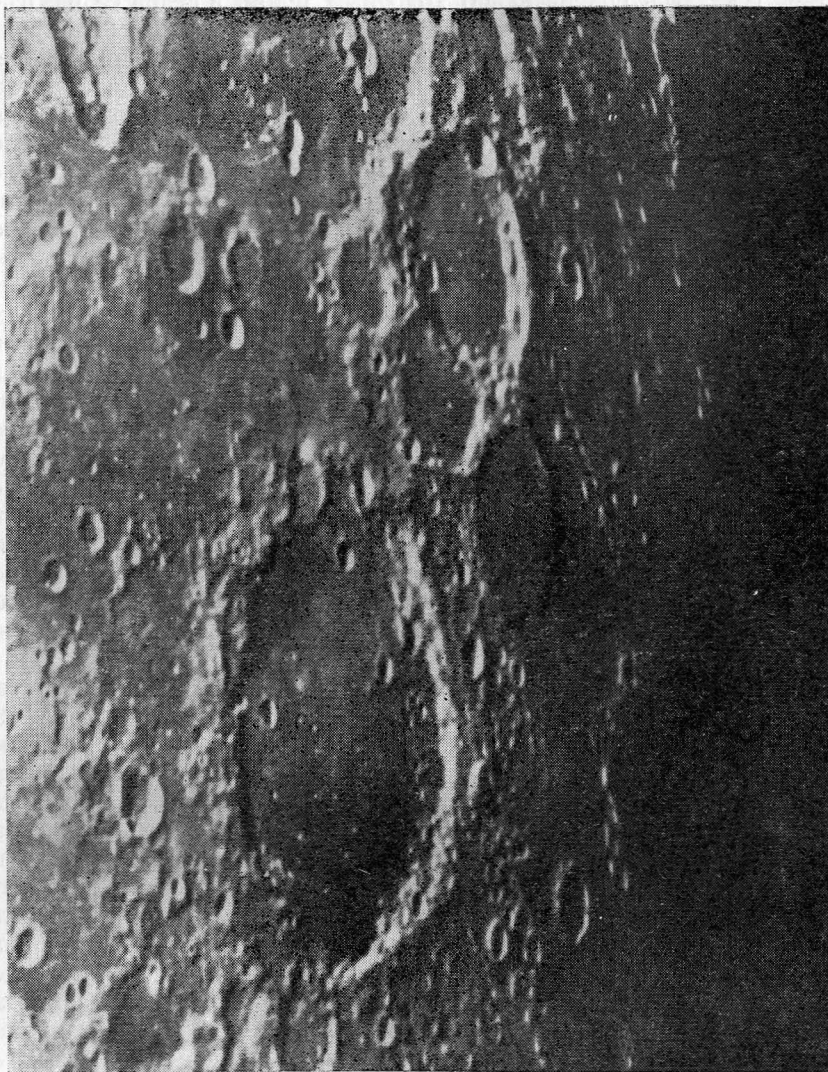


Рис. 100. Кратер Варгентин. Два самых больших кратера — это кратеры Шиккард (внизу) и Фоцилид (вверху); между ними правее находится Варгентин—заполненный кратер.

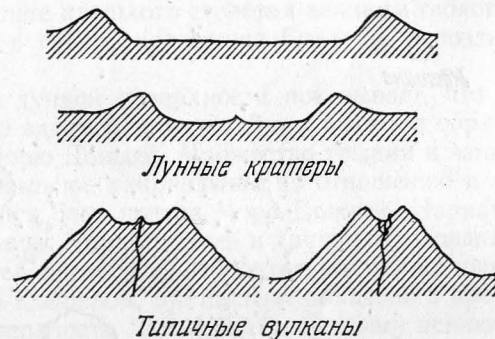
больших метеоритных тел, то на Земле должно было бы быть даже больше подобных «шрамов», поскольку ее сила притяжения больше, чем у Луны, а следовательно, и на Землю аналогичные тела падали с большей скоростью. Однако накопленные в течение нескольких последних десятилетий данные вполне определенно подтверждают, что у Земли *имеется* много подобных шрамов в виде криповулканов,

не говоря уж о таких хорошо различимых появившихся сравнительно недавно метеоритных кратерах, как кратер Барринджера в Аризоне и еще более крупные кратеры в Канаде (рис. 50), существование которых доказал Билс. Разумеется, в ходе геологических процессов гигантские в прошлом кратеры заполнялись веществом, стены их перекашивались, они подвергались выветриванию и в значительной мере эти памятники прошлого были разрушены. Поразительным

образом гигантского кратера является Вредефортский Купол в Южной Африке, который первоначально имел диаметр около 50 км. Вопрос об этих ископаемых метеоритных кратерах Земли рассмотрен в книге «Между планетами» Ф. Ватсона (имеется русский перевод, Гостехиздат, 1947.—Прим. перев.).

При экспериментах с ядерными взрывами было установлено, что в результате этих взрывов могут образовываться большие кратеры. Аналогичные эффекты в *любом* сколь угодно большом масштабе могут создаваться и метеоритами, движущимися с большими скоростями. На диаграмме Шумейкера (рис. 102) показаны кратеры ударного происхождения в области, окружающей кратер Коперника. Эти крохотные кратеры диаметром все же порядка полутора километров образовались в результате выброса вещества при взрыве. Насколько нам известно, никакая вулканическая деятельность не может сопровождаться такими взрывами, при которых миллионы тонн вещества разбрасывались бы на расстояние 15 км и больше от места взрыва. С другой стороны, в той же области в некоторых ее частях видны также кратеры и вулканического типа (рис. 91).

Другое доказательство метеоритного происхождения лунных кратеров, имеющих более правильную форму и, вероятно, более молодых, вытекает из правила Шрётера (1745—1816), который показал, что вещества, которое набросано вокруг кратеров, как раз достаточно, чтобы их заполнить. Таким образом, эти кратеры



Лунные кратеры

Типичные вулканы

Рис. 101. Кратеры и вулканы. Эти схематические поперечные сечения показывают, в чем основные отличия лунных кратеров от вулканов типа Везувия.

образовались без значительной добавки вещества из недр Луны или его потери. На рис. 101 схематически показана характерная особенность лунных кратеров—у многих лунных кратеров в центре имеется своего рода горка, высота которой гораздо ниже наружного ободка

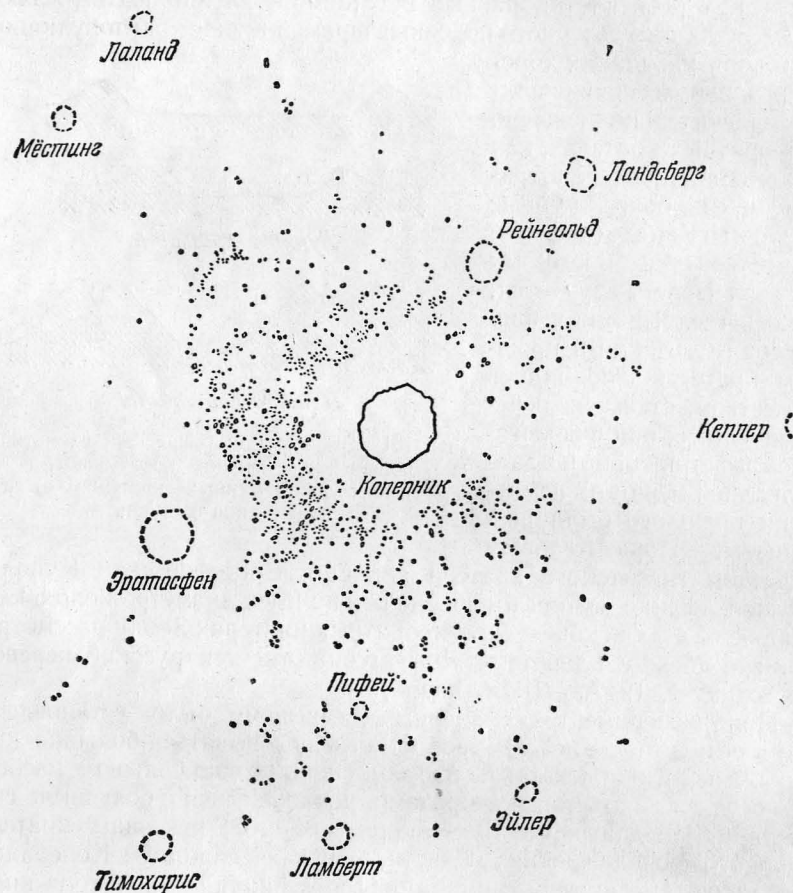


Рис. 102. Кратеры вторичного происхождения в области Коперника; ср. с рис. 91.

кратера; часто эта горка — сама кратер. Возможно, как это предполагает Койпер, такие центральные горки встречаются только в кратерах, которые возникли в переломный период, когда Луна частично находилась в расплавленном состоянии, поэтому в месте падения метеорита могло образоваться отверстие для выхода жидкой лавы, в результате чего образовалась центральная горка, которая оказалась, по существу, вулканического происхождения. Кратеры, которые образовались раньше или позднее этого перелом-

ного периода, не должны иметь центральных гор. Явное отсутствие больших лавовых потоков на склонах лунных кратеров представляет один из самых убийственных аргументов против вулканической гипотезы.

Обратимся теперь к вопросу: какова главная причина образования морей — вулканическая деятельность или падение необычайно больших метеоритов? Последнее предположение, впервые высказанное и отстаивавшееся в конце прошлого столетия великим геологом Гильбертом (1843—1918), в 1949 г. поддержал Болдуин, а позднее Юри и Койпер.

Интенсивное изучение лунной поверхности показывает, что по крайней мере на половине видимой стороны Луны имеются образования, примыкающие к Моря Дождей. Множество трещин и заполненных долин имеют радиальное направление по отношению к некоторой точке, находящейся близ центра Моря Дождей. Наряду с этим имеются системы трещин, горных цепей и другие образования, обладающие почти круговой симметрией относительно той же точки. На рис. 103, размеченном Койпером, эта система показана в проекции, ортогональной к поверхности Луны, благодаря чему исключается перспективное сокращение Моря Дождей, получающееся, если смотреть на Луну с Земли. Койпер установил наличие замечательного бассейна, окруженного извилистыми гребнями, обозначенными черными линиями. Эта почти квадратная площадка симметрична относительно предполагаемой точки удара метеорита о поверхность. Альпийская долина ведет прямо к этой центральной точке, а расположенные вокруг огромные горные области совершенно симметричны по отношению к ней. В пределах этого горного района находится внешний бассейн, в котором, по-видимому, имеются гигантские глыбы, представляющие собой или первичный материал Луны, оставшийся неразрушенным при образовании Моря, или материал, заброшенный в эту область при образовании Моря извне.

Койпер утверждает и, как я полагаю, правильно, что грандиозное метеорное тело, упавшее вблизи упомянутой выше точки, имело большую составляющую скорости, направленную к югу (на фотографии — вверх). В центре внутреннего бассейна образовался гигантский кратер, а куски вещества были отброшены далеко за пределы видимого центра Луны, если смотреть на нее с Земли.

Грандиозное столкновение метеорита с Луной произошло в то же время, когда ее верхние слои частично находились в расплавленном состоянии, поэтому огромная масса вещества, выброшенного через центральный кратер, представляла собой непосильный груз для оказавшейся под ним лунной коры. Область, находящаяся в настоящее время между внешним бассейном и внутренними границами горных областей, оказалась не в состоянии выдержать такое бремя и осела. В результате внутренние края Альп, Кавказских гор, Апеннин и Карпат представляют собой сдвиги и сбросы, образовавшиеся

при опускании внутренней и первоначально более высокой области. Хотя некоторые из этих гор имеют высоту более 8000 м, сила тяжести на Луне, как мы уже отмечали, в 6 раз меньше, чем на Земле.

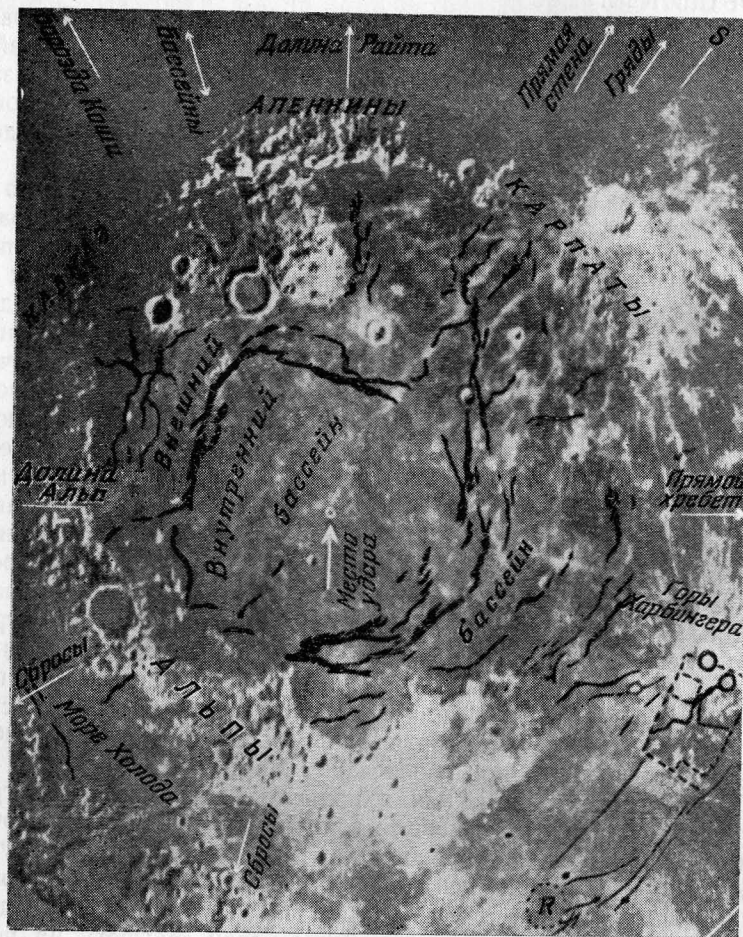


Рис. 103. Строение образований в Море Дождей согласно Койперу.

А это значит, что для поддержания самых высоких гор на Луне требуется такая сила, как на Земле для поддержания гор высотой меньше 1500 м. Следовательно, если была расплавлена лишь небольшая доля верхнего слоя Луны, то можно думать, что лежащие ниже и непо потревоженные более легкие, чем на Земле, горные породы, могли послужить достаточной опорой для такого разрушенного и неполного кольца гор, какое существует и поныне.

Область близ видимого центра Луны, простирающаяся до Апеннин и к западу до Балкан близ Моря Спокойствия, выглядит грязной и плохо разрешается даже при самых лучших условиях наблюдений. Трудно объяснить этот необычный вид, если не предполагать, что эта область была покрыта довольно толстым слоем частично расплавленного вещества, выброшенного радиально из Моря Дождей. На этом факте зиждется утверждение Койпера о том, что упавшее метеорное тело двигалось в южном направлении.

Приняв концепцию, согласно которой моря образовались в результате совместного действия падения метеоритов и гигантских лавовых потоков, нам нет никакой необходимости постулировать, что вообще вся лава на Луне вытекла из центральных кратеров, образовавшихся в месте падения метеоритов. Такие грандиозные возмущения на Луне, которые могли сопровождаться появлением огромных трещин длиной в сотни километров, естественно, должны были предоставить какому-то количеству лавы, находившейся близ поверхности Луны, возможность вытекать через многочисленные расщелины. При этом лава могла заливать не только трещины, но и проникать в более старые кратеры, заливая их дно, и вообще заделывать неровности в нижнем уровне лунной поверхности. Поскольку горные породы в твердом состоянии плотнее, чем в расплавленном, то при подобных обстоятельствах должно было бы происходить общее оседание твердой поверхности.

Число метеоритов, выпадающих в настоящее время в единицу времени на Землю, находится в полном согласии с числом кратеров небольших размеров, видимых на поверхности Луны, если предположить, что на протяжении примерно 4 млрд. лет Луна подвергалась тому же количественному воздействию метеоритов. У нас есть все основания полагать, что разогрев Луны, обусловленный радиоактивностью, и последующее охлаждение лунной коры происходили на относительно ранней стадии развития Луны, вероятно, через несколько сотен миллионов лет после главной стадии ее роста. Предполагают также, что последовавшее затем охлаждение происходило по крайней мере с той же скоростью, с какой тепло выделялось при радиоактивных процессах.

К сожалению, невозможно включить в эту книгу множество других дополнительных данных, служащих в поддержку этого объяснения происхождения Моря Дождей и других крупных образований округлой формы. Мы отсылаем читателя, который пожелал бы продолжить обсуждение этого вопроса, к книгам Болдуина «Лик Луны» и «Измерение Луны». Аргументацию против данного объяснения можно найти в книге Спарра «Геология в приложении к селенографии»). В трудах симпозиума № 14 Международного астрономического

*) Baldwin, The Face of the Moon, University of Chicago Press, 1949; The Measure of the Moon, University of Chicago Press, 1963; Spurr J. E., Geology Applied to Selenography, Science Press Printing Co., 1944.

союза «Луна» (под ред. З. Копала и А. А. Михайлова) содержится ряд статей, в которых изложены результаты современных исследований Луны. Наши сведения о Луне пополняются непосредственными исследованиями при помощи космических зондов; часто даже газеты могут быть хорошим источником информации об этих открытиях.

Истинная природа лунных лучей все еще остается загадкой. Почти все кратеры на Луне, имеющие более совершенную форму, а следовательно, и более молодые, обладают системами лучей или белыми ободками; очень немногие кратеры в порядке исключения имеют темные ободки. Очевидно, лучи могли образоваться при извержении вещества с большими скоростями в процессе образования кратеров. По наблюдениям Койпера, в лучевых структурах имеются глыбы, явно представляющие собой часть выброшенного при извержениях материала. Радиолокационные наблюдения, выполненные в Линкольновской лаборатории Массачусетского технологического института, показывают, что область Тихо отражает радиоволны гораздо лучше, чем соседний участок Луны; это наводит на мысль, что глыбы твердого вещества образуют в кратере или вокруг него шероховатую для радиоволн поверхность.

Если бы не непрерывная метеоритная эрозия и последующее перераспределение вещества самого верхнего слоя лунной поверхности, можно было бы считать лучи просто сравнительно мелкой белой пылью, образовавшейся при разбрызгивании извергнутых горных пород во время образования кратеров. Большие кратеры на Земле свидетельствуют о возможности таких извержений. Однако слои, которые должны были бы быть толщиной по крайней мере несколько сантиметров, за то время, которое прошло с начала образования большинства лучей, должны были под действием падения небольших метеоритов как-то перераспределиться по поверхности Луны. Трудно понять, каким образом очень тонкий слой вещества мог просуществовать в течение столь длительного времени и все-таки выглядеть белым. О'Киф высказал правдоподобное предположение, что лунное вещество при образовании лучей, будучи расплавленным, разбрызгивалось, и из него образовывались небольшие стекловидные капельки, которые застывали в процессе их перемещения. Такие капельки, если они частично прозрачны, обладают свойством обратного отражения света и используются в отражающих поверхностях дорожных знаков. Если в составе лучей таких капелек много, то этим можно объяснить заметное увеличение их яркости близ полнолуния и их стойкость по отношению к воздействию метеоритов на протяжении миллиардов лет.

Приливообразующие силы и данные, приведенные в гл. 7 об удлинении земных суток, показывают, что в прошлом Луна должна была быть гораздо ближе к Земле. Джордж Дарвин (1845—1912), сын великого естествоиспытателя, разработал теорию, согласно которой Луна когда-то соприкасалась с Землей, причем оба тела имели

период вращения около 7 часов; впоследствии под действием резонансных приливообразующих эффектов они разъединились. Теорию Дарвина нельзя признать целиком, так как вязкость системы Земля—Луна должна была бы препятствовать их разъединению. Теперь мы к тому же имеем серьезные основания считать, что как Земля, так, вероятно, и Луна, образовались как холодные тела и поэтому раздельно. Однако нет ясного указания, на каком расстоянии от Земли в действительности образовалась Луна. Возможно, ее расстояние от Земли в то время было вдвое меньше, чем в настоящее время, а может быть, она была и совсем рядом с Землей. Была когда-то надежда, что на Луне могло сохраниться нечто вроде окаменелого прилива, но мы убедились, что для этого Луна недостаточно жестка.

Так как приливообразующие эффекты меняются обратно пропорционально кубу расстояния, скорость удаления Луны от Земли была на ранних стадиях развития системы гораздо большей, чем в настоящее время. Вместе с тем, возможно, было и такое время, когда приливообразующие эффекты на Земле проявлялись гораздо сильнее, чем теперь. Койпер даже предполагает, что приливы в то время были настолько высокими — порядка полутора километров, что именно они оказали решающее влияние на топографию дна океанов, если считать, конечно, что на этой ранней стадии развития Земли на ней была вода.

Бессмысленно строить гипотезы, касающиеся отдельных подробностей лунной эволюции, так как непосредственные исследования Луны должны постепенно ответить на старые вопросы и поставить множество новых. Посадки на Луну позволят проникнуть в тайны этой «богини ночи». Ее древняя кожа несет на себе «первобытные отпечатки», более древние, чем любой еще оставшийся на Земле, а ее история возвращает нас к тем дням, когда Земля была еще молода.

Юпитер — главенствующая планета

От суровой бесплодной Луны обратим теперь наше внимание на полную противоположность всему, что присуще Луне, — на колосса среди планет — Юпитер, поверхность которого представляет собой арену беспорядочных непрекращающихся изменений. Мы находим эту планету на расстоянии около 640 млн. км от нас; масса

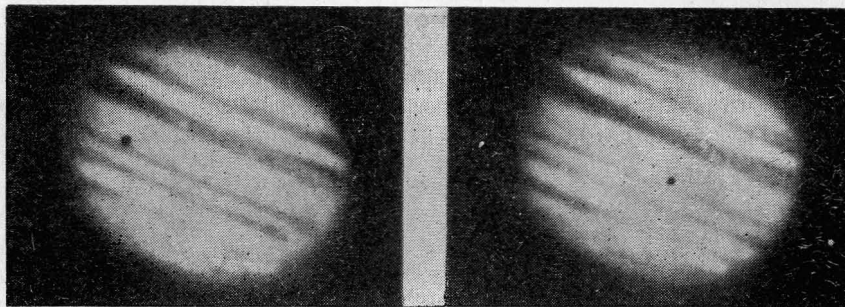


Рис. 104. Юпитер. По фотографиям, сделанным с 5-метровым телескопом с интервалом в 50 мин., заметно вращение планеты и движение тени спутника по диску.

ее составляет больше 300 масс Земли, а объем превышает объем нашей планеты более, чем в 1000 раз. В телескоп Юпитер выглядит как золотой диск, пересеченный темными и светлыми полосами, идущими примерно параллельно. В глаза бросаются красноватые или коричневые оттенки цветов, в то же время мы замечаем неправильной формы облакообразные пятна, нарушающие однородность полос (рис. 104). Диск кажется слегка вытянутым в направлении

полос, и тщательные измерения подтверждают наше впечатление; диаметр в этом направлении на 1/15 больше, чем в перпендикулярном направлении.

За час наблюдений видно, что планета заметно повернулась, как это показано на рис. 104; полный оборот вокруг своей оси Юпитер завершает всего за 9 час. 55 мин. Наблюдая Юпитер в следующую ночь, мы обнаруживаем, что полосы и другие характерные черты поверхности в основном остались теми же, что и накануне, но что детали немного изменились (сравните две фотографии на рис. 105). За несколько недель структура полос претерпевает значительные изменения, хотя общий характер основных деталей остается неизменным. Так как ось вращения планеты перпендикулярна к плоскости медленно изменяющихся полос, полосы должны быть следствием гигантских «пассатов» или атмосферных течений, параллельных экватору.

В самом деле, Юпитер вращается очень быстро, причем расположенная вблизи экватора зона явно вращается быстрее, чем зоны, находящиеся на более высоких широтах. Ее период вращения примерно на 5 мин. меньше и составляет всего около 9 час. 50 мин. Периоды вращения от 9 час. 51 мин. до 9 час. 53 мин. наблюдаются редко и к тому же их величина не остается постоянной. Экваториальная зона вращается со скоростью 40 тыс. км/час. Возникающая при такой скорости центробежная сила, даже если она действует против силы притяжения, которая в 2,6 раза больше, чем силы притяжения на поверхности Земли, достаточно велика для того, чтобы заметно сжать планету, что мы уже отметили выше. Однако сжатие это не так велико, как можно было бы ожидать, если бы недра Юпитера были подобны недрам Земли. Соответствующие вычисления показывают, что отношение плотности центральных областей Юпитера к плотности верхних слоев должно быть больше, чем аналогичное отношение для Земли. Таким образом, увеличение плотности от поверхности к центру для Юпитера происходит относительно быстрее, чем для Земли.

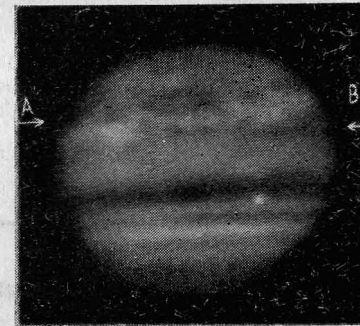
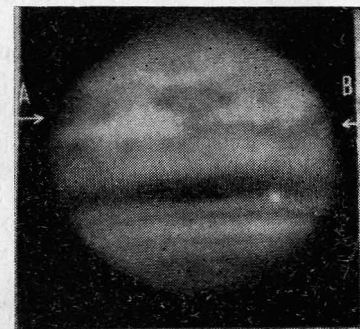


Рис. 105. Юпитер в 1928 г. Фотографии, сделанные с интервалом 49 1/2 часов, показывают изменение в большом Красном Пятне и движения облаков вблизи него. Обратите внимание на пятна, отмеченные стрелками. (Фотография Слайфера, обсерватория Лоуэлла.)

Это необычное распределение плотности у Юпитера приобретает особое значение, если мы припомним, что средняя плотность всей планеты всего лишь в 1,33 раза больше плотности воды. Высокая концентрация вещества к центру требует, чтобы внешние слои были гораздо менее плотными, чем вода. Так как нам известно очень мало твердых или жидких веществ, плотность которых была бы столь низкой, нам следует сделать вывод, что внешние слои Юпитера являются газообразными или состоят из самых легких материалов.

Существование очень протяженной в глубину атмосферы подтверждается некоторыми непосредственно наблюдаемыми деталями. Самое удивительное из всех образований на поверхности Юпитера — большое Красное Пятно, впервые замеченное в 1878 г. Оно выглядело как кирпично-красная область, вытянутая примерно на 50 000 км (почти на четыре диаметра Земли!) в направлении, параллельном экватору. Его все еще можно наблюдать в виде овального пятна, окраска и характер которого меняются, но никогда оно так ни бросалось в глаза, как в первые несколько лет после открытия. На рис. 106 представлены фотографии Юпитера с Красным Пятном, сделанные в синем и красном свете. В синем свете Пятно выделяется как темное образование на фоне диска планеты. В красном свете Пятно почти исчезает. Белый предмет был бы одинаково хорошо виден в обоих цветах, тогда как красный предмет синий свет отражать не может, поэтому, когда его фотографируют в синем свете, он кажется темным. Следовательно, беспристрастный «глаз» фотографической пластинки подтверждает красный цвет Красного Пятна. В основном красноватый оттенок других деталей также подтверждается на рис. 106.

Большое Красное Пятно, участвуя в равномерном вращении планеты, обладает заметным дрейфующим движением; один из самых прилежных исследователей Юпитера — Пик — считает, что Пятно далеко отклонялось от своего тщательно вычисленного среднего положения. Такая свобода движения неоспоримо доказывает, что Пятно представляет собой какое-то плавающее образование*). На поверхности Юпитера наблюдаются и другие также полупостоянные образования, и все они до некоторой степени характеризуются блуждающим движением.

Из непосредственных наблюдений нам известны три химических вещества, входящих в состав атмосферы Юпитера — химический элемент водород и соединения — аммиак и метан (болотный газ).

*) Гидродинамические расчеты показывают, что движение Красного Пятна невозможно объяснить, исходя из гипотезы «плавающего образования». С другой стороны, есть указания на то, что скорость вращения твердого тела планеты испытывает изменения во времени. Вероятно, Красное Пятно связано с твердой поверхностью, хотя характер этой связи не выяснен. В прошлом предполагалось, что оно расположено над областью с сильной вулканической активностью. Многие современные исследователи склонны считать, что Красное Пятно образуется в результате обтекания атмосферными течениями некоторой крупной детали поверхностного рельефа — либо обширного плато, либо низменности. (Прим. ред.)

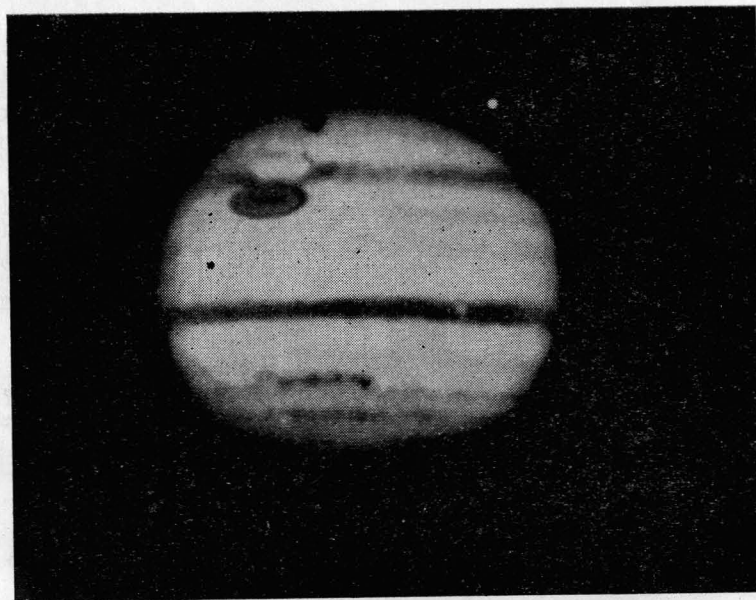


Рис. 106. Юпитер, сфотографированный с 5-метровым телескопом в синем свете (вверху) и красном свете (внизу). Заметьте, что в красном свете большое Красное Пятно по существу исчезает. Видны также Ганимед и его тень.

Определение химического состава газа на расстоянии свыше 600 млн. км — своего рода проявление волшебной силы науки. Химический состав определяют при помощи спектрографа — прибора, который разлагает свет на его составные цвета и фотографирует всю последовательность цветов от ультрафиолетового света, за которым следуют синий, зеленый, желтый, красный — до инфракрасного. Анализируемый свет сначала проходит через входную щель спектрографа (рис. 107), а затем через линзу к призме — сердцу

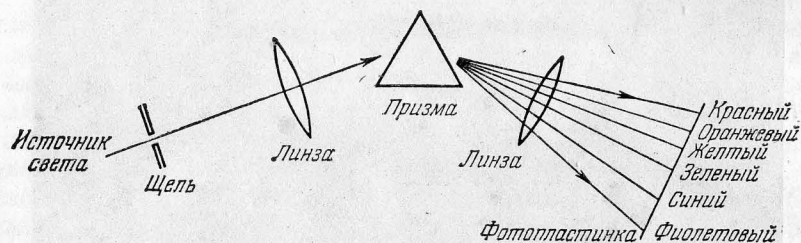


Рис. 107. Схема спектрографа. Оптическое действие линз не показано.

прибора. Призма разлагает свет на его составные цвета, образующие спектр. По характеру спектр сходен с радугой с той лишь разницей, что цвета в нем разделены гораздо лучше. Вторая линза спектрографа служит для фокусировки спектра на фотографической пластинке, где, собственно говоря, и получается фиксированный отпечаток спектра. При длительной выдержке фотографическая эмульсия может зарегистрировать гораздо более слабый свет, чем доступный восприятию невооруженного глаза.

Спектрограф позволяет решить ряд трудных для нас задач, в том числе одну из самых важных — отождествление химических элементов и соединений, входящих в состав газовой смеси. Свет, который исходит от излучающего или поглощающего газа, раскрывает характер этого газа. Каждый атом или молекула представляет собой микроскопический вибратор, колебания совершают элементарными отрицательно заряженными частицами — электронами, которые, находясь на своих орбитах, движутся вокруг более тяжелых положительно заряженных ядер атомов. Входящие в состав молекулы два или большее число атомов также вращаются и колеблются друг около друга, в то время как входящие в состав атомов электроны, вращаясь вокруг ядер, движутся по сложным траекториям.

Все эти движения и вращения в атомах и молекулах соответствуют определенным дискретным количествам энергии, предельно малым, но характерным для каждого атома или молекулы данного вещества. Когда при изменении энергии колебания (энергетических переходов) атом теряет свою энергию, эта энергия излучается в пространство в виде фотона света (или кванта света, т. е. самой малой единицы излучаемой энергии), характеризующегося определенным количест-

вом энергии, определенным цветом (если он видим глазом) и определенной длиной волны колебания. Эти световые волны относятся к тому же семейству, что и радиоволны, но гораздо короче их. Длины волн красного света составляют около шести десятитысячных миллиметра, а волны сине-зеленого света имеют длину всего только пять десятитысячных миллиметра. Инфракрасные или тепловые волны могут быть в несколько раз длиннее, ультрафиолетовые волны — короче.

Сжатый раскаленный газ, находящийся близ поверхности Солнца, посылает лучи света всех цветов, т. е. всех длин волн. Когда

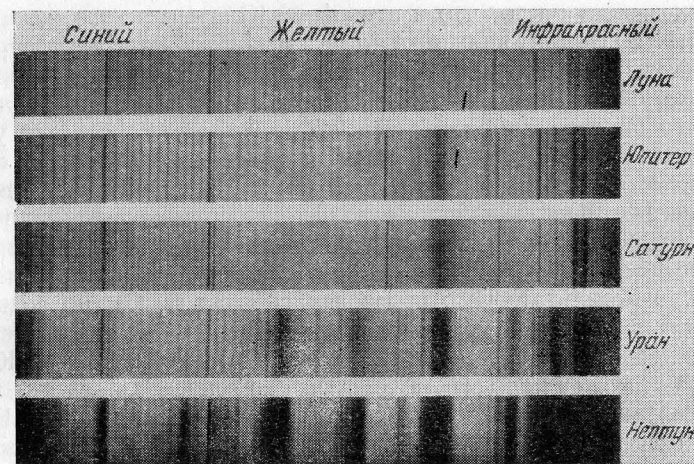


Рис. 108. Спектрограммы Луны и планет-гигантов. Большие темные полосы поглощения, особенно выделяющиеся в спектре Нептуна, обязаны своим происхождением метану. (Спектры получены Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

такой непрерывный свет проходит через слой холодного газа, каким является наша атмосфера или атмосфера Юпитера, колеблющиеся атомы и молекулы активизируются и выхватывают из пучка свет точно тех длин волн, которые характерны для их энергетических переходов. Когда мы анализируем свет при помощи спектрографа, мы измеряем длины волн утраченного света и, таким образом, отождествляем атомных или молекулярных похитителей, ответственных за эти потери. В тех длинах волн, в которых излучение утрачено, в спектре видны темные линии.

В атмосфере Юпитера за потери в спектрах, показанные на рис. 108, отвечают молекулы аммиака и метана. В спектре других гигантских планет преобладает метан. Остальные темные линии, которые видны в этих спектрах, создаются газами внешнего слоя Солнца и земной атмосферой. Данэму (обсерватория Маунт Вилсон) удалось

отождествить полосы метана и аммиака путем наблюдения спектра каждого из них в отдельности в 18-метровой лабораторной трубе. Он установил, что длины волн света, потерянные пучком, отразившимся от задней стенки трубы, т. е. дважды прошедшим через нее, совпадают с длинами волн, свет которых отсутствует в спектре Юпитера*). Слой аммиака толщиной около 10 м при нормальном атмосферном давлении эквивалентен количеству аммиака в атмосфере Юпитера до той глубины, на которую проникает солнечный свет до того, как этот свет отразится обратно к нам. Соответствующая толщина для метана составляет около 150 м.

Уже одно только присутствие этих не совсем обычных газов сразу же указывает на то, что в атмосфере Юпитера много водорода. Аммиак (NH_3) состоит из одного атома азота и трех атомов водорода, а метан (CH_4) содержит один атом углерода и четыре атома водорода. Мы можем сделать вывод, что в атмосфере Юпитера водорода так много, что он соединился со всеми имеющимися там атомами углерода и азота. Кисс, Корлисс и Кисс (Национальное бюро стандартов США) на основе спектральных исследований установили, что в атмосфере Юпитера количество водорода при давлении на уровне моря не превышает слоя толщиной около полутора километров**). Вероятно, водород соединился также и с имевшимся свободным кислородом, в результате чего образовалась вода (H_2O), но вода замерзла и осела на дно атмосферы, став недоступной для наблюдений. Если это действительно так, то далеко внизу под облаками на Юпитере вполне может находиться толстый слой льда.

Чтобы узнать побольше о природе атмосферы Юпитера, Баум и Коуд при помощи полутораметрового рефлектора обсерватории Маунт Вилсон наблюдали 20 ноября 1952 г. покрытие Юпитером звезды 5-й величины σ Овна. Измеряя скорость, с которой исчез свет звезды, Баум и Коуд вычислили рефракцию света в атмосфере Юпитера, а отсюда определили, как уменьшается плотность атмосферы с увеличением ее высоты. Они установили, что при изменении высоты на 6—7 км плотность атмосферы падает в два раза. Если известны температура атмосферы и сила тяжести, то полученные сведения об изменении плотности позволяют определить средний молекулярный вес содержащихся в атмосфере газов. Например, молекулярный вес водорода равен 2, атомный вес гелия 4, атомный вес углерода 12, молекулярный вес метана 16, атомный вес азота 14, молекулярный вес аммиака 17, атомный вес кислорода 16, молекулярный вес воды 18 и т. д. Приняв для температуры атмосферы Юпитера разумное значение, Баум и Коуд нашли, что средний молекулярный вес атмосферы заключен в диапазоне от 1,8 до 5. Эпик выводит среднюю величину 3,3. Так как подлинная глубина атмо-

*) Автор допускает неточность. Приоритет отождествления полос NH_3 и CH_4 в спектрах больших планет принадлежит Вильдту. (Прим. ред.)

**) По современным данным количество H_2 в атмосфере Юпитера намного (возможно, в 100 раз) больше, чем указывает автор. (Прим. ред.)

феры Юпитера, очевидно, гораздо больше приведенной к земному давлению на уровне моря полуторакилометровой водородной атмосферы и так как метан и аммиак не дают атмосферы большой глубины, представляется вероятным, что атмосфера Юпитера в основном состоит из гелия. Однако, обратившись к внутреннему строению Юпитера, мы увидим, что попытки объяснить такое большое содержание гелия сталкиваются с серьезными затруднениями, которые пока еще не разрешены*).

В стремлении понять, вследствие каких причин такая массивная планета, как Юпитер, может обладать средней плотностью, в 1,33 раза меньшей плотности воды, естественно предположить, что Юпитер состоит в основном из водорода, так как водород — самый легкий элемент. Схематическая модель внутреннего строения Юпитера была построена в 1934 г. Вильдтом. В этой модели внешние слои, занимающие первые 18% радиуса, состоят главным образом из сжатого водорода, следующие 39% заполнены слоем льда, а остальные 43% приходятся на металлическое твердое ядро. Под действием громадного давления лед сжат до плотности, в 1,5 раза превышающей плотность воды, водород — до плотности 0,35, в то время как плотность ядра предполагается равной 6,0. Однако в 1948 г. Рамзей (Англия) подсчитал, что Юпитер мог бы целиком состоять из водорода, который под давлением порядка 800 000 атмосфер становится твердым металлом. Только внутри водородной планеты, масса которой больше массы Земли в 70 раз, может образоваться такое водородно-металлическое ядро. Хорошее приближение к Юпитеру дает модель, в состав которой входит около 80% водорода и тяжелые атомы, масса которых в совокупности равна нескольким массам Земли, а остальную часть массы Юпитера составляет гелий. Де Маркус допускает, что в центре Юпитера имеется тяжелое ядро, радиус которого составляет около 0,1 радиуса планеты, а плотность в центре превышает в 30 раз плотность воды.

Поскольку из теории следует, что недра Юпитера должны состоять большей частью из водорода, подавляющее содержание гелия в атмосфере требует отдельного объяснения. Так как внутреннее ядро планеты может состоять из твердого водорода, который не смешивается с атмосферой, интересующий нас факт, возможно, объясняется некоторым химическим механизмом, под действием которого водород связывается в соединения, выпадающие ниже высоты облаков или в самый нижний слой атмосферы. Автор предполагает, что приток метеорных материалов из межпланетного пространства мог быть достаточно большим, чтобы служить поставщиком тех атомов, соединения водорода с которыми большей частью выпадают из

*) Вывод Эпика о большом относительном содержании гелия в атмосфере Юпитера ошибочен. Вероятно, содержание H_2 составляет около 70% по объему, около 30% He и остальных газов, включая NH_3 и CH_4 , не более нескольких процентов. (Прим. ред.)

атмосферы. Возможны и другие объяснения, в том числе и такие, в которых содержание водорода в атмосфере Юпитера предполагается большим.

Совершенно случайно Юпитер оказался самой большой по размерам планетой, какая только возможна. Если бы масса Юпитера была гораздо больше, планета «дала бы усадку» вследствие образования плотного ядра, а если бы масса оказалась еще больше, планета стала бы излучающей свет звездой. С другой стороны, если бы планета имела значительно меньшую массу или состояла из более плотных материалов, она опять-таки дала бы усадку в диаметре. Мы располагаем данными только об одной планете, которая подобно планетам солнечной системы движется вокруг другой звезды. В 1963 г. ван де Камп показал, что вблизи звезды Барнарда («летающая» звезда) имеется сопутствующая ей планета, масса которой примерно в 1,6 раза больше массы Юпитера. Вполне реально, что диаметр этой планеты может быть меньше диаметра Юпитера.

Состав больших облаков Юпитера перестал быть предметом одних только гипотез. Сведения о содержании аммиака и метана в атмосфере и о температуре поверхности Юпитера служат ключами к разрешению этой ранее загадочной проблемы. Температура верхней границы облаков составляет около -123°C — это примерно такая температура, которую и следует ожидать, если поверхность планеты нагревается только Солнцем*). При нормальном атмосферном давлении аммиак закипает при -33° и замерзает при -78°C , а метан закипает при -161°C и замерзает при -184°C . Следовательно, аммиак на Юпитере находится в замерзшем состоянии, в то время как метан в газообразном. Следовательно, облака Юпитера содержат небольшие кристаллы аммиака, находящиеся во взвешенном состоянии подобно тому, как взвешены кристаллы льда в земных облаках. Пары аммиака, которые мы наблюдаем, сублимировались, т. е. испарились, не переходя в жидкое состояние из твердых кристаллов, в противном случае обнаружить аммиак было бы невозможно.

Ранее в этой главе уже отмечалось, что некоторые облака интенсивно окрашены. На фотографиях (см. рис. 106) отчетливо видны изменения оттенков и полутонов некоторых зон и облачных районов. Экваториальная полоса выглядит в синем свете темной, а в красном свете она гораздо менее заметна. По цвету она желтая. Тщательное сравнение этих прекрасных фотографий откроет вам множество оттенков наряду с кирпично-красным оттенком большого Красного Пятна. Вильдт высказал предположение, что облака загрязнены примесями металлических соединений, в частности, соединениями натрия, которые придают иную окраску отражениям от белых кристаллов.

*) По интенсивности инфракрасного излучения Юпитера для него выведена средняя температура -145°C . (Прим. ред.)

Самой труднодоступной для визуальных наблюдений областью Юпитера является, пожалуй, верхний переходный слой между облачной атмосферой и лежащим под ним твердым слоем. Сила притяжения, действующая на верхние слои газа, приводит к быстрому увеличению давления на больших глубинах в атмосфере и делает трудной задачу вычисления уровня, на котором газы и облака образуют твердую основу. Такой газ, как метан, может остаться газообразным даже после сжатия до большей плотности, чем в обычном твердом состоянии, если температура растет с глубиной, что, вероятно, имеет место на Юпитере. Наблюдаемая температура планеты,

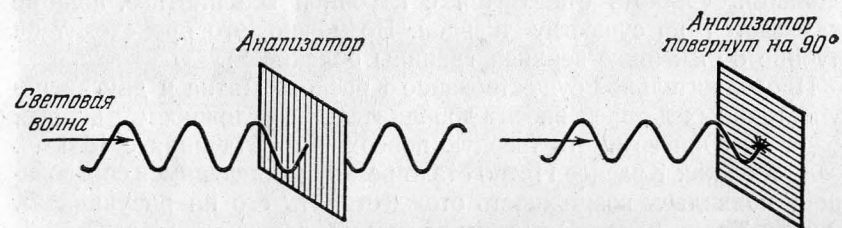


Рис. 109. Поляризация света. Световая волна, плоскость колебаний которой соответствует плоскости анализатора, может пройти через него; если же анализатор повернут на 90° , свет через него не проходит.

в согласии с предположениями, показывает только, что Юпитер испускает не слишком много тепла; по мнению Эпика, он излучает из недр столько же тепла, сколько получает его от Солнца. Таким образом, более глубокие слои могут быть гораздо теплее верхних.

Покойный Лио (Франция) ранее применил к изучению Юпитера и других небесных тел один важный метод; он измерял *поляризацию* их света. Как известно, фотоны или кванты света совершают колебания, причем эти колебания происходят в некоторой плоскости. Специальные поляроидные фильтры обладают свойством пропускать свет, колебания которого совершаются в одной определенной плоскости (рис. 109), и поглощать свет, колебания которого происходят в плоскости, перпендикулярной к первой плоскости. Почти всегда при отражении света от какой-либо поверхности степень отражения зависит от геометрического хода отраженных лучей, от природы поверхности и первоначальной поляризации света. Солнечный свет и свет большинства обычных источников неполяризован; это означает, что световые колебания совершаются беспорядочно во всех плоскостях перпендикулярно к направлению распространения света. Поэтому поляризация рассеянного или отраженного солнечного света зачастую дает нам существенные сведения о природе рассеивающего или отражающего материала. Так, свет неба оказывается сильно поляризованным, каким бывает свет, отраженный при косом падении от какой-либо поверхности и каким может быть солнечный свет, отраженный от шоссе.

Дольфюс (Франция) своими поляризационными измерениями представляет почти неопровержимое доказательство того, что в атмосфере Юпитера содержится нечто вроде тумана из мелких частиц с наибольшей концентрацией в светлых экваториальных зонах и меньшей — над темными поясами, а над полосами этот туман отсутствует.

Возможно также, что никакой четко выраженной границы твердой поверхности вообще не существует, а что на некотором расстоянии ниже уровня облаков газы очень уплотняются, пока не начнется, наконец, толстый слой слякоти (может быть, из частиц твердого аммиака). Слякоть становится с глубиной все плотнее, пока не оказывается по существу твердой. Возможно, это происходит на глубине 80 км ниже верхней границы облаков *).

Продолжительное существование Красного Пятна и других полупостоянных деталей вносит дополнительную сложность в вопрос, может ли Юпитер иметь твердую поверхность. Начиная с 1831 г., после того как Красное Пятно стало резко выделяющимся образованием, появилась возможность отождествлять его на рисунках**). Южное Тропическое Возмущение, менее заметное, чем Красное Пятно, движется несколько неравномерно вдоль экватора Юпитера, совершая один оборот примерно за два года. Оно приближается к Красному Пятну со скоростью несколько километров в час, ускоряя свое движение, догоняет Пятно, затем, по-видимому, на протяжении некоторого расстояния тащится за Пятном. После встречи с Возмущением Пятно как бы относится назад, в то время как Возмущение продолжает двигаться своим путем. Такие движения заставляют отказаться от утверждений, что Южное Тропическое Возмущение и даже Красное Пятно обусловлены непрерывной вулканической деятельностью. С другой стороны, трудно указать источник иного рода для таких странных постоянно существующих облаков. Пик считает Пятно каким-то твердым телом необычного типа, обладающим свойством плавучести или по меньшей мере некоторой массой, обладающей отчетливо выраженными твердыми ядрами.

Относительные движения аналогичного типа видны на фотографиях рис. 110. Небольшое белое пятно к северу от экватора Юпитера наступает на темное пятно, находящееся немного южнее экватора (вверху и слева). Продвижение за три недели между первой и второй фотографиями весьма значительно. На рис. 105 можно видеть относительное движение со скоростью около 1300 км в сутки Красного Пятна и более темных пятен близ него. Небольшой разрыв во вре-

*) Современные модели внутреннего строения Юпитера дают глубину газообразной атмосферы не менее 1000 км, но не более 20 000 км. (Прим. ред.)

***) Впервые наблюдатели обратили внимание на Красное Пятно в 1878 г., когда оно выглядело особенно резким и темным. Потом, анализируя старые наблюдения, астрономы нашли Красное Пятно и на более старых рисунках (вплоть до 17 в.). (Прим. ред.)

мени между снимками и менее резко выраженный характер малых пятен затрудняют обнаружение этих движений на репродукциях.

На протяжении периодов, измеряемых годами, детали поверхности Юпитера полностью изменяются, за исключением постоянно присутствующего Красного Пятна (рис. 111) и расположения основных полос.

Радиоастрономия не только сообщила ряд новых замечательных сведений о Юпитере, но и подняла несколько интересных вопросов.

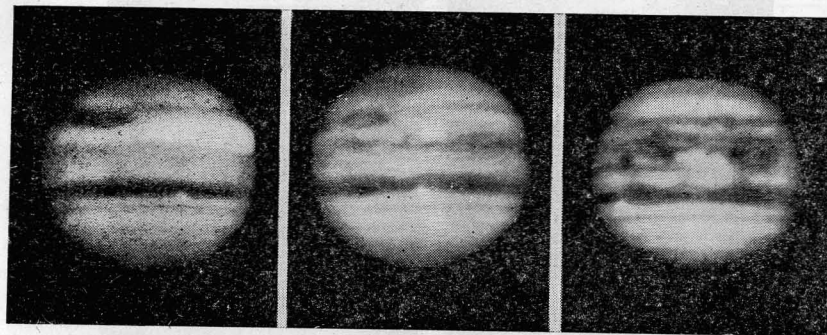


Рис. 110. Быстрые изменения на Юпитере. Эти фотографии были получены (слева направо) 14 сентября, 6 октября и 30 ноября 1928 г. Обратите внимание на относительное движение небольшого белого пятна, находящегося чуть ниже экватора. (Фотографии сделаны Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

В 1959 г. Берк и Франклин (институт Карнеги в Вашингтоне), изучая радиозвезды с антенной, настроенной на волну 13,5 м, открыли, что Юпитер тоже является источником радиоизлучения, испускающим радиосумы через полуправильные интервалы. Затем Шейн (Австралия) предпринял поиски более старых записей радиоизлучения Юпитера. Просмотрев регистрограммы до 1951 г., он обнаружил, что радиоизлучение в основном, по-видимому, связано с определенной областью поверхности Юпитера (рис. 112). Даже несмотря на то, что радиоизлучение наблюдается не при каждом следующем обороте Юпитера, некоторые области все же излучают радиоволны систематически; это указывает на то, что источник вращается как твердое тело с довольно постоянным периодом — 9 час. 55 мин. 29 сек. Следовательно, мы имеем явное доказательство того, что Юпитер все же вращается как твердое тело и что наблюдаемые нами на поверхности облака представляют собой систематические движения атмосферы, подобные нашим пассатам.

Грандиозные всплески радиоизлучения Юпитера, по своей энергии соответствующие миллиарду одновременных вспышек молнии на Земле, по-видимому, представляют собой очень кратковременные явления, продолжающиеся малые доли секунды. Вряд ли они

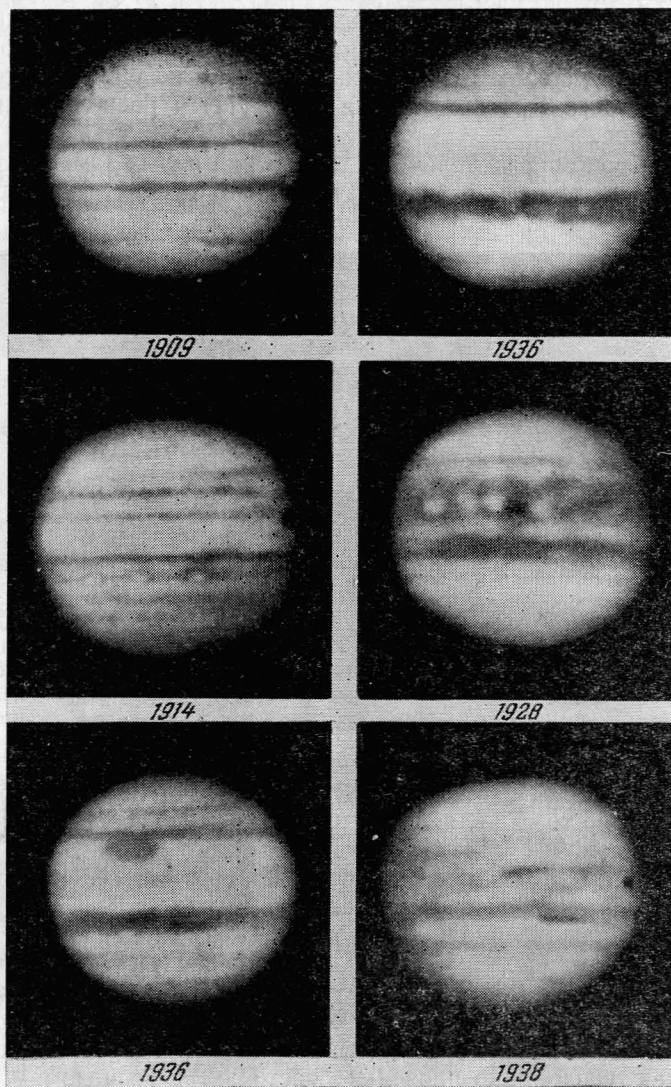


Рис. 111. Медленные изменения на Юпитере. Годы, когда были сделаны снимки, указаны на рисунке. На фотографиях 1914 и 1938 гг. видны тени спутников. (Фотографии сделаны Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

когда-либо наблюдались вне диапазона длин волн 10—20 м, хотя на более длинных волнах их интенсивность начинает сильно ослабляться ионосферой *).

В микроволновом диапазоне (длины волн около 1 см) температура Юпитера очень близка к ее значению, ожидаемому из инфракрасных измерений, но с увеличением длины волны вычисленная эффективная температура резко возрастает. Этот факт означает, что

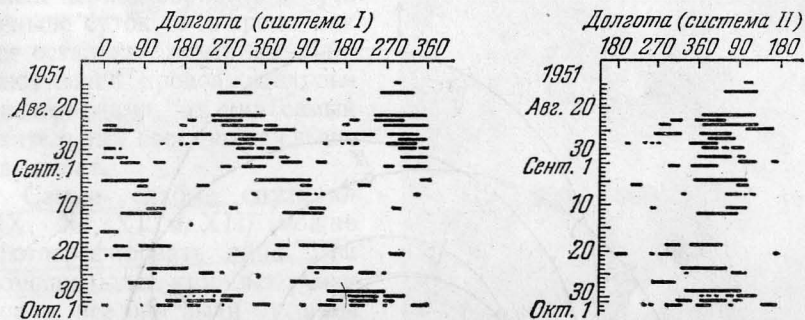


Рис. 112. Всплески радиоизлучения Юпитера в 1951 г. по данным Шейна. Левый график дает искаженную картину долготного распределения всплесков, поскольку для периода вращения источников всплесков был принят период вращения видимой поверхности планеты (система I). Справа — график, исправленный в предположении, что источники всплесков вращаются синхронно с твердым (?) ядром планеты.

дециметровое радиоизлучение Юпитера не является тепловым. Характеристики его показывают, что оно генерируется электронами больших энергий, движущимися в магнитном поле. Юпитер подобно Земле имеет магнитное поле и радиационный пояс, в котором непрерывно происходит возбуждение радиоизлучения на очень высоких частотах. Весьма возможно, что магнитное поле вокруг Юпитера примерно в 10 раз сильнее поля Земли и что магнитная ось подобно оси Земли наклонена на значительный угол, может быть, на 10° , к оси вращения планеты. Этим, возможно, частично объясняется полупериодический характер радиовсплесков на длинных волнах. В отношении природы радиовсплесков вопрос пока еще не ясен, но существование радиационных поясов, по-видимому, установлено надежно. Нет ничего удивительного в том, что Юпитер с его быстрым вращением, вероятно, обладает сильным магнитным полем, которое порождает то же самое явление, которое мы наблюдаем вблизи Земли, но в гораздо более грандиозном масштабе.

*) В настоящее время спорадическое, т. е. состоящее из отдельных всплесков, радиоизлучение Юпитера наблюдается в диапазоне от 7,5 до 60 м. Это так называемый дециметровый диапазон. Два других вида радиоизлучения Юпитера — это тепловое на волнах короче 3 см и спокойное (не изменяющееся по интенсивности сильно во времени) нетепловое излучение в дециметровом диапазоне. (Прим. ред.)

Спутники Юпитера

В нашей солнечной системе семейство спутников Юпитера — самое многочисленное и на их изучение можно было бы запросто потратить всю жизнь. Здесь воспроизведены все динамические проблемы солнечной системы в целом, но в миниатюрном масштабе

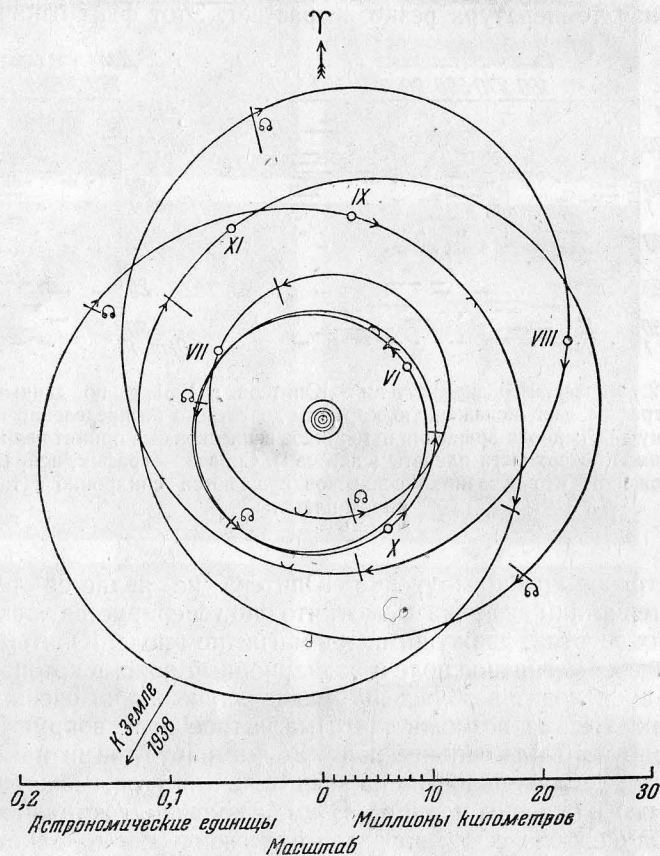


Рис. 113. Орбиты спутников Юпитера. Четыре галилеевых спутника и спутник I движутся по небольшим центральным орбитам. Стрелками показаны направления движения. Дуги малых кругов отображают пересечения орбитальных плоскостей с плоскостью эклиптики. Истинные орбиты не пересекаются благодаря разным наклонениям. (Схема построена Никольсоном.)

(рис. 113). Из 12 открытых до сих пор спутников четыре самых крупных превосходят по своему блеску следующий за ними в тысячу раз, а самый слабый — в сто тысяч раз. Так как Галилей наблюдал четыре спутника Юпитера в январе 1610 г., вскоре после того, как он

построил свой первый телескоп, их называют галилеевыми спутниками. Они движутся по небольшим орбитам, наименьшая из которых равна орбите Луны, а наибольшая превышает ее в пять раз. Однако, так как масса Юпитера огромна, периоды обращения этих спутников гораздо короче периода обращения Луны, они составляют от 1 до 16 суток. Среди более слабых спутников пятый спутник, открытый в 1892 г. Барнардом, имеет период обращения чуть меньше суток, в то время как все остальные спутники обладают более продолжительными периодами, из них самый длительный составляет свыше двух лет.

Самые слабые спутники (IX, X, XI и XII) можно сфотографировать лишь при помощи более крупных телескопов; все они были открыты Никольсоном на обсерватории Маунт Вилсон. Два спутника видны на рис. 114, как едва различимые белые пятнышки. Так как спутники перемещаются на фоне неба и так как для их фотографирования необходимы большие экспозиции, телескоп должен следовать за спутниками, поэтому на фотопластинке изображения звезд прочерчивают следы.



С. В. Никольсон, открывший четыре самых слабых спутника Юпитера.

Восьмой, девятый, одиннадцатый и двенадцатый спутники представляют особый интерес, так как они, будучи самыми далекими спутниками, отстоящими от Юпитера примерно на 22 500 000 км, движутся по орбитам попятно, т. е. в направлении, противоположном направлению движения всех остальных тел солнечной системы (за исключением комет), находящихся в пределах орбиты Юпитера. Сам Юпитер вращается в плоскости своей орбиты, которая практически совпадает с плоскостью орбиты Земли. Это отклонение четырех спутников от общего правила дает некоторый материал для размышлений. Было высказано предположение, что когда-то эти спутники были астероидами, которые случайно оказались как раз в таком положении вблизи Юпитера, что были захвачены в плен притяжением этой громадной планеты. Теоретическая устойчивость их современных орбит является своего рода мерилom случайности такого захвата. Правда, восьмой спутник (попятный) движется

настолько далеко от Юпитера, что временами его положение оказывается очень непрочным вследствие притяжения со стороны Солнца, однако попятное движение всех четырех спутников, по-видимому, также является своего рода гарантией от таких потерь в системе

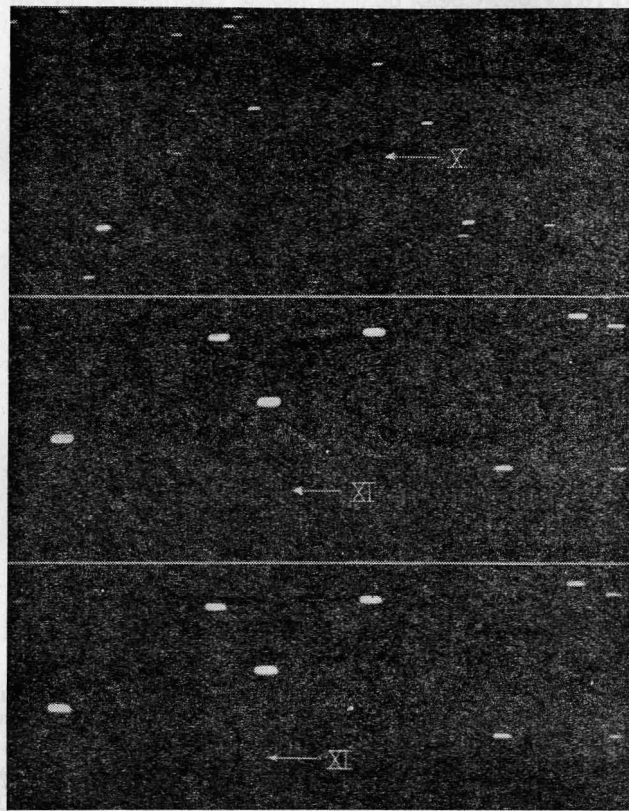


Рис. 114. X и XI спутники Юпитера, сфотографированные открывшим их Никольсоном.

спутников Юпитера. Вопрос об астероидном происхождении его внешних спутников остается все еще спорным.

Два внутренних галилеевых спутника, Ио и Европа, по своим размерам, массе и плотности сходны с Луной; подобно Луне они должны состоять в основном из скальных пород. Два внешних галилеевых спутника, Ганимед и Каллисто, значительно больше Луны, обладают несколько большими массами, а их средние плотности примерно вдвое меньше плотности воды. Они могут состоять из тех же веществ, из которых состоят внешние слои Юпитера, возможно,

из аммиака и воды, находящихся в замерзшем состоянии, а также из каменных пород. К сожалению, плотность остальных спутников Юпитера определить невозможно. Весьма любопытно, однако, что два внутренних галилеевых спутника, по-видимому, очень похожи на Луну, тогда как в составе двух внешних спутников, вероятно, имеется значительная доля более легких веществ. Эти факты, несомненно, должны послужить своего рода ключом к открытию происхождения не только спутников, но и самого Юпитера.

Но в одном отношении все четыре галилеевых спутника отличаются от Луны — они гораздо лучше отражают свет, их альбедо составляет от 0,54 для Ио до 0,15 для Каллисто. Поэтому по своему характеру их поверхности должны быть совершенно не похожи на поверхность Луны; поверхности спутников хотя бы частично покрыты льдом H_2O , а также другими замерзшими газами, которые давно испарились бы с поверхности Луны вследствие ее близости к Солнцу*). О более слабых спутниках Юпитера известно очень немного; известно лишь, что они очень малы — диаметры самых далеких составляют всего несколько километров.

Галилеевы спутники позволили сделать один большой вклад в физику. Когда Рёмер (датский астроном; 1644—1710) наблюдал затмения этих спутников Юпитером, он обнаружил, что интервалы времени между затмениями в тех случаях, когда Земля удалялась от Юпитера, были больше, чем когда Земля приближалась к Юпитеру. В 1675 г. Рёмер пришел к выводу, что видимые изменения периодов обусловлены *конечной* величиной скорости света; до этого полагали, что свет распространяется мгновенно. Когда Земля удаляется от Юпитера, свет должен пройти значительно больший путь за время между затмениями, тогда как при приближении Земли к Юпитеру путь соответственно сокращается. Рёмер изобрел несколько важнейших инструментов, используемых в астрометрии. К сожалению, большой вклад Рёмера в развитие астрономии был слабо оценен его современниками, да и ныне вспоминают лишь о данном им доказательстве конечной величины скорости света.

*) В инфракрасном спектре Европы и Ганимеда наблюдаются особенности, сходные с полосами поглощения иода. Этот результат был независимо получен В. И. Морозом в СССР и Койпером в США. (Прим. ред.)

Другие планеты-гиганты — Сатурн, Уран и Нептун

Сатурн

Среди бесчисленного множества небесных объектов, которые можно видеть в телескоп, самым красивым, вероятно, является планета Сатурн. Если смотреть вечером, в сумерки, когда небо еще светлое, то золотисто-желтый шар планеты и ее неправдоподобно

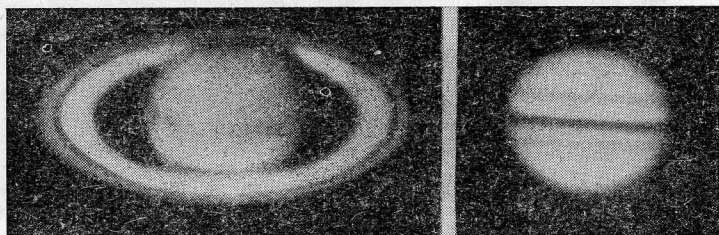


Рис. 115. Кольца Сатурна при рассмотрении их «с ребра» исчезают. Слева кольца почти в максимуме видимости в 1915 г. Справа кольца, видимые «с ребра», в 1921 г. См. рис. 117. (Фотографии сделаны Слайфером.)

прекрасные кольца, мерцающие в яркой синеве, кажутся скорее редким произведением искусства, чем явлением природы. Чуть заметные на поверхности Сатурна полосы, более однородные, чем полосы Юпитера, параллельны большим кольцам; лишь от случая к случаю удастся различить отдельные детали, которые позволяют

обнаружить быстрое вращение этого гигантского шара. Яркость постепенно падает от центра к размытому краю диска планеты, а внешний край колец кажется растворяющимся в небе.

Там, где кольца Сатурна пересекают диск, видно, что их самый внутренний край ограничен туманной темной полосой (рис. 115). Это «креповое кольцо» легче всего различить по его слабой тени на диске планеты. Внешние кольца также отбрасывают тени на поверхность Сатурна, а он в свою очередь полностью загораживает большие участки колец. Полярные области планеты в направлении, перпендикулярном к плоскости колец, темнее других краев диска, и при наблюдении их в хороших атмосферных условиях имеют чуть зеленоватый оттенок. Нетрудно обнаружить три большие части, на которые

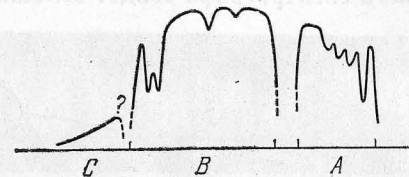


Рис. 116. Распределение яркости в кольцах Сатурна по измерениям Дольфюса.

разделены кольца: ярко сверкающее среднее кольцо (B), более слабое наружное кольцо (A) и едва светящееся креповое или внутреннее кольцо. Два внешних кольца разделены узкими темными провалами (рис. 116), подобными щели Кассини, которая разделяет кольца A и B (это название дано в честь первого директора Парижской обсерватории Кассини, 1625—1712); эти щели доступны наблюдениям лишь при идеальных атмосферных условиях. Вообще, за исключением темных разделов, концентрических по отношению к планете, наблюдателям не удастся обнаружить каких-либо хотя бы самых мельчайших неправильностей формы или разрывов в кольцах.

Кольца Сатурна лежат точно в плоскости экватора планеты, который наклонен примерно на 28° к плоскости земной орбиты. Так как плоскость колец при движении Сатурна вокруг Солнца остается неизменной, то в течение одного обращения можно увидеть кольца сверху (север), снизу (юг) и дважды «с ребра» (рис. 117). Когда угол наклона по отношению к земному наблюдателю наибольший, кольца отражают почти вдвое больше солнечного света, чем сам Сатурн, но если кольца повернуты к нам ребром, они на некоторое время вообще как бы исчезают (рис. 115). Следовательно, толщина колец очень мала.

Мы знаем, что эти кольца состоят из отдельных обломков, каждый из которых движется по своей собственной орбите вокруг Сатурна согласно закону всемирного тяготения Ньютона. Неопровержимое доказательство этого факта является блестящим примером дальнейшего прогресса науки, явившегося следствием сочетания физической теории со специальными методами наблюдений. В качестве прибора был использован опять-таки спектрограф, из теории были взяты законы физической оптики и тяготения. Наблюдения доказывают, что в любой зоне колец движение происходит именно с

той скоростью, которую следует ожидать, если кольцо состоит из частиц, движущихся по круговым орбитам.

В предыдущей главе мы видели, как можно использовать спектрограф для отождествления газа по его спектральным линиям, т. е. по тем длинам волн, которые вычитаются из света, прошедшего через исследуемый газ. Если газ приближается к нам или мы приближаемся к газу, то за тот же самый промежуток времени в щель нашего спектрографа войдет больше волн, чем в том случае, когда мы

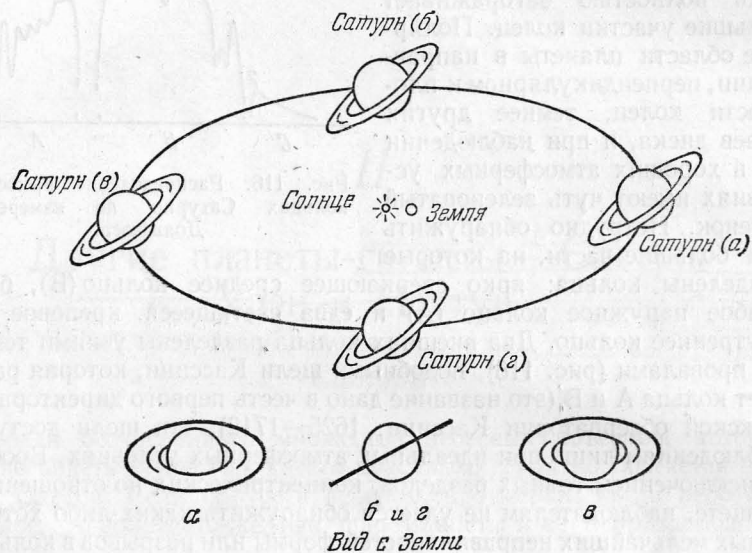


Рис. 117. Изменения вида колец Сатурна при наблюдениях с Земли. Положения *а* и *б* соответствуют левой и правой фотографам на рис. 115.

находимся в относительном покое. Вследствие этого волны кажутся более близкими друг к другу; в результате при измерениях все длины волн окажутся короче, чем раньше. Так как длины волн убывают по направлению к фиолетовому концу спектра, то в рассматриваемом случае все темные линии поглощения оказываются сдвинутыми к фиолетовому концу спектра. Величина этого сдвига пропорциональна скорости приближения. Если мы удаляемся от источника света, волны кажутся как бы отодвинувшимися друг от друга, т. е. их длина становится больше, и темные линии смещаются к красному концу спектра. Это явление известно под названием эффекта Доплера — Физо. В акустике аналогичный эффект Доплера проявляется в понижении тона гудка поезда, когда он уходит от нас.

Измерения длин волн линий в солнечном спектре можно сделать по спектрограммам Солнца, а затем также по спектрограммам

солнечного света, отраженного от планеты, спутника или какого-то другого объекта в солнечной системе. Обнаруженные при этом сдвиги длин волн будут в данном случае мерой суммы скоростей этого объекта относительно Солнца и Земли.

Если отраженный от колец Сатурна солнечный свет сфокусирован на щель спектрографа, движение по лучу зрения можно точно измерить в километрах в секунду. Наклоны линий на спектрах

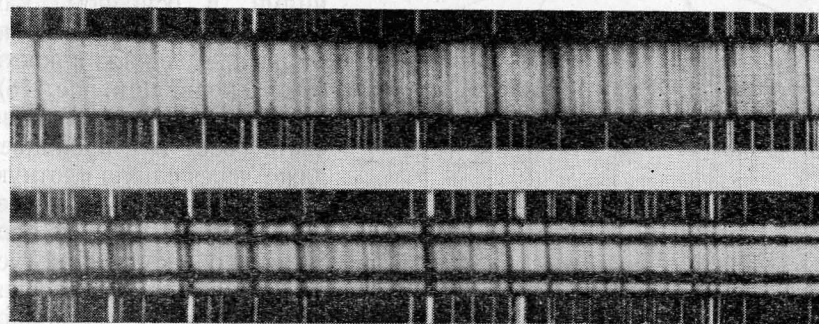


Рис. 118. Спектрограммы Юпитера и Сатурна с кольцами. Обратите внимание на наклон линий в спектре Юпитера (вверху) по отношению к ярким линиям в спектре сравнения, впечатанном выше и ниже (электрическая дуга). Наклон указывает на наличие дифференциальной лучевой скорости на диске Юпитера и, следовательно, на его быстрое вращение. Сравните спектр Сатурна и его колец со схемой Килера на рис. 119. (спектрограммы Слайфера).

рис. 118 указывают на наличие смещений длин волн, что может служить доказательством вращения Юпитера и Сатурна. Обратите внимание на обратный наклон линий у колец Сатурна по сравнению с линиями, соответствующими диску. В каждой точке колец измеренная скорость точно согласуется со скоростью, которую имел бы спутник, если бы он двигался по соответствующей круговой орбите; скорость тем меньше, чем больше расстояние от центра планеты. Законы движения Кеплера выполняются точно; внутренние части колец вращаются быстрее их внешних частей. Если бы кольца были сплошными и твердыми, их внешние края вращались бы быстрее внутренних. Это экспериментальное доказательство разрывности структуры колец Сатурна было представлено в 1895 г. Килером (1857—1900) на обсерватории Аллегени. Вычерченная Килером схема сдвигов спектральных линий представлена на рис. 119.

На протяжении свыше трехсот лет вопрос о подлинной природе и строении колец Сатурна был одной из основных астрономических проблем. В редких случаях кольца пересекают луч зрения, направленный на какую-нибудь звезду; время от времени позади колец

проходят спутники и изредка мы можем видеть, как на некоторые спутники падает тень от колец. Когда звезды оказываются заслоненными самой плотной частью кольца В, они исчезают, а попадая в щель Кассини, вновь вспыхивают, обретая почти нормальный

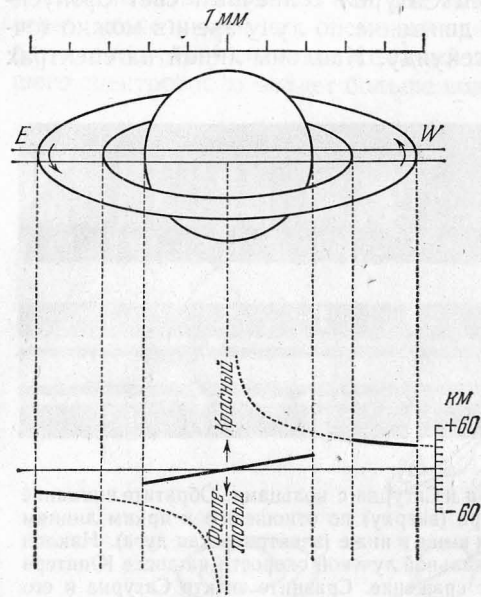


Рис. 119. Вращение Сатурна и его колец. Схематическое объяснение вида спектра дано на рис. 118. Обратите внимание на наклон линий, из которого видно, что внешние края колец движутся медленнее внутренних. Шкала справа соответствует лучевым скоростям, выраженным в километрах в секунду. (Схема Килера, Йеркская обсерватория.)

или инеем. Однако небольшое покраснение, наблюдаемое в окраске колец, наводит на мысль о том, что лед чем-то загрязнен.

Яркость колец очень заметно повышается, когда они наблюдаются почти точно в противостоянии с Солнцем. Франклин считает, что на последнем шаге к противостоянию яркость колец увеличивается больше, чем на 30%. В 1887 г. Зеелигер (1849—1924) высказал предположение, что входящие в состав колец многие небольшие частицы отбрасывают друг на друга тень, поэтому лишь в противостоянии нам удастся увидеть полностью освещенную поверхность частиц непосредственно, без заметного влияния теневого эффекта. Это явление подобно *нимбу*, т. е. венцу, который появляется вокруг тени чьей-нибудь головы на покрытой росой траве ранним утром (см. рис. 120). Когда мы смотрим на всю эту сплетающуюся и перепутывающуюся растительность почти в том же направле-

нии, в котором падают солнечные лучи, нам удастся увидеть свет, прямо отраженный от поверхности всех растений. Если же солнечный свет падает на растения под значительным углом к лучу зрения, то в глаз наблюдателя он попадает не после прямого отражения, а несколько иным путем, вследствие чего свет тускнеет. По этой же причине наблюдателю, находящемуся на высоко летящем самолете, тень самолета, падающая на землю, кажется ярким пятном, а когда внизу вода, тень превращается в темный кружок.

нии, в котором падают солнечные лучи, нам удастся увидеть свет, прямо отраженный от поверхности всех растений. Если же солнечный свет падает на растения под значительным углом к лучу зрения, то в глаз наблюдателя он попадает не после прямого отражения, а несколько иным путем, вследствие чего свет тускнеет. По этой же причине наблюдателю, находящемуся на высоко летящем самолете, тень самолета, падающая на землю, кажется ярким пятном, а когда внизу вода, тень превращается в темный кружок.

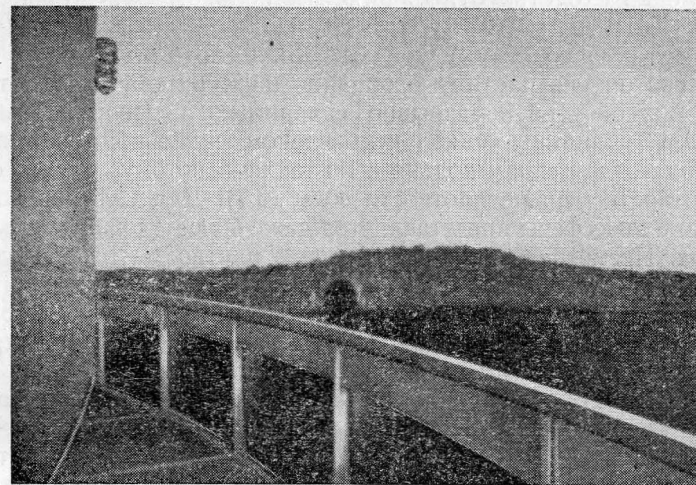


Рис. 120. Эффект венца. Фотография сделана Уильямом Синтоном с купола 5-метрового рефлектора. Посмотрите на гень купола, и вы заметите, как быстро падает яркость леса с удалением от края купола.

Недавно Франклин и Кук на основе более совершенной фотометрии колец Сатурна развили для их объяснения новую теорию. Франклин и Кук пришли к выводу, что кольца состоят из весьма небольших частиц диаметром в сотни и тысячи доли сантиметра, обладающих шероховатой поверхностью, которую создают кристаллы инея размерами порядка $\frac{1}{1250}$ см. По мнению этих ученых, в самой плотной части кольца В частицы заполняют 0,5% объема, а в кольце А — примерно третью часть этой величины. Франклин и Кук приходят к заключению, что толщина колец измеряется каким-нибудь десятком сантиметров! Однако мы пока еще не можем принять эту теорию как окончательную, так как, если кристаллическая структура поверхности колец представляет собой переплетенный комплекс — нечто вроде клубка ниток, то не исключено, что подобные эффекты рассеяния создаются в более крупных «грязных снежках». Поскольку нам неизвестно, как происходит процесс

конденсации при тех низких температурах и давлении, которые характерны для окрестностей Сатурна, мы не должны исключать и такую возможность. Но в любом случае сомнительно, чтобы этот особый материал в кольцах сохранял неизменным свою структуру. Весьма возможно, что материал колец находится в состоянии постоянного движения, так как лед и другие материалы сублимируются и замещаются новым материалом, захваченным из межпланетной среды, в то время как старый материал теряется под действием турбулентности, газового давления и возмущений. Обратите внимание на сходство относящихся к кольцам Сатурна и лунной поверхности (гл. 9) проблем, связанных как с оптическими данными, так и со структурой объекта, несмотря на то, что один объект состоит из частиц, свободно движущихся в пространстве, а другой — из неразрывно связанных с поверхностью.

Сатурн является уникальным членом солнечной системы не только благодаря своим кольцам, но также и потому, что его средняя плотность меньше плотности воды (0,7)! Для Сатурна вопрос о толщине атмосферы представляется даже более сложным, чем для Юпитера. Несмотря на низкую среднюю плотность, распределение материи для Сатурна очень похоже на распределение для Юпитера, характеризующееся сильной концентрацией к центру. Мерилон концентрацией является период осевого вращения, который для Сатурна составляет всего $10\frac{1}{4}$ часа, и сжатие на полюсах, равное 10%. Вычисляя модель внутреннего строения Сатурна, де Маркус нашел, что в составе Сатурна водорода (больше 63%) гораздо меньше, чем в составе Юпитера, несмотря на то, что средняя плотность Сатурна крайне низка. Так как масса Сатурна меньше массы Юпитера примерно в три раза, она не порождает такого громадного сжатия водорода, как у Юпитера; но, следовательно, чтобы как-то оправдать даже столь низкую среднюю плотность, необходимо допустить существование несколько большего, чем у Юпитера, ядра из тяжелых материалов. Однако давление в центре Сатурна все же составляет свыше 50 млн. атм.

Спектрограф показывает, что в атмосфере Сатурна содержится больше метана и гораздо меньше аммиака, чем в атмосфере Юпитера (см. рис. 108). Так как Сатурн гораздо холоднее (-180°C) Юпитера, то можно думать, что из его атмосферы вымерзло больше аммиака и что отраженный солнечный свет проникает глубже в слой метана. Более низкой температурой можно объяснить также более плавные изменения облачных образований и менее сложную структуру деталей, чем на Юпитере. Мюнч и Спинрад (обсерватории Маунт Вилсон и Маунт Паломар) недавно нашли прямое спектроскопическое подтверждение наличия большого количества молекулярного водорода в атмосфере Сатурна и сделали отсюда вывод, что атмосфера состоит главным образом из водорода и гелия.

Иногда в атмосфере Сатурна наблюдаются возмущения грандиозных масштабов. На фотографии рис. 121 (слева) выделяется боль-

шое белое пятно 1933 г.; на второй фотографии (справа), сделанной через год, пятно исчезает; вместо него появляется белая экваториальная полоса. За тот же период времени совершенно изменился и вид северного (нижнего) полушария. Сходство явлений в атмосферах



Рис. 121. Большое белое пятно на Сатурне в августе 1933 г. (слева). Белая экваториальная полоса в сентябре 1934 г. (справа). (Фотографировано Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

Сатурна и Юпитера гораздо удивительнее, чем их различия; последние больше проявляются в интенсивности явления, чем в их типовом отличии. Этот вывод справедлив также в отношении окраски этих двух планет, если не считать появляющегося иногда зеленоватого оттенка у полярных областей Сатурна.

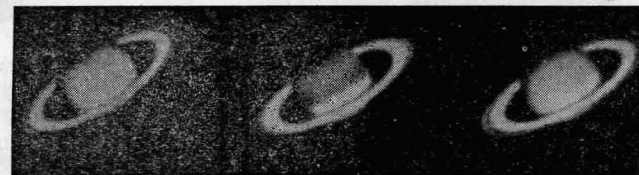


Рис. 122. Фотографии Сатурна в различных цветах: слева — в красном, в центре — в синем, справа — в желто-зеленом. (Фотографировано Слайфером в 1940 г. при использовании различных фильтров и светочувствительных эмульсий.)

Рис. 122 показывает, как выглядит Сатурн в различных спектральных цветах. Белые кольца представляют готовый стандарт для суждения о цветовых оттенках на диске. Так как яркость экваториального пояса соответствует яркости колец, он должен быть почти белым. Следующая за ним полоса в южном (верхнем) полушарии выглядит очень темной на снимке в синих лучах, но очень яркой в красных лучах и довольно интенсивной в желто-зеленых лучах. Поэтому она должна быть оранжево-желтого цвета и чуть краснее, чем область над ней. Зеленоватый оттенок в полярной области предполагается по сравнительному полярному сжатию

во всех трех цветах. Согласно многолетним наблюдениям оттенки цвета на диске Сатурна сильно изменяются. Основываясь на наблюдениях пятен, Робинсон считает, что Сатурн, подобно Юпитеру, по-видимому, имеет большую скорость вращения на экваторе, чем в высоких широтах. Период вращения равен 10 час. 13,6 мин. на экваторе и 10 час. 40,1 мин. на широте 60° . Мы все еще не знаем, твердые

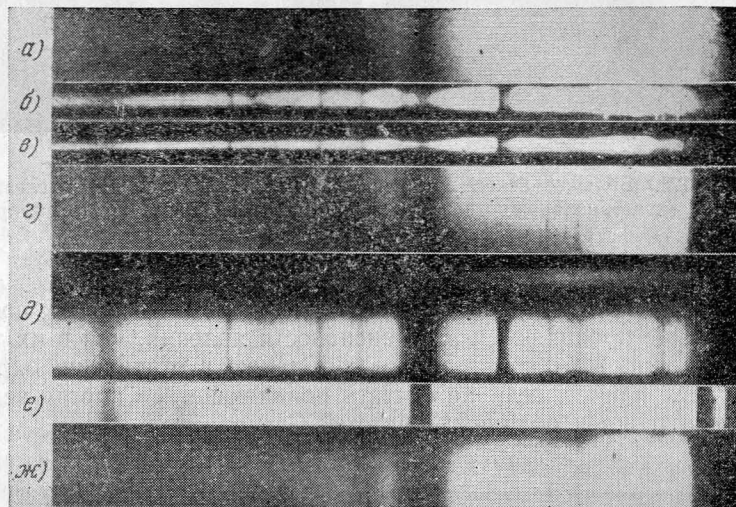


Рис. 123. Спектры а, е, ж — аммиак; б, в — Титан; д — Сатурн. (Фотографии сделаны Койпером, Йеркская обсерватория.)

ли у Сатурна недр. Такого заметного статического нетеплового радиоизлучения, как у Юпитера в дециметровом диапазоне, у Сатурна не обнаружено. Наблюдения теплового радиоизлучения указывают на низкую температуру, близкую по значению к температуре, полученной из инфракрасных измерений.

Из девяти спутников Сатурна шестой, Титан, является в солнечной системе уникальным. У него есть атмосфера! Зимой 1943—1944 гг. Койпер на обсерватории Мак-Дональд в Техасе сфотографировал полосы метана в спектре Титана (рис. 123) и нашел, что в его атмосфере вдвое меньше метана, чем в атмосферах Юпитера и Сатурна. Так как Титан лишь немного меньше Ганимеда, входящего в систему Юпитера (диаметр его 4800 км, диаметр Ганимеда 5020 км), мы вправе спросить, почему, если у Титана есть атмосфера, ее нет у Ганимеда? Скорость убегания не благоприятствует Титану, составляя 2,77 км/сек по сравнению с 2,9 км/сек для Ганимеда и 2,41 км/сек для Луны. Фундаментальное отличие кроется в более низкой температуре Титана, который отстоит примерно вдвое дальше от Солнца, чем Ганимед. Принимая во внимание скорость убегания и

температуру как функцию альбедо, Койпер находит, что Титан обладает несколько меньшей способностью к удержанию атмосферы, чем Марс, но большей, чем Ганимед, и что граница раздела проходит между Титаном и Ганимедом. Койпер указывает, что если бы температура Титана поднялась до -73°C , он утратил бы свою метановую атмосферу. Таким образом, существование Титана с его атмосферой предоставляет нам еще один интересный и, возможно, важный ключ к окончательному решению проблемы, каким образом все-таки появились на свете спутники и планеты.

Восьмой спутник Сатурна, Япет, по размерам гораздо меньше Луны и интересен благодаря своей необычной поверхности. Он, подобно некоторым другим спутникам, вращаясь, всегда обращен к Сатурну одной и той же стороной, но во время вращения Япета яркость его меняется в шесть раз. Следовательно, одна его сторона отражает свет в шесть раз лучше другой, а структура поверхности этих двух сторон должна быть весьма различной. Мы можем предположить, что форма Япета оказалась искаженной в результате столкновения с каким-нибудь странствующим членом солнечной системы, или что он мог частично обесцветиться под действием выброшенных Сатурном газов на ранней стадии его эволюции или же что Япет, возможно, имеет поразительно неоднородный состав.

Девятый и самый далекий из спутников Сатурна, Феба, движется обратным движением по орбите, радиус которой около 13 млн. км. Когда Феба была открыта в 1898 г. Пиккерингом, это был единственный случай обратного движения среди спутников, но претензии Фебы на уникальность были позднее сведены на нет открытием четырех спутников Юпитера, которые также имеют обратное движение. Все спутники системы Сатурна похожи друг на друга по размерам и по блеску; самый слабый и позднее других открытый спутник, все та же Феба, примерно в пятьдесят раз ярче самого слабого спутника в системе Юпитера. Поскольку у Юпитера так много спутников, то кажется довольно странным, что более слабые члены не были открыты и в системе Сатурна*).

Пять спутников Сатурна, для которых можно определить плотность и массу, имеют относительно низкие плотности; у них у всех плотность в 2,4 раза меньше плотности воды. В составе каждого из них должно быть много льда, замороженного аммиака и других легких веществ в смеси с каменистым или тяжелым материалом.

Уран и Нептун

Эти две планеты, похожие друг на друга как близнецы, являются гигантскими планетами, движущимися в самых отдаленных областях солнечной системы. Их диаметры примерно в четыре раза

* См. примечание на стр. 17. Десятый спутник Сатурна Янус имеет период обращения около 18 час. Диаметр его орбиты 315 000 км. (Прим. перев.).

больше диаметра Земли; диаметр Урана на несколько сотен километров больше диаметра Нептуна, хотя результаты измерений не совсем надежны вследствие размытости видимых краев диска. Зато Нептун более массивен; его масса в 17,6 раза больше массы Земли, тогда как масса Урана составляет всего 14,3 массы Земли.

Хотя разглядеть какие-либо детали на поверхности Нептуна очень трудно (рис. 124) (возможно, это объясняется большим расстоянием), а на Уране видны лишь слабо выраженные пояса,—



Рис. 124. Пятна на поверхности Нептуна; рисунки Дольфюса, составленные им по зарисовкам Нептуна тремя наблюдателями в 1948 г. Экваториальные полосы не обнаружены.

эти планеты, конечно, окутаны атмосферами, похожими на атмосферы Юпитера и Сатурна. Планеты имеют высокие значения альбедо, а в спектрах видны полосы поглощения метана, аналогичные наблюдаемым у Юпитера и Сатурна, но более интенсивные. Посмотрите на последовательность спектров на рис. 108. Поглощение желтого и красного света парами метана для Урана и Нептуна настолько велико, что планеты при прямых наблюдениях имеют зеленоватый цвет; зеленоватая окраска Нептуна интенсивнее, чем Урана. На спектрограммах нет прямых подтверждений наличия аммиака, но водород присутствует.

Отсутствие газообразного аммиака и обилие метана легко объяснимы большой удаленностью этих планет от Солнца и, следовательно, соответствующим уменьшением количества солнечного тепла, падающего на поверхности планет. Действительно, на Уране солнечный свет настолько слаб, что температура поверхности этой планеты -210°C , а температура Нептуна, по-видимому, ниже еще более чем на 10° . Значения температуры на этих далеких планетах настолько предельно низки, что при помощи лабораторных методов их удается воспроизводить лишь в очень небольших масштабах.

Усиление полос поглощения метана и ослабление полос поглощения аммиака при переходе от Юпитера к Нептуну (см. опять-таки рис. 108), безусловно, связаны с понижением температуры. При понижении температуры давление паров аммиака падает очень

быстро, поэтому в атмосфере Нептуна может остаться очень немного аммиака в газообразном состоянии. Более того, при понижении температуры из газообразной водородной среды должно оседать больше кристаллов аммиака, что приводит к уменьшению количества облаков и полос, столь заметных на Юпитере. Точно так же недра этих более удаленных и несколько меньших планет, вероятно, холоднее. Поэтому такие проявления внутренних извержений или возмущений, как Красное Пятно Юпитера, становятся все менее и менее заметными при переходе к Сатурну, затем Урану и, наконец, к Нептуну. Вариации цвета на поверхности планет также становятся менее разнообразными и на Нептуне уже не наблюдаются. Увеличение поглощения метана с понижением температуры, возможно, обусловлено более глубоким проникновением солнечного света в атмосферу, менее заполненную облаками, при этом отраженный свет проходит через более толстый слой метана.

Так как детали на поверхности Урана наблюдать трудно, а на поверхности Нептуна их вообще не видно, периоды вращения этих близнецов-гигантов приходится определять косвенными методами. В 1912 г. Лоуэлл и Слайфер впервые для измерения скорости вращения Урана воспользовались спектрографом. Они нашли, что спектральные линии на краях диска планеты смещены на величину, соответствующую скорости порядка $16,8 \text{ км/сек}$. Зная окружность планеты, они определили, что период вращения Урана составляет $10\frac{3}{4}$ часа. Через три года Кэмпбелл (1881—1951) на Гарвардской обсерватории наблюдал периодические колебания блеска Урана и подтвердил значение периода, определенное спектральным методом.

Огромное расстояние, отделяющее нас от Нептуна, уменьшает размеры и блеск его видимого диска до такой степени, что получить спектрограммы Нептуна очень трудно. На Ликской обсерватории Мур (1878—1949) и Мензел получили для периода вращения Нептуна значение 15,8 часа, в точности равное удвоенному периоду слабых колебаний его блеска. Очевидно, когда измерялись колебания блеска, Нептун обладал какими-то неровностями на противоположных сторонах поверхности.

Итак, как Уран, так и Нептун вращаются очень быстро. Они также сплюснуты у полюсов. Вычисления на основе этих данных показывают, что и Уран, и Нептун уплотняются к центру подобно Юпитеру и Сатурну и подтверждают распространенное мнение, что все эти четыре планеты в основных чертах имеют много сходного. Продвижение вдоль последовательности значений плотности от Юпитера (1,33) к Сатурну (0,71), Урану (1,53) и Нептуну (2,41) на первый взгляд наводит на мысль о разрыве непрерывности этого ряда, что должно проявиться в строении Сатурна. Однако вывод будет иным, если рассматривать воздействие массы на сжатие водорода. При переходе от Юпитера к Нептуну процентное содер-

жание водорода с каждым «шагом» уменьшается. Крайне низкое значение плотности Сатурна объясняется просто тем, что масса его слишком мала, чтобы сжать водород до надлежащей степени. Плотности Урана и Нептуна в 10 и более раз превышают те значения, которые были бы, если бы эти планеты целиком состояли из водорода. Браун высказал предположение, что Уран и Нептун в основном состоят из льда, а также аммиака и метана, находящихся в

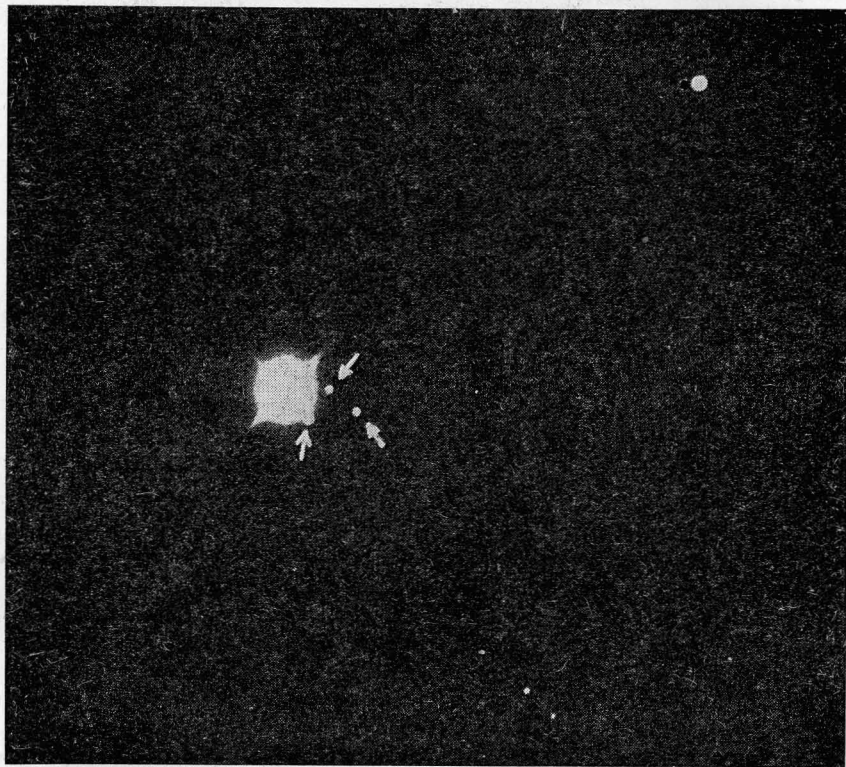


Рис. 125. Уран и три его спутника.

твердом состоянии. Пока еще не совсем ясно, какое количество тяжелых веществ входит в состав этих планет, но вполне возможно, что больше, чем в состав Юпитера и Сатурна. Портеру удалось построить прекрасные теоретические модели Урана и Нептуна в предположении, что эти планеты состоят целиком из аммиака с небольшой примесью — порядка двух масс Земли — более тяжелых элементов.

В одном отношении Уран является аномальной планетой. Плоскость его вращения, которая одновременно является плоскостью

орбитального движения пяти его спутников, наклонена почти под прямым углом к плоскости обращения Урана вокруг Солнца. Фактически угол наклона плоскости немного больше прямого (98°), т. е. все движения, по существу, являются обратными. Пять его очень слабых спутников (рис. 125) доступны наблюдениям только в большие телескопы; все они движутся в направлении вращения Урана. Диаметры спутников непосредственно измерить невозможно, но, согласно косвенным оценкам, они порядка нескольких сотен километров. Самый близкий к планете спутник — Миранда — был открыт в 1948 г. Койпером.



Джерард Койпер, открывший спутники Миранду (у Урана) и Нереиду (у Нептуна).

В 1949 г. Койпер открыл также меньший из двух спутников Нептуна — Нереиду. Согласно Брауэру и Клеменсу, больший из спутников, Тритон, весит примерно в 10 раз меньше Луны. Он слишком мал, чтобы можно было измерить его диаметр, но, судя по его блеску, можно думать, что он немногим меньше Луны. Плотность Тритона, по-видимому, довольно низка. Орбиты этих двух спутников удивительно разнородны. В то время, как Тритон обращается вокруг Нептуна обратным движением, находясь от него на расстоянии около 350 000 км, причем плоскость орбиты составляет примерно 40° с плоскостью движения самой планеты, Нереида движется в прямом направлении и отстоит от планеты на расстоя-

нии примерно около 5 600 000 км. Таким образом, Тритон — единственный в солнечной системе внутренний спутник, характеризующийся обратным орбитальным движением.

Итак, мы видим, что действительно планеты-гиганты очень похожи друг на друга; различия их в основном внешние, обусловленные изменением температуры в соответствии с их положением в пространстве. Все эти планеты быстро вращаются, имеют огромной толщины атмосферы, состоящие из метана и, вероятно, аммиака, и содержат в своем составе легкие газы — гелий и водород, причем последние характеризуются значительной концентрацией к центру. По всем этим характеристикам планеты-гиганты отличаются от планет земной группы — Меркурия, Венеры, Земли, Марса и Плутона. Эти различия настолько поразительны, что объединение этих двух групп планет в одну систему кажется нелепым. Очевидно, эти различия обусловлены каким-то важным эволюционным фактором.

Несмотря на грандиозность размеров, а может быть, именно вследствие этого, планеты-гиганты не предоставляют никаких благоприятных возможностей в качестве обители для существования жизни в каких-либо известных нам проявлениях. Поэтому, если мы надеемся доказать универсальность такого эфемерного явления, как жизнь, нам следует заняться исследованием планет земной группы.

12

Планеты земной группы — Плутон, Меркурий и Венера

Плутон

Самая далекая от Солнца из всех открытых до сих пор планет совершенно не похожа на другие планеты, находящиеся во внешних областях солнечной системы. Чужестранцем-карликом выглядит Плутон среди планет-гигантов. Наши сведения о Плуtone весьма ограничены; помимо орбиты, а следовательно, и расстояния нам известны его блеск и цвет, но масса Плутона неизвестна (см. гл. 3 и 4). Согласно определению Койпера видимый диаметр Плутона равен $0^{\circ},2-0^{\circ},3$, что соответствует примерно 5800 км. Если считать, что масса Плутона хотя бы примерно соответствует вычисленной величине (0,8 массы Земли), то средняя плотность планеты получается больше плотности золота!

Так как металлы и другие вещества, плотность которых выше, чем у железа, по-видимому, встречаются в звездах, так же как и на Земле, в небольших количествах, представляется совершенно невероятным, чтобы плотность Плутона была гораздо выше плотности железа, которая в 7,8 раза выше плотности воды. Очевидно, или его масса или диаметр определены с большой ошибкой. Если предположить, что плотность Плутона близка к плотности Земли, то это предположение с неизбежностью влечет за собой увеличение его диаметра вдвое, но так как такой диаметр вполне измерим, мы вынуждены вместе с Брауэром и Клеменсом сделать вывод, что масса Плутона определена пока еще ненадежно.

Совершенно иное объяснение тем же данным о Плуtone предложил Олтер, согласно которому истинный диаметр Плутона больше

его видимого диаметра, но благодаря тому, что планета имеет довольно гладкую поверхность, солнечный свет отражается лишь от ее небольшой центральной области. Так, например, отполированные сферические или овальные поверхности при освещении их точечным источником света дают отблеск с концентрацией света к центру поверхности. Однако объяснение Олтера все же не решает проблемы довольно слабого блеска Плутона. Если бы Плутон имел отражательную способность столь же низкую, как Луна, альbedo которой равно 0,07, то и тогда он должен был бы выглядеть вдвое более ярким, чем наблюдается в действительности. В результате мы вынуждены сделать маловероятный вывод о том, что поверхность у Плутона довольно гладкая, но ее отражательная способность равна всего 3—4%.

Так как температура Плутона, по-видимому, ниже 220°C , т. е. всего лишь на каких-нибудь $50\text{--}60^{\circ}$ выше температуры абсолютного нуля, то на его поверхности большинство обычных газов должно было перейти в жидкое состояние или замерзнуть. Можно, конечно, представить себе, что Плутон покрыт океаном из жидкого (или твердого) кислорода (если бы кислород не был столь химически активен) или из азота, а водород и гелий, которые могли бы остаться на Плуtone газообразными, поэтому, вероятно, отсутствуют.

Хотя и можно представить себе, что отражательная способность поверхности планеты благодаря наличию льда из кристаллов аммиака и других распространенных соединений будет довольно высокой, мы все же на практике должны быть готовы к тому, что эта поверхность подобно лунной, вследствие выпадения на нее метеоритного и кометного вещества в особенности на ранних этапах истории планеты, довольно неровная. Судя по желтовато-белой окраске, можно утверждать, что поверхность Плутона покрыта не слишком пигментными материалами. Поэтому очень трудно согласиться с предположением Олтера о сравнительно гладкой поверхности Плутона в сочетании с рекордно низким значением альbedo.

Вероятно, Плутон является бесплодным холодным небольшим шаром; диаметр его немного меньше половины диаметра Земли, а альbedo порядка 0,15, т. е. вдвое больше альbedo Луны. Безусловно, эта планета негостеприимна для пребывания на ней человека; смертельно холодная ночь продолжается там 76,5 часа, а вслед за нею наступает такой же длинный день, но и днем блеск Солнца будет в 1600 раз слабее, чем на Земле.

Высказывалось даже предположение, что Плутон — вообще не настоящая планета, а всего лишь спутник, потерянный Нептуном.

Однако этот вопрос не может быть разрешен, пока мы не будем располагать большими сведениями о механизме появления у планет спутников.

Меркурий

Меркурий — четвертая по блеску планета: в максимуме блеска она почти так же ярка, как Сириус, ярче нее бывают только Венера, Марс и Юпитер. Тем не менее Меркурий — очень трудный объект для наблюдений из-за малости его орбиты и, следовательно, близости к Солнцу; его наибольшая возможная элонгация (видимое угловое расстояние от Солнца; см. Приложение 2) составляет 28° . В этом самом благоприятном для наблюдений положении фаза

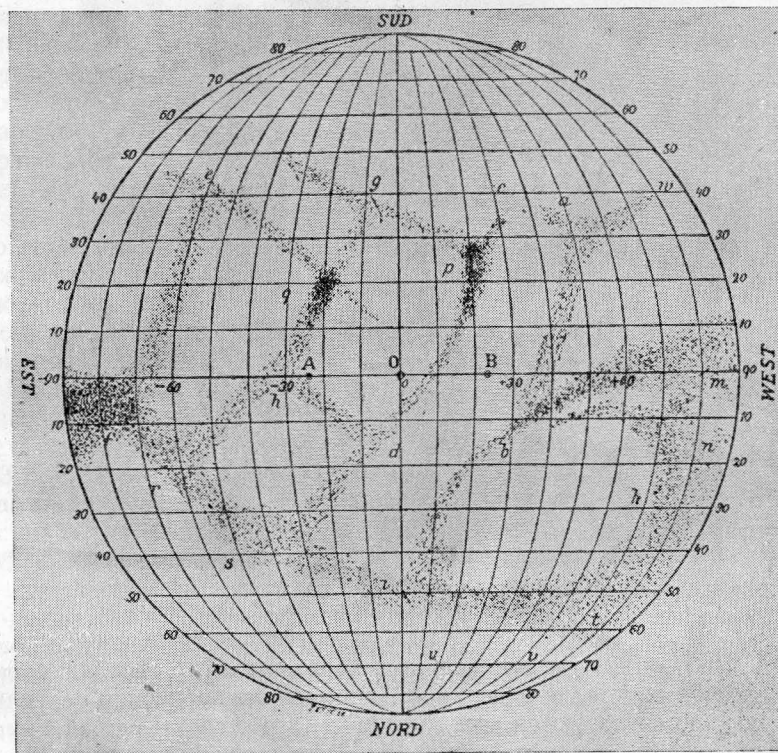


Рис. 126. Карта Меркурия, составленная Скиапарелли.

Меркурия соответствует фазе Луны в первой и третьей четвертях; полная фаза приходится на верхнее соединение, когда Меркурий находится за Солнцем почти на одной прямой с ним. После захода Солнца или перед его восходом Меркурий на небе всегда находится очень близко к Солнцу, что ограничивает ночные наблюдения планеты коротким интервалом. Кроме того, турбулентность нашей атмосферы на низких высотах обуславливает плохое изображение.

Поэтому Меркурий большею частью наблюдают при полном дневном свете, а рассеянный солнечный свет исключают в максимально возможной мере применением соответствующих экранов.

Вследствие всех этих разного рода трудностей только самым упорным наблюдателям удавалось обнаружить детали на поверхности Меркурия. Скиапарелли (Италия, 1835—1910) и Барнард

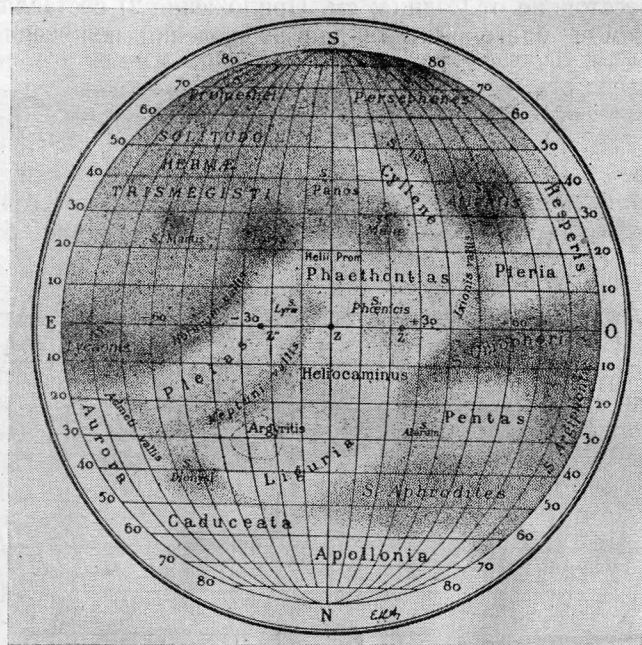


Рис. 127. Карта Меркурия, составленная Антониади.

(США, 1857—1923) — два великих наблюдателя — сделали зарисовки смутных деталей поверхности, причем эти зарисовки не слишком хорошо согласуются между собой. Карта, составленная Скиапарелли, воспроизведена на рис. 126. Поскольку фотографии Луны показали, что некоторые ее детали, в особенности лучи, а до некоторой степени и моря, становятся особенно заметными в полнолуния, весьма интересно отметить, что Барнард охарактеризовал пятна на Меркурии в основном как похожие на лунные «моря», а Скиапарелли получил свои наилучшие результаты, когда планета была близка к полной фазе, т. е. находилась по соседству с Солнцем.

На протяжении длительного времени Меркурий наблюдался во Франции — сначала Антониади в Медоне, а позднее Дольфюсом на Пик дю Миди. Вычерченные ими карты показаны на рис. 127 и 128 соответственно. Все наблюдатели согласны, что Меркурий

медленно вращается вокруг своей оси, будучи всегда обращенным к Солнцу одной стороной, если не считать небольших либраций. Таким образом, период вращения Меркурия, составляющий 88 суток, согласно Дольфюсу, равен, с точностью до 1/10000, сидерическому периоду обращения планеты вокруг Солнца*). Так как Солнце освещает только одну сторону планеты, на рисунках видно только одно полушарие Меркурия.

При сопоставлении рисунков необходимо помнить, что Скиапарелли и Антониади наблюдали Меркурий вечером, а Дольфюс утром. Следовательно, чтобы сравнить карты Скиапарелли и Антониади с картой Дольфюса, их следует повернуть примерно на 15°. Дольфюс полагает, что наблюдаемые детали можно привести к совпадению, считая, что угол наклона экватора Меркурия к эклиптике равен 7°.

Поскольку оптическая разрешающая способность составляет приблизительно $0'',3$, т. е. $\frac{1}{13} - \frac{1}{20}$ видимого диаметра Меркурия, на рисунках, очевидно, представлены почти все детали, которые когда-либо наблюдались с поверхности Земли.

Сравнение всех трех карт Меркурия на первый взгляд наводит на мысль, что наблюдатели расходятся в своих наблюдениях, но более тщательная проверка выявляет согласие в наиболее существенных чертах. Два человека никогда не нарисуют плохо видимый объект одинаково. Чтобы убедиться в этом важном для наблюдательной астрономии факте, поместите одну из этих карт на таком расстоянии, чтобы детали были едва различимы, и зарисуйте, что вы видите. Сравнение рисунка с оригиналом может дать удивительные результаты. Несомненно, поверхность Меркурия во многом сходна с поверхностью Луны, хотя мы и не знаем, действительно ли на поверхности Меркурия имеются моря и кратеры. Однако среднее визуальное альbedo Меркурия (0,14) вдвое больше, чем альbedo Луны.

Попытки доказать существование у Меркурия атмосферы в основном давали отрицательные результаты, хотя иногда наблюдатели высказывали подозрение, что легкие беловатые облачка

*) Относительно периода вращения см. примечание на стр. 12. (Прим. ред.)

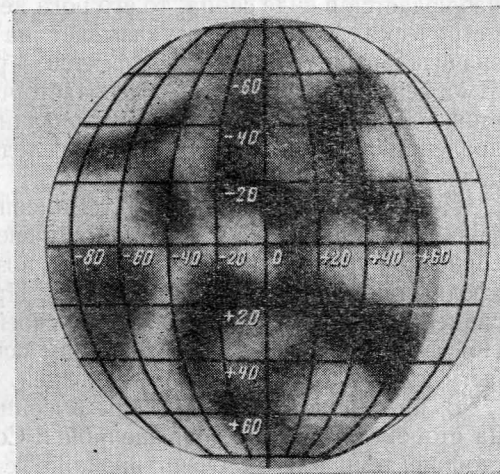


Рис. 128. Карта Меркурия, составленная Дольфюсом.

затуманивали более темные пятна. Скорость убегания для Меркурия составляет всего 3,7 км/сек, а температура на его поверхности может быть гораздо более высокой — выше, чем для Луны. Следовательно, лишь самые тяжелые газы могли бы остаться на поверхности планеты. Точно так же выбрасываемые во время солнечных бурь частицы должны, даже в большей степени, чем в случае Луны, вышибать атомы остаточной атмосферы Меркурия. Когда Меркурий наблюдается в виде серпа, то его рога не выходят за пределы их геометрических границ, что указывает на отсутствие сколько-нибудь значительных сумеречных эффектов — рассеяния или рефракции в атмосфере. Однако Дольфус считает, что свет рогов характеризуется небольшой избыточной поляризацией. Если этот эффект обусловлен наличием атмосферы, то последняя в целом составляет не более $\frac{1}{300}$ атмосферы Земли.

Петтит (обсерватории Маунт Вилсон и Маунт Паломар) из инфракрасных измерений Меркурия нашел, что температура в подсолнечной точке в перигелии сильно возрастает, достигая 415° С; в афелии она составляет около 285° С. При 415° С плавятся олово и свинец; даже цинк находится близ своей точки плавления (419° С). Поэтому Меркурий даже с большим основанием, чем Плутон, мог быть назван в честь бога преисподней.

В противоположность очень высоким значениям температуры, на стороне Меркурия, обращенной к Солнцу, на вечно темной его стороне температура очень низкая. Тепло может проникать туда только через твердое тело планеты, посредством теплопроводности, а это — процесс крайне медленный, или же посредством конвекции в остатках атмосферы, но последнее можно лишь предполагать. Температура неосвещенного полушария, вероятно, не превышает 10°, считая от абсолютного нуля, т. е. там даже холоднее, чем на Плутоне. Таким образом, Меркурий проявляет своего рода «раздвоение личности», совмещая в себе обе крайности значений температуры планет. Интересно знать, не могут ли оказаться захваченными и замороженными на темной стороне такие газы, как азот, углерод, углекислый газ, кислород и другие. Для ответа на этот вопрос требуется более строгая проверка при помощи космических зондов и радиолокационных наблюдений.

На очень большое сходство между Меркурием и Луной указывают их размеры, характер вращения, разреженность атмосферы и внешний вид. Оба эти тела практически одинаково отражают свет как в отношении цвета, так и в отношении интенсивности при различных углах отражения. Лучи света, падающие перпендикулярно к поверхности, отражаются в направлении падения достаточно эффективно, но при падении света под большими углами отражение бывает очень слабым. Даже поляризация или плоскость колебаний отраженного света для Меркурия и Луны одинакова. Все это дает нам право сделать вывод, что поверхность Меркурия сходна с поверхностью Луны как в отношении отдельных деталей,

так и в целом. Несомненно, поверхность Меркурия неправильной формы и неровная.

Средняя плотность Меркурия, хотя она определена и не слишком точно, по-видимому, почти в 5,5 раза выше плотности воды, т. е. примерно равна плотности Земли. Так как масса Меркурия мала, то увеличение его плотности вследствие сжатия ограничено величиной 1—2%, а средняя плотность основных составляющих его материалов, если извлечь их из планеты, согласно подсчетам Юри составит 5,4 вместо 4,4 для Земли. Следовательно, доля более тяжелых элементов для Меркурия должна быть гораздо больше, чем для Земли, и, вероятно, у Меркурия должно быть вполне измеримое железное ядро. В этом отношении Меркурий сильно отличается от Луны и, по существу, является самым плотным телом значительных размеров в солнечной системе. Эволюционный процесс, в результате которого возникла высокая плотность, пока еще не вполне понятен, но, несомненно, он связан с близостью Меркурия к Солнцу.

Орбита Меркурия занимает следующее после орбиты Плутона место по величине угла наклона к плоскости эклиптики (7°) и по величине эксцентриситета (0,21). В перигелии скорость его движения по орбите достигает почти 58 км/сек. Благодаря своему быстрому движению и большому эксцентриситету Меркурий дает одно из трех астрономических доказательств общей теории относительности Эйнштейна. Движение перигелия Меркурия происходит с опережением на 43" в столетие по сравнению с вычисленным на основе теории планетных возмущений. Однако наблюдаемая скорость в пределах точности измерений соответствует предсказываемой по теории относительности Эйнштейна. Это замечательное подтверждение последней немало способствовало ее признанию в научном мире. Так Меркурий внес свой большой вклад в современную науку.

Венера

Венера наблюдается и как «вечерняя звезда» и как «утренняя звезда» — *Vesperus* и *Phosphorus*, как называли ее в античном мире. После Солнца и Луны Венера — самое яркое небесное светило. Ее часто видно при дневном свете, а ночью освещенные ею предметы могут отбрасывать тени. Всего 144 дня проходят между вечерней элонгацией, когда Венера — первое светило, появляющееся на сумеречном вечернем небе, и утренней элонгацией, когда Венера — последняя «звезда», исчезающая в утренних лучах Солнца; но чтобы обойти Солнце и вновь вернуться к вечерней элонгации, Венере требуется 440 суток (см. рис. 4). Истинный период обращения Венеры вокруг Солнца, конечно, гораздо короче; он составляет всего 224,70 суток. Когда расстояние между Землей и Венерой минимально, она становится самой близкой нашей соседкой среди планет (примерно 42 000 000 км). Но в это время наблюдать Венеру оптическими средствами трудно, так как она видна очень близко к Солнцу.

Венера поистине «планета-сестра» Земли; они имеют почти одинаковые размеры и массы. Даже увеличения небольшого телескопа достаточно, чтобы превратить яркую светящуюся точку в серебряный диск, края которого немного размыты вследствие неспокойствия нашей атмосферы, но который имеет фазы в виде серпа, подобные фазам Луны. Когда серп Венеры узкий, кажется, что концы серпа охватывают больше половины диска планеты, т. е. как будто сияние светящейся поверхности порождается оптическим обманом.

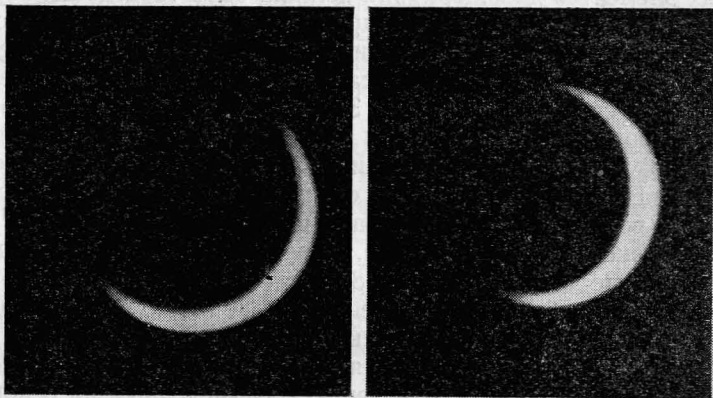


Рис. 129. Сумеречная дуга вокруг Венеры. Обратите внимание на то, что на первой фотографии полумесяц охватывает почти весь диск, а на второй фотографии верхняя часть серпа имеет яркое продолжение.

В крайнем положении, когда Венера находится почти на одной прямой между нами и Солнцем, слабое светящееся кольцо можно видеть вокруг всего диска. Эта сумеречная дуга видна на фотографиях рис. 129. Ни наша атмосфера, ни дефекты оптики не могли бы создать подобного явления. Оно обусловлено рефракцией и рассеянием солнечного света в протяженной атмосфере Венеры. V

Но почему же мы не видим ни облаков в атмосфере, ни деталей поверхности самой планеты? При самых лучших условиях наблюдений, когда наша атмосфера ясна и спокойна, самым опытным наблюдателям удается разглядеть только туманные намеки на какие-то детали — «большие сумеречные пятна», как назвал их Барнард. Эти слабые пятнышки, имеющие слишком неопределенные очертания для того, чтобы их зарисовать, по-видимому, непостоянны. Фотографии, сделанные в длинноволновой инфракрасной области, также подтвердили безуспешность попыток зарегистрировать детали, несмотря на способность инфракрасного света проникать сквозь дымку тумана. Так обстояло дело до тех пор, пока Росс (1874—1960) не осуществил свои эксперименты на другом краю цве-

тового спектра — с ультрафиолетовым светом, в котором удалось сфотографировать детали на Венере. Для изучения земных облаков ультрафиолетовый свет совершенно бесполезен. Ко всеобщему изумлению, Россу удалось зарегистрировать в атмосфере Венеры большие размытые образования типа облаков.

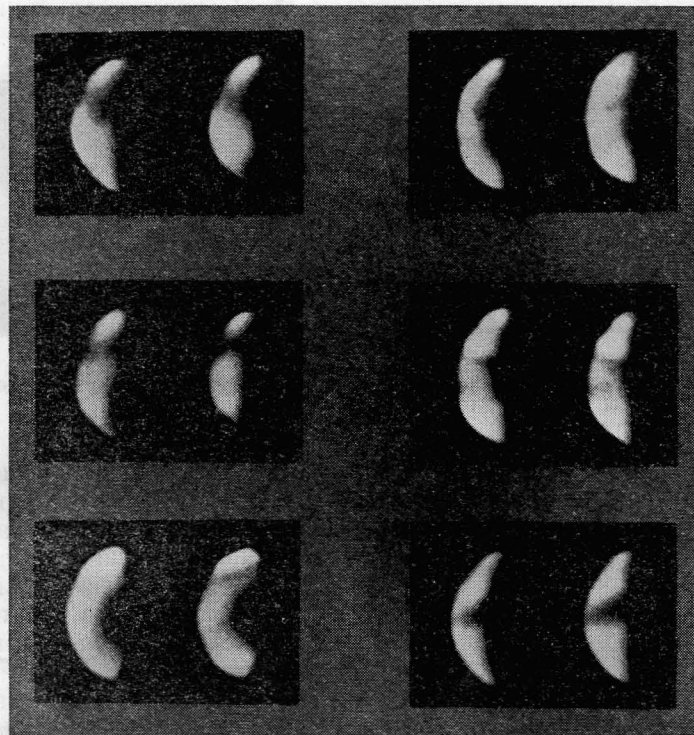


Рис. 130. Венера в ультрафиолетовом свете. Каждая пара изображений была получена в одну и ту же ночь, две верхние пары — в две последующие ночи и две средние пары — также в две последующие ночи. Обратите внимание на изменения от ночи к ночи. Контрастность снимков искусственно увеличена. (Фотографии сделаны Россом, обсерватории Маунт Вилсон и Маунт Паломар.)

Фотографии на рис. 130, полученные Россом, и фотографии на рис. 131, полученные на Ликской обсерватории, показывают, что структура этих темных туманных пятнышек изо дня в день меняется; тем самым доказывается, что эти пятна не являются постоянными образованиями на поверхности планеты, а по-видимому, представляют собой облака, плавающие в атмосфере Венеры. Вследствие изменчивости формы пятен по ним нельзя измерить вращение планеты путем их наблюдений изо дня в день, а никаких доказа-

тельств вращения за те короткие отрезки времени, в течение которых ведутся непрерывные наблюдения, получить нельзя. Поэтому для определения скорости вращения нужен какой-то иной способ. Вновь был призван на помощь спектрограф, но даже с помощью великолепной наблюдательной техники, используемой на обсерваториях Маунт Вилсон и Маунт Паломар, никаких сдвигов линий поглощения обнаружить не удалось.



Рис. 131. Венера в ультрафиолетовом свете. Эти фотографии были сделаны в 1962 г. в том же масштабе, что и на рис. 130.

Лишь благодаря научному подвигу — проведению радиолокации Венеры — был найден метод определения периода ее вращения. Этот подвиг удалось совершить при помощи радиолокатора в Милстоун Хилле (Массачусетский технологический институт; см. рис. 31), радиолокационной установки в Голдстоуне (Калифорнийский технологический институт) и радиолокатора в Советском Союзе. Очень шероховатая поверхность Венеры привела к развертке во времени возвращаемого сигнала, т. е. радиоволнам, отраженным от точек, находящихся близ краев диска, потребовалось дополнительное время для возвращения на Землю по сравнению с радиоволнами, отраженными от центра диска. При вращении планеты частота отраженных от края диска сигналов должна измениться согласно принципу Доплера — Физо (см. гл. 11). Если поверхность Венеры гладкая, то изменение скорости, обусловленное эффектом Доплера, будет очень малым, так как радиосигнал в основном будет отражен лишь центральной частью диска, движущейся перпендикулярно к лучу зрения; поэтому полученный из наблюдений период вращения окажется слишком большим. Пока еще данные о шероховатости и периоде вращения не являются окончательными, однако согласно лучшим оценкам поверхность Венеры имеет шероховатость примерно такую же, как Луна при наблюдениях на волнах 12—68 см, и, согласно измерениям поляризации, полностью шероховата при наблюдениях на волне 12 см. Большинство наблюдателей подозревает, что планета всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной и, следовательно, период ее вращения

равен 225 суткам, однако данные радиолокации позволяют предполагать, что вращение происходит в обратном направлении и имеет период около 250 суток.

Если все же Венера обращена к Солнцу одной и той же стороной, то а priori можно было бы ожидать, что температура в подсолнечной точке должна быть выше, чем в центре никогда не освещаемого Солнцем полушария. Инфракрасные наблюдения, проводившиеся

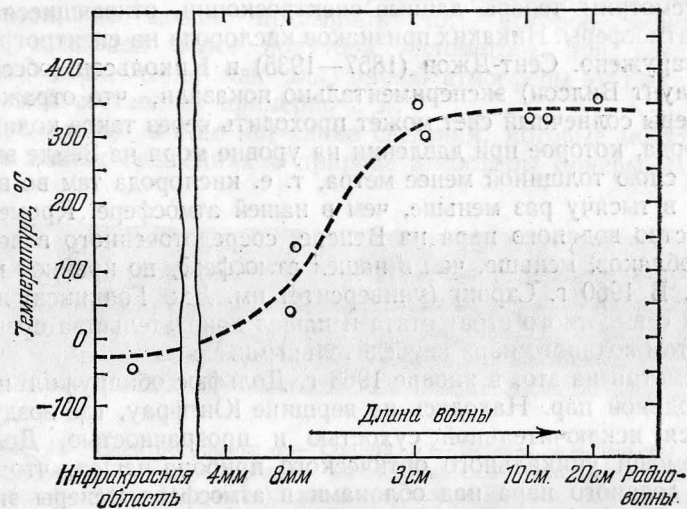


Рис. 132. Средние значения температуры Венеры, полученные из инфракрасных и радиоастрономических измерений излучения всего диска в целом (согласно Лилли).

Петтитом и Никольсоном, а также выполненные в последнее время Синтоном, дали весьма неожиданный результат: температура окружающей планету атмосферы, в сущности, везде постоянна и близка к -40°C . К какому именно слою атмосферы относится это значение температуры, точно не известно, но, вероятно, к тому, который соответствует верхней границе основного уровня облаков или к чуть более высокому слою. Данные о температуре Венеры, полученные на основе измерений ее теплового радиоизлучения, вызывают еще большее удивление. Эти любопытные результаты показаны на рис. 132. На самых коротких волнах (8 мм) температура начинает подниматься, будучи выше значений -40°C , полученных для инфракрасной области. На волне 3 см и на более длинных волнах температура Венеры достигает значений свыше 315°C . Хотя вопрос об окончательной интерпретации этого высокого значения температуры еще не ясен, большинство исследователей склоняются к предположению, что более длинные радиоволны могут проникать сквозь всю толщу атмосферы и что истинная температура приповерхностного слоя может даже превышать 315°C ! Дрейк (Националь-

ная радиобсерватория США в Западной Вирджинии) считает, что на волне 10 см диапазон изменения температуры по всей поверхности невелик; возможно, он заключен в пределах от -1° до $+21^{\circ}$ С. Таким образом, что бы ни означало высокое значение температуры, оно относится ко всем доступным наблюдениям участкам планеты. Обсудив природу атмосферы Венеры, мы еще раз вернемся к вопросу об истинной температуре ее поверхности.

Рассмотрим теперь данные спектроскопии, относящиеся к составу атмосферы. Никаких признаков кислорода на спектрограммах не обнаружено. Сент-Джон (1857—1935) и Никольсон (обсерватория Маунт Вилсон) экспериментально показали, что отраженный от Венеры солнечный свет может проходить через такое количество кислорода, которое при давлении на уровне моря на Земле эквивалентно слою толщиной менее метра, т. е. кислорода там во всяком случае в тысячу раз меньше, чем в нашей атмосфере. Кроме того, количество водяного пара на Венере, сосредоточенного в верхней части облаков, меньше, чем в нашей атмосфере, по крайней мере в 10 раз. В 1960 г. Стронг (университет им. Дж. Гопкинса) изучал Венеру с высотного стратостата и нашел доказательства существования там водяного пара неубедительными.

Несмотря на это, в январе 1963 г. Дольфюс обнаружил на Венере водяной пар. Находясь на вершине Юнгфрау, где воздух отличается исключительной сухостью и прозрачностью, Дольфюс при помощи уникального оптического прибора нашел, что количество водяного пара над облаками в атмосфере Венеры эквивалентно слою толщиной 0,1 мм. Было бы весьма желательно подтвердить этот результат, так как ранее по спектральным измерениям верхний предел был установлен около 0,02 мм*).

Более положительные результаты были получены Адамсом (1876—1956) и Данэмом (обсерватория Маунт Вилсон) из проведенного ими анализа спектрограмм. Они открыли на этих спектрограммах новые инфракрасные полосы поглощения, не известные из лабораторных исследований. Вычисления показали, что полосы поглощения неизвестного происхождения могли бы быть обусловлены обыкновенным углекислым газом, если свет проходит через слой того газа достаточной толщины. В целях проверки теории Данэм наполнил трубу длиной 18 м углекислым газом, причем давление было в 10 раз выше атмосферного. Когда свет искусственного источника был пропущен через всю трубу и отражен обратно на щель

*) В результате наблюдений, проведенных в США Стронгом и его сотрудниками с помощью телескопа, поднятого на воздушном шаре на высоту около 25 км, в спектре Венеры была уверенно обнаружена полоса H_2O у 11300 А. Интенсивность ее соответствует 0,1 мм осажденной воды в согласии с результатом Дольфюса. Заметим, однако, что условия формирования линий поглощения в богатой аэрозолями венерианской атмосфере сильно отличаются от условий в лабораторной трубе, поэтому указанная величина не соответствует действительному содержанию H_2O в атмосфере Венеры. (Прим. ред.)

того же спектрографа, который использовался для получения спектров Венеры, на спектрограммах были получены идентичные полосы поглощения.

На рис. 133 приведены для сравнения спектрограммы Венеры и Солнца. Количество углекислоты на Венере в верхнем слое облаков по сравнению с количеством углекислого газа в атмосфере Земли громадно. По измерениям Койпера, это количество меняется, но может превышать то, которое эквивалентно слою толщиной более полутора километров при давлении на уровне моря, тогда как для земной атмосферы этот эквивалентный слой составляет примерно 2 м.

Существуют и еще кое-какие сведения, которые могут помочь нам в наших суждениях о природе атмосферы Венеры. В 1960 г.

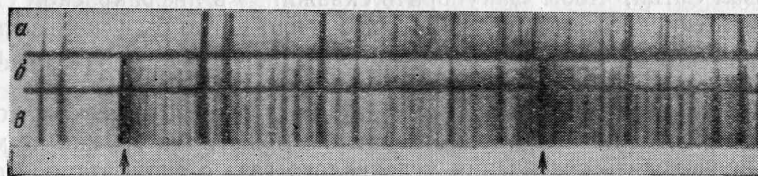


Рис. 133. Спектрограммы: а — Солнца, б — Венеры, в — Венеры (расширенная). Обратите внимание на инфракрасные полосы поглощения углекислого газа (стрелки), сильные в спектре Венеры, но отсутствующие в спектре Солнца. (Фотографии сделаны Данэмом.)

Мензел и Вокулер наблюдали Регул при покрытии этой яркой звезды Венерой. По тому, как преломлялся идущий от Регула свет в атмосфере Венеры, Мензел и Вокулер сделали вывод, что в верхних слоях облаков на протяжении примерно 40 км плотность падает в 10 раз.

Для приемлемого состава атмосферы, — возьмем, например, состав, в котором на 19 частей азота приходится 1 часть углекислого газа, — данные Мензела и Вокулера приводят к немного более низкой температуре, чем получается из измерений инфракрасного излучения. У нас есть все основания полагать, что измерения Регула относятся к более высоким слоям атмосферы, чем инфракрасные измерения. Кроме того, Спинрад исследовал как сильные, так и слабые полосы в спектре поглощения углекислого газа и пришел к заключению, что слабые полосы, соответствующие глубоким слоям атмосферы, указывают на более высокие температуры по сравнению с сильными полосами, которые возникают в самых верхних слоях. Отсюда следует, что доступная наблюдениям часть атмосферы Венеры, как и в случае земной атмосферы, может находиться ниже стратосферы, где температура с увеличением высоты падает. Этот результат подтверждает предположение, согласно которому темпе-

ратура на поверхности Венеры может все-таки достигать величины 315°C , получающейся по данным о радиоизлучении.

Тот факт, что температура на дне атмосферы, в составе которой много углекислого газа, высока, сам по себе неудивителен. Этот газ очень хорошо пропускает все видимые лучи света, а также, в отличие от кислорода, и ультрафиолетовые лучи, но зато углекислый газ очень хорошо поглощает тепловое излучение далекой инфракрасной области спектра. Вследствие этого при нагревании поверхности Венеры должен возникать сильный парниковый эффект. Большое количество солнечной энергии, заключенное в видимой области спектра, может беспрепятственно проникать к поверхности планеты, но обратное излучение нагретой поверхности задерживается углекислым газом. Идентичный этому процесс способствует регулированию температуры земной поверхности. Однако, как показал Саган, чтобы «закупорить скважины» в инфракрасном спектре углекислого газа, через которые тепло могло бы ускользнуть с поверхности Венеры, в ее атмосфере должно быть хоть чуточку водяного пара.

Но если температура поверхности действительно высокая, то в жидком состоянии вода существовать не может, так же как не может происходить соединения углекислого газа с силикатами и образования углерода; таким образом, углекислый газ остается в атмосфере. Поэтому разница между Землей и Венерой, по-видимому, в основном зависит от количества углекислого газа в атмосфере, которое нагрело поверхность Венеры и помешало самому углекислому газу окаменеть в поверхностных породах; большое количество углекислого газа воспрепятствовало также образованию заметного количества свободного кислорода в атмосфере.

Что касается предположения, согласно которому находящиеся в самых верхних слоях атмосферы Венеры облака состоят из ледяных кристаллов, то мы располагаем доводами как за это предположение, так и против него. Поляризацию рассеянного атмосферой Венеры света легче всего можно объяснить, исходя из этого предположения, и температура вершины облачного слоя, по-видимому, весьма близка к -40°C , т. е. к температуре образования льда при столь низком давлении. Однако полное количество водяных паров, по сравнению с количеством углекислого газа, конечно, очень мало, хотя, возможно, значительно больше, чем количество водяных паров, содержащихся в земной атмосфере. Так как давление паров льда при -40°C совсем низкое, пары воды выше облачного покрова Венеры должны были в основном исчезнуть, а обнаружение их остатков при наблюдении сквозь толщу земной атмосферы оказывается и вовсе трудным. Койперу не удалось, однако, обнаружить инфракрасные полосы поглощения, которые можно было ожидать, если бы облака, как предполагают, состояли из льда.

Спустя несколько лет после того как на Венере был обнаружен углекислый газ, Вильдт предложил совершенно иное объяснение

отсутствия водяного пара и природы облаков на Венере, особенно применимое к нижнему слою облаков, который, как полагают в настоящее время, существует. Вильдт высказал предположение, что эти облака могли бы состоять из углеводородов, возможно, из формальдегида. Вильдт обратил внимание на тот факт, что в смеси углекислого газа и водяного пара под действием ультрафиолетового света образуется формальдегид. В ходе этого процесса выделяется свободный кислород. Но согласно теории Вильдта избыток кислорода должен каким-то образом устраняться из атмосферы Венеры, иначе эта теория сталкивается с двумя большими трудностями. Во-первых, кислород в спектре Венеры не наблюдается; следовательно, если нельзя указать процесс, в результате которого кислород устраняется, теория терпит крах. Во-вторых, если кислород не будет устраняться, то в конце концов он приостановит процесс поглощения ультрафиолетового света, необходимый для реакции образования формальдегида. В нашей собственной атмосфере эта реакция не может происходить именно вследствие большого количества кислорода, существующего как в виде обычного кислорода воздуха, так и в виде озона O_3 , абсолютно непрозрачного в ультрафиолетовой области.

Чтобы представить себе, что может случиться со свободным кислородом, выделяющимся при образовании углеводородов, вспомним, что, так как поверхность Венеры очень горяча, свободный кислород может вступать в соединения с материалами ее поверхности, в частности, с соединениями железа, вызывая выветривание, на которое при медленном ходе этого процесса на Земле было затрачено огромное количество кислорода. Вообще, такое вещество, как свободный кислород, нетрудно удалить из любой атмосферы, а особенно из нагретой. Будучи химически очень активным, кислород соединяется почти со всеми элементами, если к этому имеется хотя бы малейшая возможность; нагревание активизирует этот процесс. Если бы на Земле запасы кислорода не пополнялись за счет жизнедеятельности растений, его или вообще не осталось бы в атмосфере или осталось бы очень мало. Поэтому объяснить постепенное устранение свободного кислорода из атмосферы Венеры нетрудно.

Однако выработка на Венере углеводородов в результате соединения углекислого газа с водой может происходить лишь до тех пор, пока не иссякнут запасы воды. Некоторое количество воды необходимо также для образования облаков, так как газообразный формальдегид в чистом виде бесцветен и не образует облаков. Однако достаточно малейшей примеси к формальдегиду водяного пара, чтобы мгновенно возникло толстое белое облако. В атмосфере Венеры формальдегид не обнаружен. Тем не менее там могут создаваться гигантские молекулярные цепочки, образуя капельки обычных пластмасс, имеющих в наше время столь важное промышленное значение. Пожалуй, многие огорчились бы, узнав, что Венера, возможно, уже миллионы лет устлана пластиком, тогда как на

Земле мы лишь начали открывать их. По мнению Койпера, облака на Венере содержат недокись углерода (C_3O_2). Хойл даже высказывает предположение, что Венера, возможно, покрыта океаном из нефти. Однако никаких данных наблюдений, которые подтвердили бы предположения Вильдта, Койпера или Хойла, не существует.

Если поверхность Венеры горячая и сухая, что представляется более вероятным, там должны быть чрезвычайно распространенными явления пыльных бурь. Согласно предположению Эпика, нижние слои атмосферы Венеры невероятно запылены, и высокая температура на Венере поддерживается благодаря наличию пыли.

Если Венера всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной, то в подсолнечной точке следует ожидать сильного восходящего течения нагретой атмосферы и общей атмосферной циркуляции, расходящейся из этой точки. Действительно, некоторые из видимых на Венере облачных образований расходятся из подсолнечной точки. Однако это наблюдение не является убедительным аргументом в пользу существования на Венере именно пыли, так как подобная картина циркуляции в равной мере может действовать и в случае облаков другого типа.

По существу, не остается никакой надежды на то, что температура на поверхности Венеры может быть терпимой для живых организмов. Правда, если бы эта планета обладала чрезвычайно плотной ионосферой, т. е. количество электронов в единице объема ее ионосферы было бы в 1000—10 000 раз больше, чем в самой плотной части ионосферы Земли, то радиолокационные отражения и радиоизмерения температуры можно было бы отнести не к твердой поверхности Венеры, а к области ионосферы *).

Чрезвычайно успешный полет космического корабля США «Маринер-II» (рис. 134), который 14 декабря 1962 г. приблизился к Венере на расстоянии около 35 000 км, и переданные с него на Землю данные научных измерений позволили значительно увеличить надежность наших выводов о Венере. Научные данные «Маринера-II», запуск которого был организован Лабораторией реактивных двигателей Калифорнийского технологического института и Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства, были переданы по радио с феноменального расстояния от Земли — 60 000 000 км. Обнаружено, что магнитное поле в окрестностях Венеры по крайней мере в 10 раз слабее, чем в окрестностях Земли; это указывает на то, что Венера вращается очень медленно и поэтому не обладает таким сильным магнитным полем, как Земля. Кроме того, вокруг Венеры нет измеримого пояса энергичных частиц, что также подтверждает отсутствие магнит-

*) Эта последняя гипотеза встречается с очень большими трудностями, даже если допустить, что электронная концентрация в ионосфере Венеры в 10 000 раз больше, чем в земной. (Прим. ред.)

ного поля. Не обнаружен около Венеры и сколько-нибудь значительный пылевой пояс.

Радиоизмерения, проведенные Лилли (обсерватория Гарвардского колледжа) и Барретом (Массачусетский технологический институт) на волнах 13,5 и 19 см, показывают, что температура в центре диска планеты по измерениям в радиодиапазоне значительно

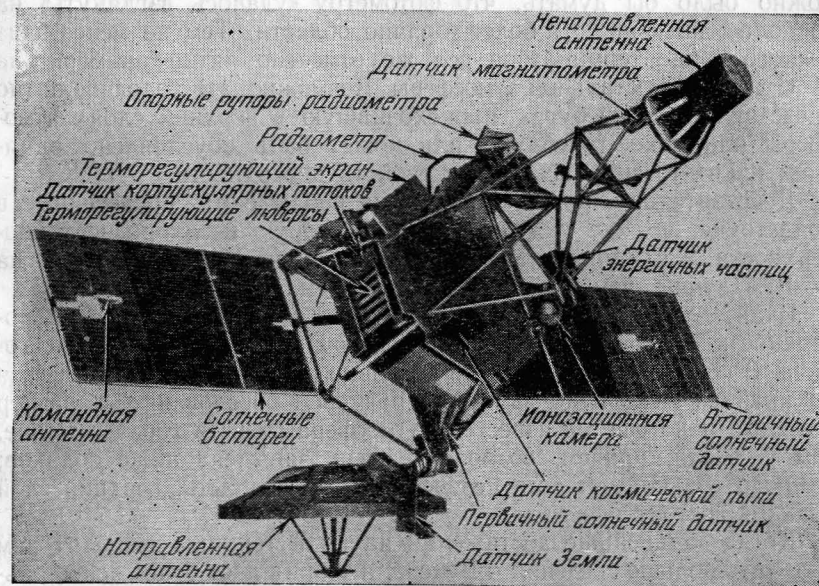


Рис. 134. Космический корабль «Маринер-II», приблизившийся к Венере 14 декабря 1962 г.

выше, чем близ края. Здесь следует отметить, что при наблюдениях с Земли диаграмма направленности радиотелескопа полностью захватывает диск Венеры и поэтому измерения дают лишь среднее значение температуры. Однако на расстоянии 35 000 км антенны радиотелескопа оказались в состоянии охватить области размером примерно в $1/8$ диаметра планеты, что позволяет измерить изменение температуры по диску планеты. Если бы у Венеры была толстая ионосфера, то ее видимая радиотемпература близ краев диска была бы равна или даже выше средней температуры. Таким образом, весьма маловероятно, что температура поверхности Венеры значительно отличается от температуры, полученной из радиоизмерений. Следовательно, очень горячей является или твердая поверхность Венеры, или ее атмосфера на большой глубине — гораздо ниже видимого облачного слоя.

Видимая поверхность Венеры выглядит довольно однородной; измерения температуры в инфракрасной области, наземные, а также переданные по радио с «Маринера-II» не обнаруживают каких-либо скачков при пересечении терминатора, связанных с эффектом перехода ото дня к ночи. Кроме того, инфракрасный фотометр, установленный на «Маринере-II», не отметил никаких разрывов в облаках, т. е. никаких областей более высокой температуры, когда можно было бы думать, что фотометру «удалось взглянуть» на расположенные ниже и более горячие области. Тем не менее близ южного конца терминатора все же отмечено пятно примерно на 11°C холоднее остальной атмосферы. Возможно, это холодное пятно представляет собой бурю, происходившую в верхних слоях атмосферы или какое-то облако, или может быть обусловлено влиянием каких-то скрытых от нас свойств поверхности.

Действительно, радиолокационные наблюдения, проведенные в Голдстоуне, все же указывают на некоторую неоднородность поверхности — наличие пятна, которое на волне $12,5\text{ см}$ отражает на 9—10% лучше, чем поверхность в среднем.

Итак, для существования какой-либо органической жизни поверхность Венеры должна быть слишком суха и слишком уж горяча. В общем эта поверхность довольно ровная, но на ней имеется по крайней мере одно заметных размеров образование, характер которого пока еще не известен. Атмосфера Венеры гораздо толще, чем у Земли, причем, возможно, очень запылена ниже облаков; природа облаков остается неизвестной. Может быть, верхний слой облаков состоит из льда.

Когда дальнейшие достижения науки и техники позволят нам получить больше сведений о Венере, а теория даст более ясное объяснение ее природы, весьма интересно будет разобраться подробнее, почему все-таки Земля и Венера — две планеты, почти одинаковые по размерам и массе, могут иметь столь радикально разные поверхности и атмосферы.

Пока что в нашем путешествии по солнечной системе мы сталкивались с совершенно непригодными для нашей жизни условиями на поверхности планет. На далеких планетах слишком холодно; на Меркурии же одновременно и слишком жарко, и слишком холодно. Планеты-гиганты окутаны вредными или ядовитыми газами, а возможно, даже не имеют твердых поверхностей; у Плутона, Меркурия и спутников всех планет, за одним исключением, вообще нет какой бы то ни было атмосферы. В лице Венеры мы встретились с земноподобной планетой, но и на ней слишком жарко и отсутствует кислород. У нас осталась единственная надежда найти условия для существования жизни нашего типа на других планетах, обратившись к Марсу. Оправдает ли он наши надежды?

13

Марс

Марс был назван в честь бога войны благодаря кроваво-красному цвету планеты, заметному невооруженным глазом и еще более в телескоп. К сожалению, это название на протяжении ряда лет на рубеже этого столетия было уж слишком подходящим. В этот период разыгралась астрономическая баталия, и полем сражения был Марс. С одной стороны, сражался Персивал Лоуэлл, ставший под знамя, впервые поднятое Скиапарелли. С другой стороны, стояла значительная часть астрономического мира. *Casus belli*, т. е. поводом к войне, послужили наблюдения Скиапарелли и Лоуэллом «каналов» на Марсе и данная Лоуэллом интерпретация этих узких деталей, как искусственных протоков. Скиапарелли использовал итальянское слово *canali*, которое означает главным образом *каналы* или *протоки*, но не считал, что речь идет об искусственных сооружениях. Лоуэлл основывал свою интерпретацию на своих собственных продолжительных наблюдениях Марса. Некоторые из сделанных им рисунков показаны на рис. 135.

В научном мире это разногласие между авторитетами привело к действительно и существенному прогрессу. Обычно каждый соперник бывает отчасти прав, отчасти неправ, но пыл дискуссии содействует развитию наблюдений, которые являются основой знания. Марсианская битва закончена, и дым сражения рассеялся. Едва ли можно утверждать, что одна из сторон одержала решающую победу, но участвовавшие в битве неутомимые наблюдатели в поисках истины обогатили наши познания о Марсе и способствовали постановке его изучения на прочную основу.

В настоящее время мы располагаем поразительно мощными методами исследования нашего планетного соседа. Гигантские оптические телескопы в сочетании со спектрографами и другими

оптическими приборами позволяют исследовать интенсивность, природу и изменение света и цвета Марса. При помощи огромных радиотелескопов можно анализировать радиоизлучение Марса, а при помощи радиолокаторов послать и принять отраженный от Марса радиосигнал, который расскажет о его поверхности, атмосфере, поясах радиации (если они существуют). На баллонах и



Рис. 135. Карты Марса 1894, 1901, 1903, 1905, 1907 гг., вычерченные Лоуэлом на шарах и затем сфотографированные.

спутниках можно вынести телескопы за пределы нашей волнующейся непрозрачной атмосферы, чтобы получить сведения в далеких ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра, недоступных наблюдениям с Земли. Наконец, космические зонды могут облететь Марс и даже совершить на него посадку, передав по радио данные самых непосредственных измерений. Но даже при всех этих возможностях наши знания о Марсе остаются все еще неполными, а понимание его истинной природы лишь немного возросло по сравнению с тем, что мы узнали после первых триумфальных открытий, сделанных при помощи телескопов опытными наблюдателями. По существу, чтобы узнать о Марсе все, нам следует положиться на исследования при помощи межпланетных кораблей. В конце концов человек ступит на Марс; это будет кульминацией того вызова, которое человечество бросает величайшим преградам природы — пространству и тяготению. Но до наступления этого счастливого

дня следует выжать все возможное из тех методов наблюдений, которыми мы располагаем сейчас.

Когда Марс находится в наиболее благоприятном для наблюдений положении, то при увеличении примерно в 70 раз его диск достигает размеров видимого диска Луны. Наблюдая в небольшие телескопы, можно пользоваться таким увеличением, но более крупные телескопы эффективны лишь при гораздо больших увеличениях. Так как значительные образования на Луне различимы невооруженным глазом, читатель вправе спросить, почему же Марс трудно

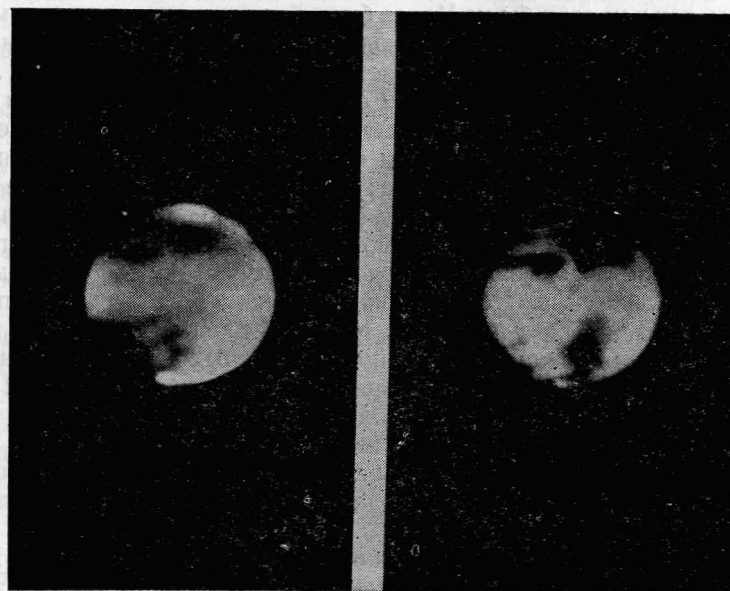


Рис. 136. Фотографии Марса, полученные при помощи 5-метрового рефлектора; слева — в синем, справа — в красном свете.

наблюдать. Трудность опять-таки обусловлена «условиями видимости» или качеством изображения, обсуждавшимся в гл. 8. При самых лучших условиях наблюдений на Земле глаз может иногда разрешить контрастные точки, отстоящие друг от друга на 35—50 км при минимальном расстоянии Марса от Земли. Очень крупные телескопы обеспечивают разрешение лишь немногим большее, чем телескопы с отверстием 50—75 см (рис. 136). Фотографический метод не обеспечивает разрешения больше 300 км, хотя можно надеяться, что применение телевизионных трубок, позволяющих благодаря их высокой чувствительности делать короткие экспозиции, даст возможность уловить мгновения хорошего качества изображения и получить на некоторых выбранных из большого числа

кадров те же детали, которые удается увидеть глазом. Сомнительно, что даже такие большие горные цепи, как существующие на Луне или на Земле, удалось бы обнаружить по отбрасываемым ими теням на поверхность Марса. Дело в том, что когда Марс ближе всего к Земле — в противостоянии с Солнцем, горы не отбрасывают теней, а когда тени должны были бы стать заметными, планета оказывается гораздо дальше от Земли. Поэтому мы не совсем уверены в том, что поверхность Марса более ровная, чем у Луны и Земли, хотя подобного рода утверждения можно услышать нередко. Возможно, однако, что поверхность Марса и в самом деле более гладкая, чем у Луны, так как если бы на Марсе были большие высокогорные массивы, то можно было бы всегда наблюдать их заснеженные вершины, но ничего подобного не наблюдается *).

Даже при первом наблюдении с небольшим телескопом при самом заурядном качестве изображения Марс сразу же выделяется среди других планет присущими ему индивидуальными особенностями. Лоуэлл писал: «Почти сразу же, как только увеличение позволяет увидеть Марс в виде диска, на нем можно различить детали — белые пятна, увенчивающие шар, усеянный сине-зелеными пятнами на оранжевом фоне». Это словесное описание Марса создает несколько более сильное впечатление, чем непосредственное восприятие новичка, впервые видящего Марс в небольшой телескоп при средних условиях видимости. Но при постоянных наблюдениях ночь за ночью глаз наблюдателя приобретает все больший и больший навык, пока он не окажется в состоянии различать такие детали поверхности, которые вначале казались совершенно невидимыми. Это замечательное повышение остроты зрения с опытом иногда недооценивалось даже опытными наблюдателями, которые не посвятили себя наблюдениям планет.

Итак, для успешных исследований деталей на поверхности Марса существенны три предварительных условия: идеальные атмосферные условия, «прекрасное зрение» и первоклассный телескоп, хотя и не обязательно большой. При наличии этих условий опытный наблюдатель Марса должен затем вести свои наблюдения каждую ясную ночь при каждом противостоянии планеты в течение многих лет. Только тогда у него будет надежда увидеть «все, что он обязан увидеть» на поверхности Марса. Естественно, что таких наблюдателей, которые обладали бы и достаточным упорством и возможностью для исчерпывающих исследований Марса, было немного. Большая часть первых визуальных наблюдений Марса была выполнена Скиапарелли и Лоуэллом.

Марс удобно наблюдать через каждые 2 года и 50 дней во время противостояний с Солнцем. Синодический период Марса относитель-

*) Снимки с близкого расстояния, полученные с помощью американского космического корабля «Маринер-IV», показывают, что рельеф марсианской поверхности очень напоминает лунный. Обнаружено большое количество кольцевых форм, весьма похожих на лунные кратеры. (Прим. ред.)

но Земли равен 780,0 суток, т. е. превышает 2 года примерно на 50 суток (см. Приложения 2 и 3). Вследствие большого эксцентриситета орбиты Марса его расстояние от Земли в противостоянии меняется почти в два раза (от 55 700 000 до 101 200 000 км). Конечно, самые благоприятные для наблюдений те противостояния, при которых Марс ближе всего, т. е. когда противостояние приходится на перигелий. Поскольку каждое следующее противостояние наступает на 50 дней позднее, благоприятное противостояние будет повторяться через 7 или 8 периодов с интервалом в 15 или 17 лет. Перигелий орбиты Марса расположен таким образом, что Марс лучше всего наблюдать в августе (1939, 1956, 1971 гг.). Положения Марса при различных противостояниях показаны на рис. 137.

Экватор Марса подобно земному наклонен примерно на 25° к плоскости его орбиты, а направление оси остается неизменным в пространстве. Следовательно, в моменты наибольшего приближения Марса мы всегда видим планету в том же самом относительном положении. Случайно оказалось, что лучше всего наблюдает-

ся южная полярная шапка, северная полярная шапка оказывается повернутой к нам при наименее благоприятных противостояниях.

Марс вращается вокруг своей оси с периодом 24 часа 37,4 минуты, т. е. его сутки от ночи до ночи почти на 40 минут длиннее наших. Вращение Марса можно заметить менее чем через час после начала наблюдений. В каждую следующую ночь нам видна одна и та же сторона планеты, так как за это время она совершает почти полный поворот вокруг своей оси. За время немногим больше месяца Земля выигрывает одно целое вращение; этого времени достаточно, чтобы завершить цикл наблюдений всей поверхности планеты. Аналогично можно провести наблюдения Марса за 24 часа при оптимальных условиях фазы, распределив наблюдателей по всей окружности Земли.

Как на фотографиях, так и при визуальных наблюдениях на Марсе прежде всего обычно обращают на себя внимание полярные шапки. Сезонные изменения, впервые отмеченные на планете Вильямом Гершелем, чередуются регулярно и даже довольно точно. Их

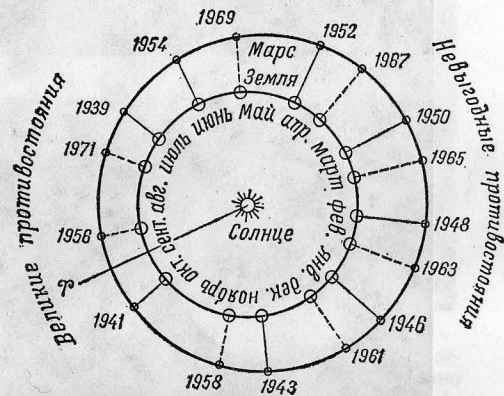


Рис. 137. Противостояния Марса с 1939 по 1990 г. Относительные расстояния указаны прямыми, соединяющими орбиты. Месяцы указаны для Земли для противостояний с сентября до марта. Марс находится к северу от экватора.

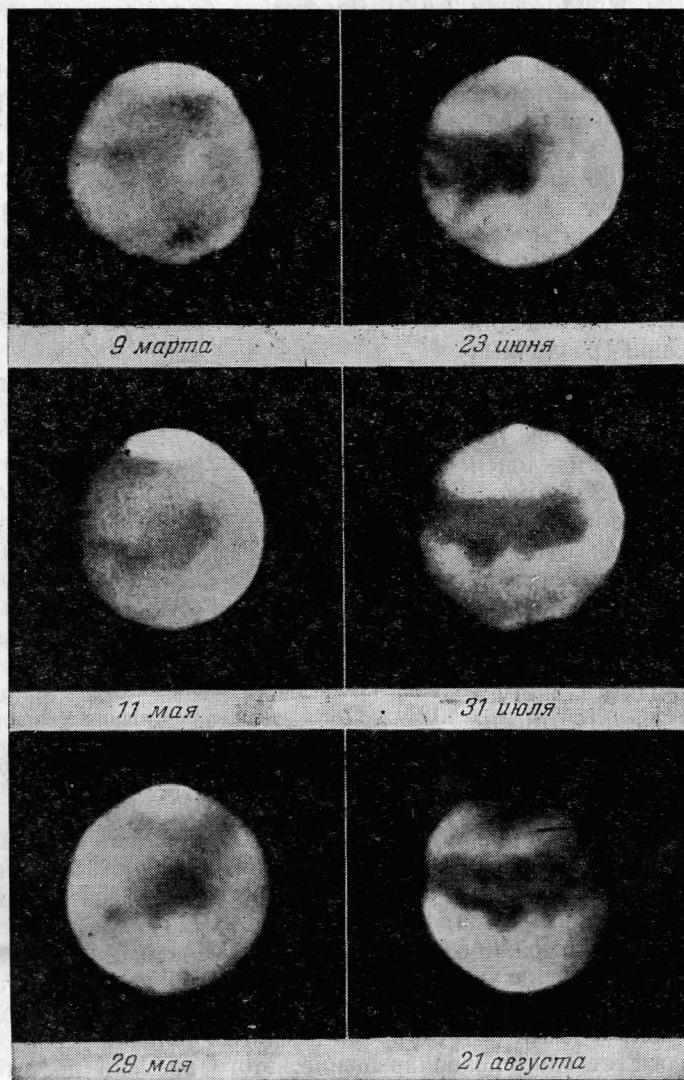


Рис. 138. Времена года на Марсе. Даты соответствуют марсианскому календарю, приведенному в соответствие с земным календарем. (Фотографии получены Слайфером, обсерватория Лоуэлла.)

наступление можно предсказать. Когда в одном из полушарий Марса на смену осени приходит зима, растет и соответствующая полярная шапка, неравномерно обрастая со всех сторон до тех пор, пока не охватит почти половину расстояния до экватора, достигая широты 57° в северном полушарии и 45° в южном; в последнем зима холоднее, а лето теплее, чем в северном полушарии. С наступлением весны (в марсианском марте) шапка начинает отступать к полюсу; к концу марсианского июля шапка на южном полюсе пропадает;

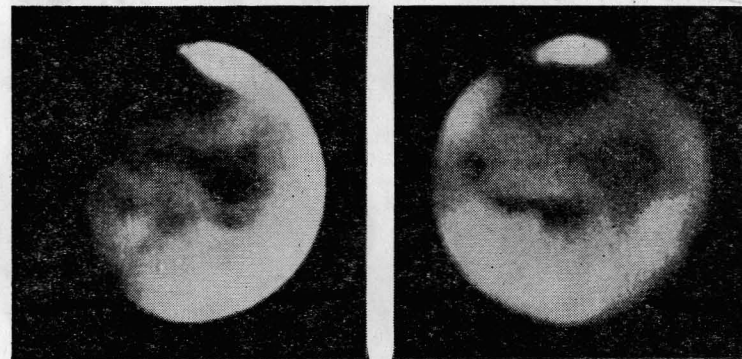


Рис. 139. Горы Митчела. Фотографии марса в 1909 и 1924 г. Отделенное от марсианской полярной шапки пятно появляется примерно 3 июня по марсианскому календарю. (Фотографии получены Слайфером, обсерватория Лоуэлла.)

северная полярная шапка полностью никогда не исчезает. На рис. 138 приведены фотографии одной и той же стороны планеты, иллюстрирующие отступление южной полярной шапки. Даты времен года на Марсе взяты такими, чтобы они соответствовали временам года на Земле; следует помнить, что марсианский год равен 687 суткам, т. е. почти двум земным годам. При тщательном просмотре ряда фотографий можно заметить общее потемнение вокруг белой шапки, когда она уменьшается в марте — мае, усиление потемнения этих областей и распространение их дальше от полюса в июне и июле и ослабление потемнения в августе. В этой последовательности события повторяются аналогичным образом каждый марсианский год.

Даже мелкие детали вновь появляются на поверхности в разные годы в одни и те же сезоны. Так, отделенная от южной полярной шапки область видна на обеих фотографиях, приведенных на рис. 139. Первая фотография была сделана в 1909 г., вторая — в 1924 г., но обе — 3 июня по марсианскому календарю. Эта устойчивая область носит название гор Митчела. Что она собой представляет — высокогорное плато или южный склон, неясно. Проведенные Дольфусом визуальные наблюдения показывают, что вокруг северной

полярной шапки имеется значительно больше деталей (см. рис. 140 — даты по марсианскому календарю соответствуют 2 июня и 12 июля).

Повторяющийся характер изменений полярных шапок сразу же наводит на мысль, что эти белые области покрыты снегом, который тает при повышении температуры. Другое возможное вещество — углекислый газ, т. е. «сухой лед». Однако измерения температуры показывают, что в середине лета температура на полюсах

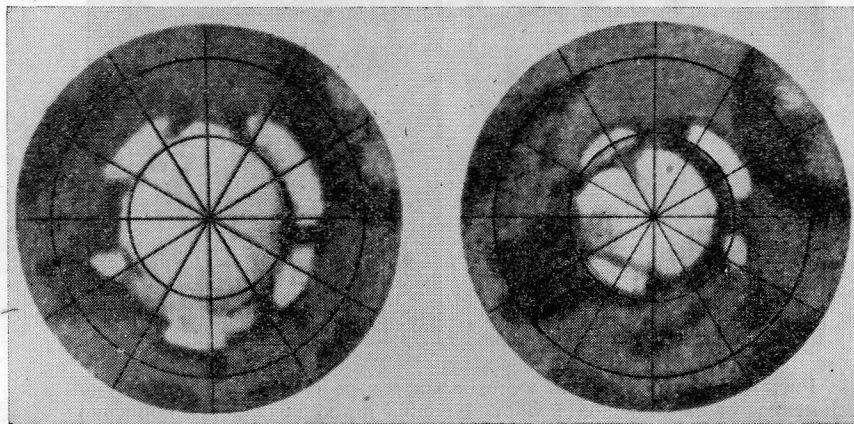


Рис. 140. Развитие северной полярной шапки Марса по наблюдениям Дольфуса с 24-дюймовым рефлектором на Пик дю Миди. Соответствующие даты по марсианскому календарю — 2 июня (слева), 12 июля (справа).

поднимается выше точки сублимации воды, а, по мнению Койпера, инфракрасный спектр шапок согласуется с предположением, что их поверхность покрыта инеем. Эти данные наблюдений оставляют нам заманчивую возможность считать, что марсианские полярные шапки и в самом деле являются снеговыми. Толщина снежного слоя не может быть слишком большой, так как получаемого Марсом от Солнца тепла (примерно 40% от тепла, попадающего на Землю) недостаточно, чтобы испарить большое количество снега. Максимальная толщина снегового слоя может составлять лишь несколько сантиметров. На Марсе, однако, вряд ли могут существовать даже хотя какие-нибудь водоемы, так как для этого там слишком уж низкое атмосферное давление; оно составляет всего $\frac{1}{9}$ давления на уровне моря на Земле *).

*) По современным данным, основанным на спектроскопических наблюдениях и измерениях, проведенных с помощью аппаратуры, установленной на борту «Маринер-IV», атмосферное давление у поверхности Марса примерно в 100 раз меньше, чем у земной поверхности. (Прим. ред.)

Когда осенью на Марсе начинает образовываться полярная шапка, можно наблюдать изменчивые голубовато-белые облака. Две

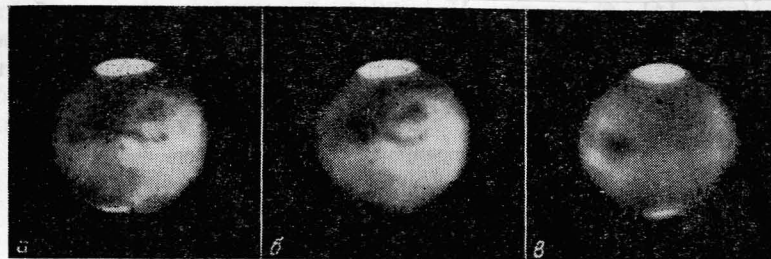


Рис. 141. Облака на северном полюсе Марса в 1939 г.: а — видимое облако близ северного полюса (внизу); б — облако в следующую ночь исчезло; в — другое облако через 6 дней появилось. (Сфотографировано Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

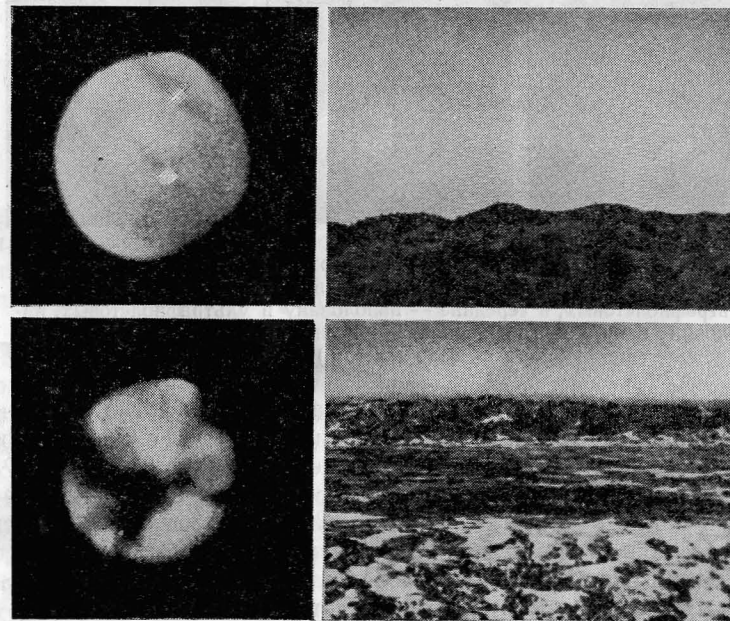


Рис. 142. Марс и долина Сан-Хозе, сфотографированные с Ликской обсерватории. Верхние фотографии сделаны в фиолетовом свете, нижние — в инфракрасном. (Сфотографировано Райтом.)

первые фотографии на рис. 141 были получены с интервалом около суток в 1939 г. Слайфером, который ездил в Южную Африку, чтобы наблюдать Марс в момент его максимального приближения к

Земле, так как в южном полушарии эту планету можно было наблюдать гораздо выше над горизонтом, чем в северном. Белое облако, видимое на рис. 141, *а* внизу (близ северного полюса), в следующую ночь (рис. 141, *б*) исчезло. Через 6 дней появилось другое облако (рис. 141, *в*). В период роста полярных шапок эти облака являются стойкими образованиями, и чтобы отличить их от инея или снега на поверхности планеты, нужны специальные методы наблюдений.

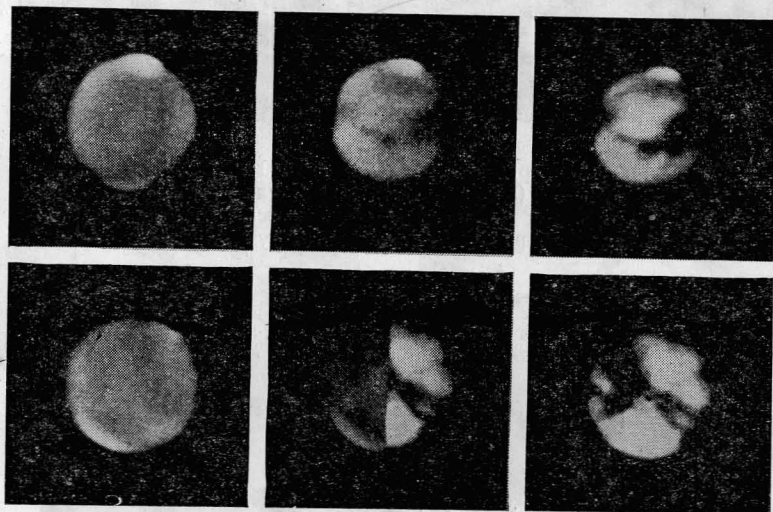


Рис. 143. Марс в различных лучах. Вверху: слева — в фиолетовых, в середине — в инфракрасных, справа — в желтых; внизу: слева — в ультрафиолетовых, в середине — наполовину в ультрафиолетовых, наполовину в инфракрасных; справа — в инфракрасных. (Фотографировано Райтом.)

Инфракрасный свет может проникать сквозь легкий туман и пыль земной атмосферы, которые непроницаемы для синего или фиолетового света. На рис. 142 представлены снимки, сделанные Райтом (1871—1959) на Ликской обсерватории. Сверху — снимки Марса и долины Сан-Хозе, сделанные в фиолетовых лучах, а снизу — те же объекты в инфракрасном свете. Эти снимки, а также фотографии на рис. 136 и 143, говорят сами за себя. Вряд ли можно сомневаться в том, что Марс окутан легкой дымкой атмосферы.

Изменчивые белые пятна, какие видны на рис. 141, оказываются яркими в фиолетовых лучах и невидимы в инфракрасных. Возможно, они представляют собой легкие облачка, состоящие из водяных паров или кристаллов льда, которые отражают фиолетовые лучи, но пропускают инфракрасные. Так как полупостоянные полярные шапки видны на фотографиях и в тех и в других лучах, но в фиолетовом свете они выглядят ярче, они должны быть подлинными поверхност-

ными отложениями, которым сопутствуют дымка, или подобные туману облака. Три верхние фотографии на рис. 143 иллюстрируют сказанное. Обратите внимание на яркость полярной шапки в фиолетовых и инфракрасных лучах. Сделанные выше выводы подтверждаются измерениями поляризации рассеянного света. По мнению Дольфюса, над полярными шапками всегда висит завеса из легких облачков, возможно, состоящих из мелких ледяных кристаллов, подобных нашим циррусам.

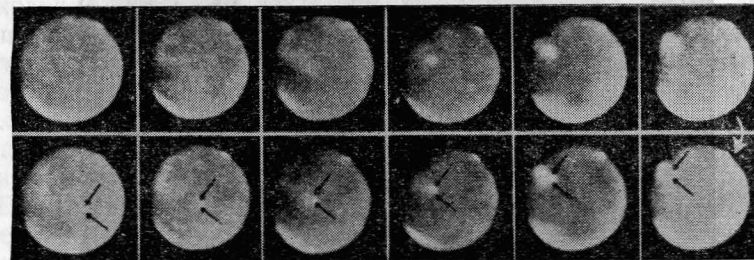


Рис. 144. Марс после полудня. Стрелками отмечено облако, развитие которого можно проследить последовательно на этих снимках. За 4 часа Марс повернулся влево. (Эти два ряда изображений совершенно одинаковы, но во втором ряду имеются стрелки.)

Облака, сходные с теми, которые видны близ полярных шапок, часто наблюдаются и в других частях диска Марса. Эти голубоватые облака существуют лишь несколько часов. Формирование такого облака на протяжении марсианского послеполуденного периода иллюстрируется серией фотографий на рис. 144. В нижнем ряду приведены те же изображения, но с указательными стрелками. За то время, пока Марс повернулся на 55°, облако, которого нет на первой фотографии, стало видимым и пересекло диск. Ярче всего оно на закате Солнца.

Некоторые из этих чрезвычайно разреженных голубоватых облаков, обычно невидимых в оранжевом и красном свете, почти всегда наблюдаются в экваториальной области во время захода и восхода Солнца, исчезая в середине дня. Дольфюс рассматривает их как утренний и вечерний тропический туман, связанный иногда с более плотными образованиями белых облаков. Тот же Дольфюс находит из поляризационных измерений, что голубоватые облака соответствуют более высокому уровню атмосферы, чем белые, и, по-видимому, их прототипом являются перламутровые облака, которые иногда видны на снимках, сделанных в синих лучах на высоте порядка 30 км в полярных районах Земли.

Тот факт, что диаметр Марса в фиолетовом свете кажется больше, чем в инфракрасном (см. рис. 143) объясняется наличием дымки в атмосфере. Однако разница — около 65 км — слишком велика,

чтобы ее можно было объяснить этой причиной. При использовании более совершенной методики наблюдений Дольфюс не обнаружил подобного эффекта.

Однако атмосфера Марса, безусловно, подернута дымкой. Замечательным свойством этой дымки является ее способность иногда рассеиваться, что позволяет фотографировать детали поверхности не только в оранжевом, желтом и красном, но и в синем свете. Это

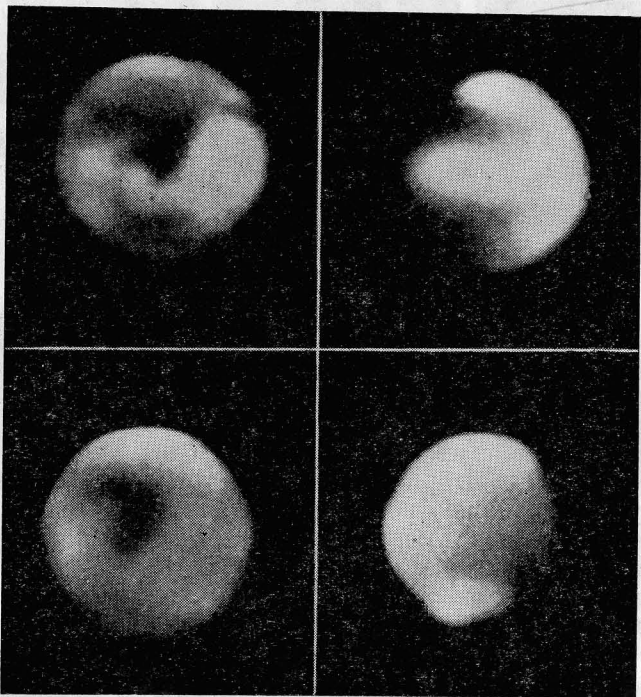


Рис. 145. Синяя дымка на Марсе прояснилась. Одна и та же сторона планеты в различные ночи 1937 г. в красном свете (слева сверху) и в синем свете. Обратите внимание на то, что на нижнем левом изображении видны детали поверхности. (Фотографировано Слайфером на обсерватории Луэлла.)

редкое и обычно наблюдаемое близ противостояния явление можно видеть на рис. 145. Вокулер показал, однако, что «синее прояснение» на Марсе может происходить и в другие моменты времени, а тот факт, что оно чаще наблюдается близ противостояний, возможно, обусловлен увеличением времени, которое уделяют наблюдениям Марса в эти периоды.

Несмотря на множество дискуссий, посвященных «синему прояснению», природа дымки не совсем ясна. По мнению Эпика, само наименование «синяя дымка» неудачно. В действительности дымка не является хорошим отражателем в синем свете; альbedo планеты составляет почти 0,3 в темно-красном свете, около 0,15—0,05 в желтом свете и всего 0,04 в темно-синем. Слайфер находит, что иногда на синих фотографиях наблюдаются обширные очень темные области. Эпик выдвигает предположение, что в действительности дымка скорее «красная», по крайней мере с точки зрения любого марсианина, поскольку она пропускает красный свет лучше, чем синий. Эпик приписывает значительную часть красноватой окраски Марса существованию этой дымки, которая вызывает покраснение солнечного света при прохождении его через атмосферу Марса и обратно, прежде чем он попадет на Землю. Таким образом, марсианские пустыни могут иметь лишь немногим менее тускло-коричневую окраску, чем поверхность Луны.

Весьма заманчиво было бы предположить, что «красная дымка» имеет органическое происхождение: в настоящее время такую возможность нельзя считать реальностью, но нельзя и исключать. Между прочим, Эпик считает, что дымка может быть более непрозрачна для ближнего ультрафиолета, чем наша атмосфера, т. е. загореть на Марсе труднее, чем на Земле.

У Марса наблюдается еще одна аномалия, которая, возможно, связана с туманностью его атмосферы. Наблюдаемое сжатие планеты, т. е. разность между экваториальным и полярным диаметрами, деленная на экваториальный диаметр, составляет $1/80$, в то время как сжатие, вычисленное по движению спутников, составляет всего $1/190$. Наблюдаемая величина сжатия требует, чтобы полярный радиус был на 43 км короче экваториального, а вычисленная — всего на 18 км, т. е. примерно на 25 км меньше. Если отнести эту разницу за счет того, что области высокогорных плато близ полюсов имеют меньшую плотность, необходимо предположить, что высота этих плато составляет около 24 км, о чем не может быть и речи. Частично эту разницу можно объяснить тем, что толщина дымки в полярных областях меньше, чем в экваториальных, а также, возможно, наложением других эффектов, например, влиянием контраста яркости на краю диска или наличием систематических ошибок, присущих методике измерений в различных длинах волн.

Кроме белых и голубоватых облаков, на Марсе иногда наблюдаются желтые облака, невидимые в фиолетовом и ультрафиолетовом свете. Желтые облака могут существовать в течение нескольких дней. По-видимому, они появляются в более низких слоях атмосферы Марса, куда фиолетовый свет не проникает. Большинство наблюдателей считает желтые облака пылью. Изредка такая пыль покрывает значительную часть поверхности Марса. Так, великое противостояние 1956 г. фактически было загублено для наблюдателей пылевой бурей, которая скрыла от глаз большинство деталей

поверхности. Было высказано предположение, что в редких случаях такие пылевые облака могут создаваться при падении больших метеоритов.

Если «голубые» облака представляют собой мглу, а полярные шапки — снег, который переносится атмосферой от полюса к полюсу в зависимости от смены времен года, то можно ожидать, что в атмосфере Марса должны наблюдаться пары воды. Однако при самых тщательных исследованиях не удалось заметить ни малейших следов воды, пока, наконец, в апреле 1963 г. Спинрад, Мюнч и Каплан при помощи 100-дюймового рефлектора обсерватории Маунт Вилсон не получили инфракрасную спектрограмму, на которой в отраженном от Марса свете видны линии водяного пара. Эти линии, смещенные благодаря лучевой скорости, равной 16 км/сек, по отношению к линиям водяного пара земной атмосферы, оказались наиболее интенсивными над полюсами Марса, соответствуя на поверхности слою жидкой воды толщиной примерно 0,01 мм.

Поиски кислорода все еще дают отрицательные результаты; во всяком случае его меньше 0,1%, содержащегося в земной атмосфере, т. е. над Джомолунгмой кислорода несоизмеримо больше, чем над поверхностью Марса.

Что касается ряда других газов, в том числе озона (O_3), метана (CH_4), аммиака (NH_3) и окиси углерода (CO), то доказано, что они отсутствуют или же что их содержание в атмосфере Марса крайне мало. Однако в 1952 г. Койпер уверенно отождествил в спектре углекислый газ. Количество его примерно в 14 раз больше, чем в земной атмосфере, и соответствует слою толщиной 18 м у поверхности Земли. Поскольку столь многие из возможных молекул исключаются из рассмотрения, как не присутствующие в атмосфере Марса, можно почти с полной определенностью утверждать, что большую часть остальных 98% составляет, как и в земной атмосфере, азот, хотя там, возможно, присутствует заметное количество аргона *). Таким образом, атмосфера Марса, по-видимому, неядовита, но полностью непригодна для нашего дыхания.

Полная масса атмосферы Марса, вероятно, составляет около $1/30$ массы земной атмосферы, однако (вследствие меньших размеров планеты) на единицу поверхности приходится не в 30, а в 2,5 раза меньшая масса атмосферы, чем на Земле. Так как сила тяжести на Марсе меньше, чем на Земле, давление на его поверхности не превышает $1/8$ давления на уровне моря на Земле **). Такие условия соответствуют на Земле высоте порядка 15 000 м над уровнем моря. Поэтому человеку на Марсе потребовались бы для дыхания не только кислород, но и дополнительное давление. Марсианская атмосфера, вероятно, соответствует по плотности атмосфере Земли

*) По современным данным относительное содержание CO_2 в атмосфере Марса находится в пределах от 10 до 100%. Полное количество CO_2 в атмосфере Марса составляет от 40 до 80 м-атм. (Прим. ред.)

***) См. примечание на стр. 204.

примерно на высоте 35 км, но так как на больших высотах атмосфера Марса характеризуется большими плотностью и давлением, малая сила тяжести позволяет атмосфере больше расширяться, чем это допускается на Земле. В результате ионосфера и области возникновения полярных сияний, если они существуют на Марсе, должны находиться на больших высотах, чем на Земле *).

Температура на Марсе, согласно измерениям теплового излучения в инфракрасной области спектра, изменяется в широком диапазоне значений: от $21^\circ C$

и выше в полдень вблизи подсолнечной точки до $-73^\circ C$ и ниже после захода Солнца. На рис. 146 приведены собранные Минцем типичные значения температуры для северного полушария в середине зимы и для южного полушария в середине лета. Минимальное значение температуры после захода Солнца ($-79^\circ C$) было измерено Синтоном и Стронгом; ранее измерения температуры Марса были выполнены Кобленцем и Лампландом на обсерватории Лоуэлла, а также Петтитом и Никольсоном на обсерватории Маунт Вилсон. Возможно, что поздно ночью температура на Марсе падает еще ниже. Поэтому весь диапазон суточных колебаний температуры может даже превышать $100^\circ C$.

Вычисления, выполненные на основе измерений солнечного излучения и альбедо Марса, показывают, что средняя температура планеты должна быть около $-48^\circ C$. Наблюдения радиоизлучения Марса на высоких частотах (на волне 3 см), проводившиеся на Морской исследовательской лаборатории, дают температуру $-62^\circ C$, что может служить мерой для средней температуры на небольшой глубине под поверхностью Марса. Во всяком случае хорошее согласие между результатами радиоизмерений и вычислений позволяет сделать такое предположение. Хотя в полдень температура поверхности достигает в некоторых областях Марса $21^\circ C$, температура

*) Максимум ионизации в марсианской ионосфере находится на высотах 120—160 км — это было установлено в результате измерений, проведенных на борту «Маринера-IV». (Прим. ред.)

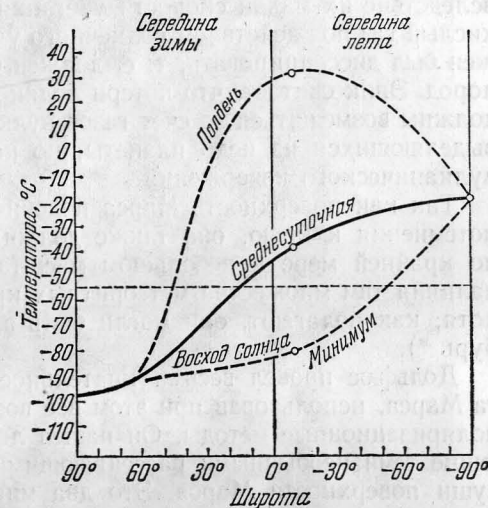


Рис. 146. Средняя и крайние значения температуры поверхности Марса в функции широты для середины зимы в северном полушарии и середины лета в южном. Кружками указаны наиболее надежные значения. (По Минцу.)

воздуха в этих областях может быть существенно ниже. Согласно вычислениям Минца температура атмосферы на небольшой высоте над поверхностью может быть на 25° ниже температуры почвы, так как атмосфера является хорошим излучателем, а оранжевый эффект для Марса незначителен. Таким образом, Марс, как обитель для жизни людей, немногим привлекательнее Луны.

Согласно вычислениям Эпика такие легкие газы, как водяной пар и метан, должны были довольно быстро улечься с Марса вследствие их малой скорости убегания — около 5 км/сек , а углекислый газ под действием солнечного ультрафиолетового света должен был диссоциировать, т. е. должен был также исчезнуть и кислород. Эпик считает, что потери водяного пара и углекислого газа должны возмещаться за счет газов вулканического происхождения, выделяющихся из недр планеты, но не обязательно в результате вулканического извержения.

Так как поверхность Марса подобно лунной отражает свет без потемнения к краю, она также должна быть очень шероховатой, по крайней мере в небольшом масштабе. Можно также ожидать наличия там множества метеоритных кратеров заметных размеров, хотя, как полагают, они могли быть засыпаны во время пылевых бурь *).

Дольфюс провел весьма тщательное изучение рассеянного света Марса, используя при этом все возможные фотометрические и поляризационные методы. Он нашел лишь два материала, обладающие теми необычными рассеивающими свойствами, которые присущи поверхности Марса. Это два минерала — лимонит и гетит; оба они — окислы железа, состоящие из Fe_2O_3 ; лимонит содержит две молекулы окиси на три молекулы H_2O , а гетит — одну молекулу окиси на одну молекулу H_2O . Дольфюс полагает, что поверхность Марса покрыта легкой сухой пылью, значительную долю которой составляют эти окислы. С этим предположением согласуется упомянутое выше довольно частое явление пылевых бурь. Однако можно ожидать, что под поверхностным слоем благодаря низким температурам и наличию на Марсе некоторого количества воды вся планета состоит из вечной мерзлоты.

В реальности и устойчивости существования деталей на Марсе читатель может убедиться путем тщательного сравнения различных фотографий и рисунков, приведенных в этой главе. Серия фотографий на рис. 147 показывает последовательные положения планеты с поворотом на 30° по отношению к предыдущему снимку. Легкость, с которой можно проследить за деталями при переходе от одного изображения к другому, показывает их реальность и говорит о блестящем качестве этих фотографий, сделанных Слайфером. Некоторые из самых заметных деталей поверхности отождествляют по их латинским наименованиям. *Mare* означает море, *sinus* —

бухта или залив, *lacus* — озеро, *lucus* — роща или лес, *fretum* — пролив или канал и *palus* — топь или болото. В действительности на Марсе нет больших водных массивов; эти названия были даны, как и в случае Луны, по аналогиям с земными образованиями. Водный массив, отражая солнечный свет, выглядел бы как яркая точка. Несмотря на тщательные поиски, никаких солнечных зайчиков на Марсе нигде не наблюдалось.

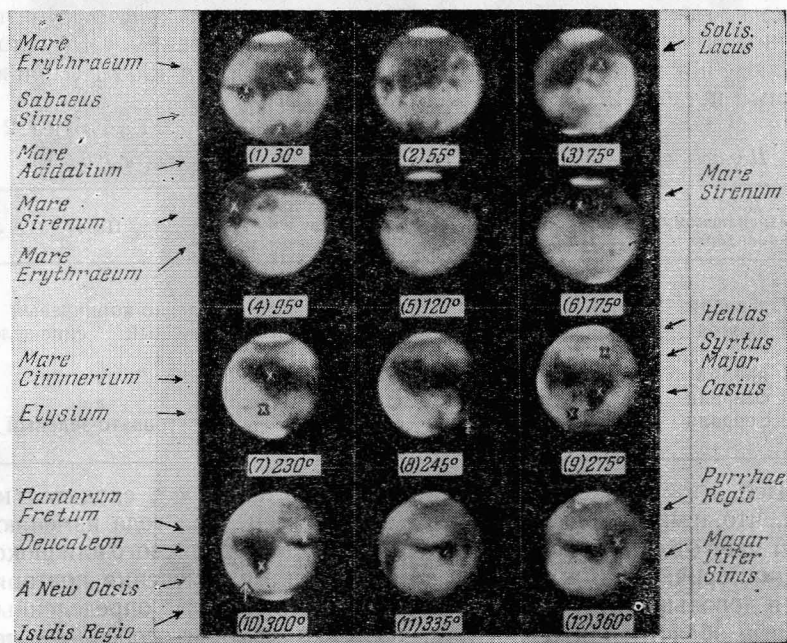


Рис. 147. Панорама Марса. Эти фотографии Марса, полученные в 1939 г., показывают планету, последовательно повернутую примерно на 30° . (Сфотографировано Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

«Водные» наименования относятся к более темным областям. Более светлые на photographиях области (за исключением полярных шапок) представляют собой большие пустыни. При рассмотрении в телескоп эти области кажутся коричневато-желтыми или оранжевыми и в основном имеют неподходящие наименования, такие как Элизиум, Электра, Элас и т. п. Пустыни придают Марсу его красноватый цвет. Более темные области наблюдатели описывают как имеющие зеленый, сине-зеленый или серый цвет со многими вариациями оттенков. Разные наблюдатели довольно согласованно определяют цвета различных областей, но большинство современных исследователей Марса считает, что темные области в действитель-

* См. примечание на стр. 200. (Прим. ред.)

ности имеют главным образом серую окраску с различными ее оттенками, а оттенки, видимые как зеленые, обусловлены больше частью физико-оптическими эффектами. Этот вывод вовсе не подразумевает психологический обман зрения у других наблюдателей при тщательных наблюдениях ими Марса. Скорее, он затрагивает сложную проблему недостаточно изученного процесса цветного зрения.

Сезонные изменения темных областей Марса поразительны. Если даже цветовые изменения могут быть в значительной мере оптическим обманом, для нас останутся в силе записанные Лоуэллом наблюдения изменений цвета Эритрейского моря в 1903 г., приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Цветовые изменения на Марсе по наблюдениям Лоуэлла в 1903 г.

Дата по марсианскому календарю	Цвет	Дата по марсианскому календарю	Цвет
27 декабря	Сине-зеленый	17 февраля	Бледно-коричневый
16 января	»	19 февраля	Бледный сине-зеленый
31 января	Коричневый	6 марта	»
4 февраля	»	8 марта	»
13 февраля	Бледно-коричневый	23 марта	Голубовато-зеленый

Все, кто наблюдал цвета на поверхности Марса, сходятся на том, что темные области в зависимости от времени года изменяют свой цвет от сине-зеленого весной и летом до коричневого или шоколадно-коричневого в середине зимы. Сезонные изменения повторяются довольно регулярно каждый год, но некоторые определенные темные области при одних противостояниях могут особенно выделяться, а при других противостояниях в значительной степени исчезать. Такие изменения показаны на рис. 148.

Жаркий спор относительно каналов на Марсе в наше время почти угас. Все согласилось с тем, что такие детали на Марсе имеются, что некоторые из них двойные и что в местах пересечения каналов встречаются многочисленные темные пятна, обычно называемые оазисами. Видимость этих деталей, которые можно классифицировать как сетку, меняется в зависимости от времени года на Марсе и до некоторой степени в тот же сезон от года к году. Они становятся лучше различимыми в начале лета, когда усиливается окраска темных областей. Но никто не согласен с Лоуэллом в том, что каналы — это искусственные или естественные водные пути.

На рис. 147 отмечен новый оазис, обнаруженный в противостоянии 1939 г. На рис. 149 внизу приведен рисунок Марса. Справа от рисунка помещена его фотография, сделанная на некотором расстоянии при помощи того же телескопа, который был использован для

получения двух изображений Марса в верхней части рисунка. Аналогичная пара представлена на рис. 150. Близкое сходство фотографий и зарисовок Марса очевидно. На оригинальных фотографиях планеты хорошо воспроизводятся основные детали поверхности,

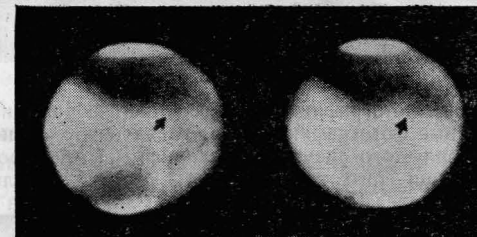
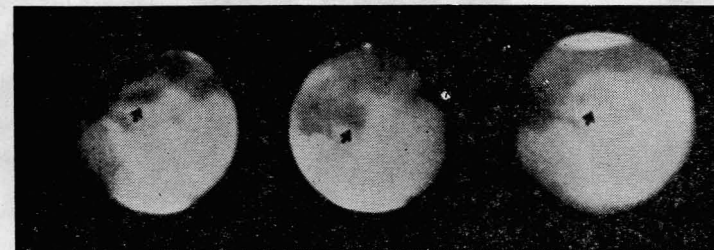


Рис. 148. Изменения на Марсе. *Вверху* — Озеро Солнца в 1911, 1926 и 1939 гг.; *в середине* — изменения близ Леса Циклопов и Залива Гомера в 1907 и 1939 гг.; *внизу* — изменения в Киммерийском Море в 1907 и 1939 гг. (Сфотографировано Лоуэллом и Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

изображаемые при добросовестных одновременно сделанных зарисовках. Большинство деталей, имеющих на старых рисунках, можно отождествить на новых фотографиях, сделанных в соответствующие даты по марсианскому календарю. Слайфер иногда указывает, что на фотографиях видно больше деталей, чем на рисунках. Барнард, Антониади (1870—1944), а позднее Койпер независимо пришли к согласованному выводу о том, что каналы не кажутся простыми прямыми линиями. По мнению этих наблюдателей, поверхность Марса, насколько можно судить о ней в редкие моменты

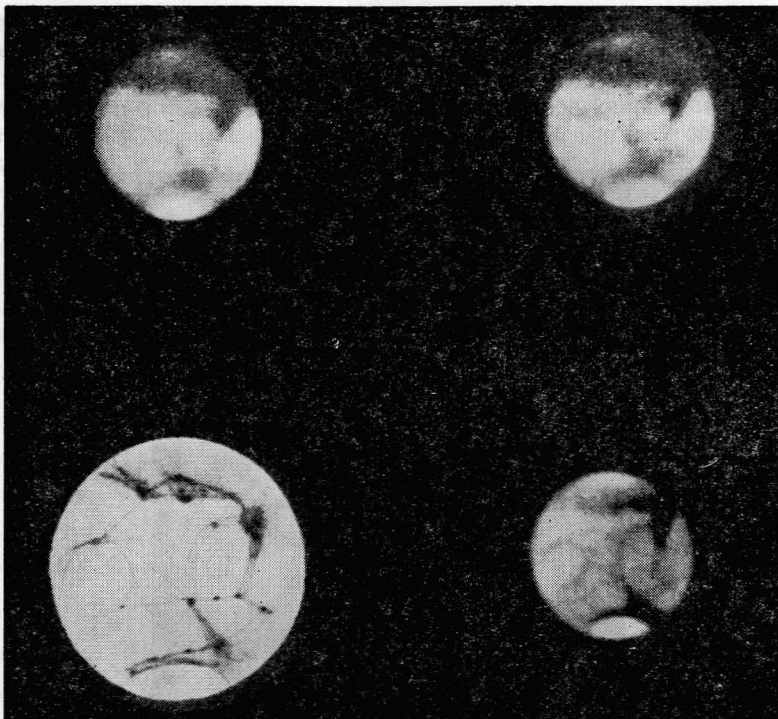


Рис. 149. Рисунки и фотографии Марса. Верхние изображения представляют непосредственные фотографии Марса, слева внизу — рисунок, справа внизу — фотография этого рисунка, сделанная на некотором расстоянии от него при помощи того же телескопа, который использовался при фотографировании Марса. (Сфотографировано Слайфером на обсерватории Лоуэлла.)

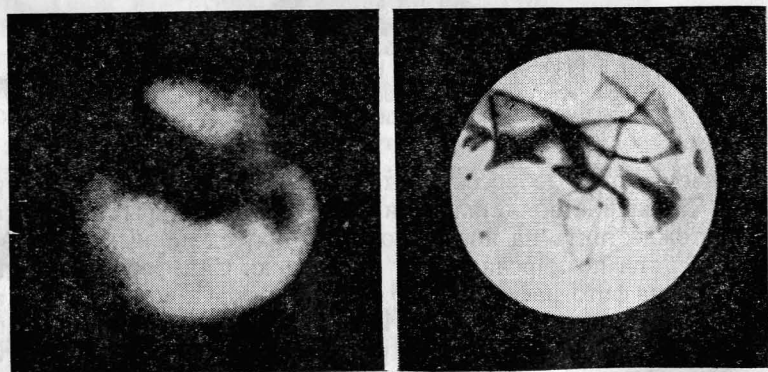


Рис. 150. Фотография и рисунок Марса в одну и ту же ночь в 1926 г.

отличных условий видимости, имеет слишком сложную структуру, чтобы ее можно было изобразить набором геометрических линий. Многим наблюдателям каналы кажутся не прямыми, а обычно искривленными линиями. Очевидно, что если и есть среди «каналов» прямолинейные, то их очень мало, бесспорным является разнообразие их структуры и различие ширины. Существование непрерывной

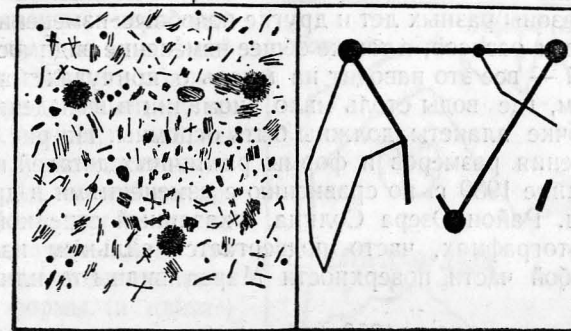


Рис. 151. Встаньте на расстоянии 5—6 метров от рисунка и обратите внимание на сходство этих двух картинок. Каналы на Марсе могут быть кривыми или прямыми линиями или же последовательностью более мелких деталей (из книги Пиккеринга «Марс»).

сети каналов вызывает большие сомнения. Трудность разрешения этого вопроса лучше всего иллюстрируют два рисунка, сделанных Пиккерингом и приведенных на рис. 151. На расстоянии 5—6 м, на котором глаз уже не может различить мелкие детали, оба эти рисунка выглядят совершенно одинаковыми. Следовательно, каналы могут оказаться случайными пятнами.

Возможно, конечно, что некоторые каналы представляют собой старые русла рек, размытые в ту пору, когда на Марсе было много воды. Поскольку теперь для заполнения всех протоков воды явно нехватает, атмосфера может переносить пары воды вдоль этих углублений в поверхности. Из-за крайне низких температур ночью весь водяной пар будет практически удален из атмосферы, а на почве останется изморозь и, возможно, тонкие облака из кристаллов льда. Испаряющаяся днем вода останется близ поверхности, как это происходит и на Земле. Таким путем могут распространяться по каналам от тающих полярных шапок «волны оживания» Лоуэлла, которые им наблюдались. По подсчетам Лоуэлла, вода в среднем продвигается к экватору со скоростью 3,4 км/час. Аналогичные эффекты могут наблюдаться, если каналы представляют собой систему разрывов или естественных углублений на поверхности планеты.

Если темные области Марса действительно являются углублениями по отношению к пустыням, основной довод за перенос воды

атмосферными течениями усиливается. Когда воды так мало, а атмосфера столь разрежена, понижение температуры и плотности на высоте даже в несколько сотен метров может сильно уменьшить способность атмосферы к переносу воды, несмотря на малую силу тяжести на поверхности и связанный с этим малый градиент давления.

Небольшие отклонения от нормального потемнения в соответствующие сезоны разных лет и другие подобные изменения видимости каналов и оазисов, а также общее изменение видимости отдельных деталей — все это наводит на мысль о причудах марсианской погоды. Там, где воды столь мало, аномалии в выпадении осадков в любой точке планеты должны быть огромны. На рис. 148 показаны изменения размеров и формы различных деталей на Марсе в противостоянии 1939 г. по сравнению с изменениями в другие противостояния. Район Озера Солнца, указанный стрелкой на трех верхних фотографиях, часто подвергается сильным изменениям. Почти в любой части поверхности Марса видны те или иные изменения.

Хотя противостояние 1956 г. в основном не оправдало надежд наблюдателей, Слайферу удалось сделать новое открытие, относящееся к Марсу. Он заметил, что часто области наибольшей облачности вскоре становятся исключительно темными областями на фотографиях, сделанных в красных лучах. Иными словами, в этих больших областях происходит какая-то физическая реакция, связанная с облаками, которая заставляет почву темнеть. Едва ли мы можем объяснить это явление выпадением дождя или других осадков, так как слишком высоко давление паров в такой сухой атмосфере, но мы можем допустить, что существует какое-то взаимодействие поверхности с облаками; может быть, это — увеличение влажности поверхности или связанное с поглощением влаги изменение отражательной способности веществ поверхности. Слайфер отказался от предположения, что облака — это прежде всего пылевые образования, и его отказ имеет определенные основания.

Очень трудно не поддаться соблазну и не сделать вывод, что темные области Марса действительно имеют растительный покров; но прежде чем сделать столь важный вывод, следует более критически рассмотреть все доводы за и против, которыми мы располагаем. Единственным прямым подтверждением наличия на Марсе растительности являются произведенные Синтоном наблюдения в 1958 г. инфракрасного спектра Марса в области длин волн порядка 0,0035 мм, в котором были найдены три полосы поглощения, до сих пор обнаруживаемые лишь в спектрах органических веществ (рис. 152). Эти полосы, соответствующие естественным колебательным процессам в молекулах углеводов и углеводородов, обнаруживаются в свете, отраженном от поверхности древесины, листы и большинства одушевленных и неодушевленных представителей органической жизни. Синтон обнаружил эти полосы поглощения только

в спектре темных областей Марса и не нашел их в спектре марсианских пустынь. Никто, однако, не сделал окончательной проверки с тем, чтобы убедиться, что в спектрах неорганических веществ этих полос быть не может*).

Косвенных же данных, допускающих существование на Марсе растительной жизни, имеется много: более или менее приемлем диапазон значений температуры; полярные шапки, вероятно всего, состоят из замерзшей воды; наблюдаются облака, по-видимому, состоящие из кристаллов льда; «волны оживления», распространяющиеся от края тающей полярной шапки, наводят на мысль о росте растительности; это предположение подтверждают изменения формы (и цвета?) темных областей и каналов, и даже наблюдаемые неправильности этих изменений вполне объяснимы. Вдобавок Дольфус обнаружил характерные, связанные со сменой времени года изменения поляризации света, рассеянного темными областями, и отсутствие таких изменений для пустынных областей. Эпик утверждает также, что лишь ежегодным возрождением растительности можно объяснить, почему пыльные бури не скрывают от нас полностью темные области планеты и не делают ее единообразной во времени и пространстве.

Кроме того, мы располагаем показаниями, согласно которым сложный процесс, называемый жизнью, может происходить при благоприятных обстоятельствах без сверхъестественного вмешательства. Ранее других с глубоким проникновением в суть процесса вопрос о происхождении жизни был рассмотрен русским биологом А. И. Опарным**. В 1953 г. Миллер (Чикагский университет),

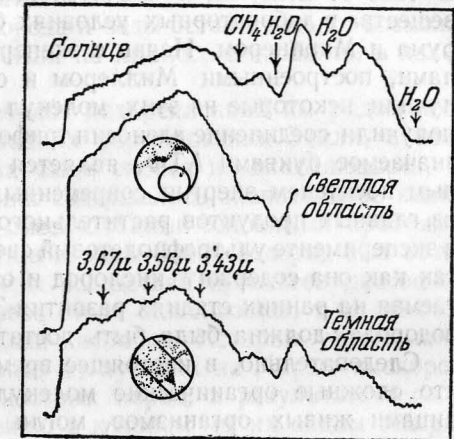


Рис. 152. К доказательству наличия органической материи на Марсе. Приведены три записи в инфракрасной области спектра, полученные Синтоном; сверху — для Солнца, в середине — для яркой (пустынной) области Марса, внизу — для темной области Марса. Обратите внимание на полосы поглощения в длинах волн 3,67; 3,56 и 3,43 мк.

*) Недавно Синтон с соавторами опубликовал заметку, в которой результаты Синтона, полученные в 1958 г., подвергаются сомнению. Возможно, что полосы поглощения, наблюдавшиеся Синтоном, принадлежат в действительности не Марсу, а земной атмосфере. (Прим. ред.)

***) А. И. О п а р н, Возникновение жизни на Земле, изд. 2-е, Изд-во АН СССР, 1941. (Прим. ред.)

проверяя предложенную Юри теорию, поставил опыт, ставший теперь классическим. В плотно закрытом сосуде он поместил просеятое вещество — аммиак, водород, метан и воду, подогрел эту смесь и пропустил через нее электрический ток; в результате в сосуде образовалось несколько сложных молекул аминокислот, которые являются существенно необходимыми для жизненных процессов. В 1963 г. следующий значительный шаг к образованию живого вещества в лабораторных условиях был сделан Саганом, Поннамперумом и Маринером. Начав с экспериментов со сложными молекулами, построенными Миллером и его последователями, они облучили некоторые из этих молекул ультрафиолетовыми лучами и получили соединение аденозин трифосфат. Это вещество, обычно обозначаемое буквами АТФ, является «универсальным» промежуточным носителем энергии современных земных организмов и одним из главных продуктов растительного фотосинтеза. Исползованный в эксперименте ультрафиолетовый свет не смог бы пройти атмосферу, так как она содержит кислород и озон. Но атмосфера, предполагаемая на ранних стадиях развития Земли с присущим ей избытком водорода, должна была быть достаточно прозрачной.

Следовательно, в настоящее время, в сущности, уже доказано, что сложные органические молекулы, являющиеся предшественниками живых организмов, могли развиваться на Земле в силу естественного хода событий. У нас теперь мало оснований для сомнений в самопроизвольном возникновении жизни на Земле. Чтобы поверить этому объяснению происхождения жизни, нужно меньше допущений, чем для принятия других более субъективных объяснений.

Аналогичные процессы могли происходить и на Марсе. Различные исследователи доказали, что некоторые из земных микроорганизмов вполне могли бы *выжить* при тех резких колебаниях температуры, низком атмосферном давлении, недостатке воды и отсутствии кислорода, которые, насколько нам известно, присущи поверхности Марса. Вслед за естественным развитием простейших молекул — носителей «жизни», на Марсе, так же как и на Земле, начался в соответствии с учением Дарвина естественный отбор, в результате которого в ходе биологической эволюции создавались все более и более сложные системы. По-видимому, вполне возможно предположить, что история Марса на первых этапах его развития во многих отношениях аналогична первоначальной истории Земли, что допускает возможность продолжения там биологической эволюции, хотя и неизвестно, до какой степени.

Развивая дальше нашу оптимистическую гипотезу, мы, очевидно, можем предположить существование на Марсе растительной жизни, напоминающей растительность пустынь или высокогорных районов Земли. Эта скудная растительность должна быть весьма стойкой по отношению к падению температуры ниже нуля. Вероятно, к суровым марсианским условиям могли бы приспособиться

растения пустыни, существующие долгое время за счет внутренних запасов воды. Наиболее вероятными представителями растительной жизни, по-видимому, являются мхи и лишайники, поскольку именно они последними на Земле исчезают с горных склонов и в арктической тундре. Не исключено, однако, что лишайники являются слишком сложными растениями и поэтому не могли развиваться в суровых марсианских условиях.

Хотя сейчас на Марсе кислорода и воды осталось мало, возможно все же, что эти вещества были на планете в изобилии в далеком прошлом.

Согласно развитой Юри теории, подкрепленной им рядом веских аргументов, на ранних стадиях формирования Земли, а возможно и Марса, атмосферы их были скорее не окисляющими, а восстанавливающими, т. е. в них содержалось значительное количество свободного водорода в смеси с такими основными простыми соединениями, как аммиак, метан и вода. Затем водород был потерян верхними слоями атмосферы вследствие процессов диссоциации, и в конце концов атмосфера стала окисляющей, т. е. ее составным элементом стал свободный кислород. Историю утраты кислорода могут рассказать красные (?) пустыни на Марсе: кислород соединился с железом поверхностных пород, в результате чего и образовались пустыни в том виде, в котором мы их видим теперь. Кислород мог в буквальном смысле слова заржаветь. Ясно, что на Земле океаны и атмосфера, если не целиком, то в значительной степени обусловлены вулканической деятельностью. Более слабой вулканической деятельностью и меньшей силой тяжести на поверхности Марса можно объяснить существующие различия свойств поверхностей и атмосфер этих двух планет. Малая скорость убегания, всего около 5 км/сек , допускает хоть и очень медленную, но значительную потерю атмосферы. Самые верхние холодные слои планеты скорее поглощали газы и жидкости, чем пополняли их приток к поверхности. Много воды может находиться в связанном состоянии как в виде химических соединений с горными породами в форме гидратов, так и в виде вечной мерзлоты. Благодаря всем этим факторам Марс мог состариться и стать тем мертвым миром, каким мы видим его сегодня.

Большие «моря» и другие темные области, возможно, представляющие собой заполненные осадочными породами ложа древних морей, могут в настоящее время быть самыми плодородными областями планеты. Их, по-видимому, более низкий уровень поверхности способствует притяжению не часто встречающейся на Марсе воды при ее переносе в атмосфере, и почва в этих местах может быть плодородной. Отсутствие воды породило бесплодные пустыни, подобные пустыням на Земле. Окрашенная пустыня в штате Аризона, представляющая собой дно древнего океана с напластованиями осадочных пород, была когда-то зеленым лесным массивом, от которого теперь остался лишь окаменелый лес.

Существуют ли на Марсе разумные существа, способные оценить величие марсианского ландшафта? Этот вопрос относится к сфере чистых гипотез. Если мы верно восстановили историю Марса, то у нас мало оснований полагать, что жизненные процессы могли не следовать пути эволюции на Земле. При таком предположении выявляются три основные возможности. Во-первых, разумные существа могли защитить себя от весьма медленной потери кислородной атмосферы и воды путем постройки жилищ и городов (небольших или под землей, иначе их все же можно было бы заметить), физические условия внутри которых научно контролируются. Странно, однако, что такие существа не располагают мощными радиоустановками. Во-вторых, в результате эволюции на Марсе могли развиваться существа, способные противостоять суровости марсианского климата. Эта раса могла погибнуть, например, в результате ядерного уничтожения. В-третьих, и это, пожалуй, самое вероятное, — эволюция приостановилась на некоторой ранней стадии.

Эти возможности достаточно широко обсуждались в псевдонаучной литературе, поэтому их дальнейшее углубление излишне. Однако могут существовать некоторые интересные особенности в анатомии и физиологии марсианина. Например, разреженность атмосферы может потребовать совершенно иной дыхательной системы для теплокровных созданий, если таковые вообще существуют. Если атмосферное давление гораздо ниже давления паров воды при температуре тела индивидуума, процесс дыхания легкими нашего типа становится невозможным. При температуре тела 37°C критическое давление на Марсе наступает, когда в столбе атмосферы содержится $1/6$ массы атмосферы аналогичного столба на Земле. При температуре тела 25°C критическое отношение атмосферных масс снижается примерно до $1/12$, а при $15,5^{\circ}\text{C}$ — примерно до $1/24$. Эти критические значения попадают в диапазон оценок массы марсианской атмосферы. Следовательно, анатомия и физиология нашего гипотетического марсианина должна радикальным образом отличаться от нашей анатомии и физиологии.

Возвращаясь обратно к реальной действительности, мы вынуждены отметить, что зеленоватая окраска темных областей не подтверждается современными наблюдателями и что даже красный цвет пустынь *может* порождаться дымкой, а сезонные изменения, хотя, по-видимому, они и обусловлены водяным паром, вполне могут представлять собой один из видов химического неорганического взаимодействия с материалами поверхности, в результате чего возникает потемнение и появляются полосы поглощения, наблюдавшиеся Синтоном. Эпик и Томбó высказали предположение, что строение поверхности может также в значительной мере определяться падением больших метеоритов из пояса астероидов. Великолепными образцами больших метеоритных кратеров могут быть оазисы. С другой стороны, как предположил Мак-Лафлин (Мичиганский

университет), пятна на поверхности Марса могут быть следствием деятельности вулканов, газы и пепел которых, разносимые ветрами в определенных преимущественных направлениях, привели к образованию постоянно существующих, хотя и изменчивых темных областей, которые мы наблюдаем.

Размышления о жизни на Марсе — увлекательное умственное занятие. Когда космические зонды доставят нам более детальные сведения о природе Марса, могут появиться еще более новые гипотезы о жизни на этой планете. Пожалуй, перед нами нет более влекущей проблемы, чем разгадка возникновения и природы жизни. Имеются ли по соседству с нами в межпланетном пространстве живые существа, пусть даже всего лишь в форме простейших растений и животных? Марс оставляет нам почти единственную надежду положительного ответа на этот вопрос.

Происхождение и развитие солнечной системы

В наши дни мы не можем уже надеяться, что философ, сидя спокойно в кресле, разрешит основные проблемы происхождения и развития солнечной системы. Удовлетворительная теория должна объяснить целый ряд наблюдательных фактов, но при этом она не должна противоречить законам движения и современной физики. До сих пор все предложенные гипотезы терпели неудачу или оказывались несостоятельными при проверке их соответствия физической теории. Современный подход к обсуждаемой проблеме менее непосредствен, чем старый метод, который опирался на всеобъемлющие гипотезы. Новый метод, возможно, медлительнее, но он гораздо надежнее. Путем непосредственного исследования фактов мы можем, постепенно сужая диапазон возможных значений, выявить физические условия, при которых развивались планеты. В конце концов процесс происхождения планет должен стать понятным.

В настоящей главе мы сначала сопоставим некоторые из наиболее важных наблюдений, относящихся к проблеме, затем кратко рассмотрим прежние гипотезы и их наиболее явные недостатки и, наконец, сделаем первые шаги по пути современного подхода к разрешению проблемы.

Интересно отметить, что современной науке возраст Земли известен, хотя ее происхождение продолжает оставаться трудной задачей. Самые древние породы земной коры затвердели примерно 3 млрд. лет назад, а вещество Земли было собрано воедино более 4,6 млрд. лет назад. Радиоактивные вещества, находящиеся внутри горных пород, оставляя при распаде мельчайшие следы свинца, гелия и атомов других веществ, дают меру времени, прошедшего с момента остывания Земли. Исследования метеоритов показывают,

что ни один из этих пришельцев из космического пространства не находился в твердом состоянии значительно большее время, чем вычисленный возраст Земли. Так как метеориты представляют собой части солнечной системы, то из соответствия их возраста возрасту Земли можно сделать вывод, что солнечная система и Земля являются современниками. Поэтому проблема происхождения Земли является одновременно и проблемой происхождения всей солнечной системы. Почти 5 млрд. лет назад случилось какое-то событие, которое привело к образованию планет, и возник тот порядок и те закономерности, которые мы наблюдаем и сегодня.

Прежде всего не может не броситься в глаза исключительная упорядоченность в движениях планет. Члены солнечной системы движутся в одном и том же направлении почти в одной плоскости. Не только планеты и тысячи астероидов движутся, обращаясь вокруг Солнца, в одной плоскости, но в той же плоскости движется большинство спутников вокруг планет. Более того, Солнце и все планеты, за исключением одной, следуют тому же правилу в своем осевом вращении. Даже кольца Сатурна участвуют в этом общем движении. Немногочисленными исключениями, о которых мы уже говорили, являются система Урана, Тритон Нептуна и некоторые внешние спутники Юпитера и Сатурна; кроме того, к исключениям относится заметная доля комет.

Общее движение столь многих тел наводит на мысль о каком-то первичном вращательном действии — как будто солнечная система была когда-то приведена во вращение неким космическим пальцем. В действительности во внешних областях солнечной системы движение столь быстрое, что все старые эволюционные гипотезы терпели поражение в одном отношении: они не могли объяснить, почему момент количества движения больших планет так велик. Момент количества движения планеты, движущейся по круговой орбите на определенном расстоянии от Солнца (которое практически находится в центре тяжести солнечной системы), равен произведению массы планеты на ее расстояние от Солнца и на скорость. Так как скорость уменьшается пропорционально всего лишь корню квадратному из расстояния, то чем больше расстояние данной массы от Солнца, тем больше ее момент количества движения. Для планеты, движущейся по эллиптической орбите, закон площадей Кеплера выражает постоянство момента количества движения в течение всего периода обращения. Когда планета ближе к Солнцу, она движется быстрее, чем тогда, когда она дальше от Солнца. Никакая сила, направленная к Солнцу или от него, не может изменить момента количества движения планеты. Только внешний толчок или торможение при движении по орбите могут увеличить или уменьшить существующее количество движения.

Юпитер с его огромной массой несет примерно 0,6 всего момента количества движения солнечной системы. Четыре гигантские планеты обеспечивают около 98% момента количества движения, а

земные планеты 0,2%. Солнце же, масса которого в тысячу раз больше массы Юпитера, вращается так медленно, что его момент количества движения составляет всего 2% от общей величины. Если бы все планеты можно было положить на Солнце и вместе с тем передать ему их моменты количества движения, то увеличенное за счет планет Солнце имело бы период вращения не месяц, а 12 часов.

Гипотеза происхождения солнечной системы должна прежде всего объяснить существование Солнца, планет, спутников, астероидов и комет. Затем она должна объяснить, каким образом эти тела стали двигаться уже упомянутым выше замечательным образом, а также должна теоретически обосновать существование системы с наблюдаемым моментом количества движения. Были предложены гипотезы двух типов. В гипотезах первого типа солнечная система образовалась путем конденсации из гигантского облака газа и пыли. В гипотезах второго типа планеты образовались из газов, отделенных от Солнца или при столкновении с проходившей мимо звездой, или в процессе их извержения. Ни одна из разновидностей гипотез обоих типов не была признана удовлетворительной, но они сделали немалый вклад в астрономию, стимулируя дальнейшие научные изыскания.

Гипотеза, которую дольше других признавали достоверной, если не считать библейской версии, была предложена в конце 18 в. великим французским математиком Пьером Симоном Лапласом (1749—1827) и носит название небулярной; до некоторой степени она была аналогична идее знаменитого философа Иммануила Канта (1724—1804). Согласно *небулярной гипотезе* вращающаяся и поэтому сплюснутая туманность, состоящая из разреженной материи, медленно охлаждалась и сжималась. Предполагалось, что в плоскости вращения туманности от нее должны были отделяться одно за другим кольца, из которых и сконденсировались планеты нашей современной солнечной системы. Из самой большой оставшейся под конец части материи после сжатия образовалось Солнце. Между современными орбитами Марса и Юпитера кольцо «сгустилось» не удалось и вместо одной планеты здесь образовалось множество астероидов. Последовательность событий изображена на рис. 153. На рис. 154 показана туманность — спиральная галактика или островная Вселенная, из которой безусловно не могли образоваться планеты.

Небулярная гипотеза является несостоятельной по ряду соображений и, в частности, потому, что скорость вращения, достаточная для отделения небулярных колец на существующих расстояниях планет, породила бы ядра с моментом количества движения, во много раз большим, чем момент колец. Солнце согласно этой гипотезе должно было бы иметь момент количества движения *большой*, чем у планет, а не одну пятидесятую этой величины. Кроме того, *Джемс Максвелл* (1831—1879) показал, что жидкие кольца не могли сгуститься в большие планеты, а превратились бы в кольца *планеттоидов*, такие, как кольцо Сатурна или пояс астероидов.

Попытка избежать трудностей, связанных с моментом количества движения, сделана в теориях столкновения или встречи. Если бы какая-то другая звезда столкнулась с Солнцем или прошла очень близко от него, вещество, выброшенное с его поверхности, могло бы

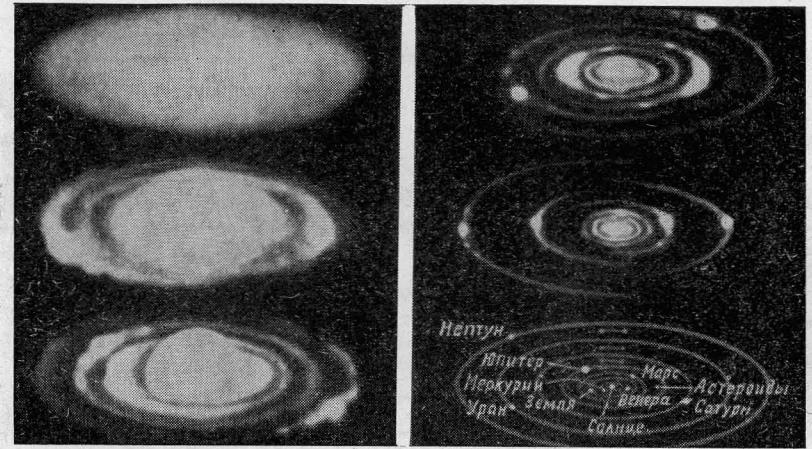


Рис. 153. Небулярная гипотеза Лапласа. Демонстрируется сгущение вращающейся газовой туманности в Солнце, планеты и астероиды. (Рисунки С. Болтона.)

сконденсироваться в планеты. Было выдвинуто несколько вариантов теории столкновения. В *планетезимальной теории*, предложенной в самом начале нашего столетия Чеймберлином (1843—1928) и Мультином (1872—1952) (Чикагский университет), предполагалось, что проходившая мимо звезда вызвала на Солнце гигантские приливы. Значительное количество материи, в несколько раз превышающее современные массы планет, было при этом выброшено с поверхности Солнца и закручено вокруг него по спирали под действием проходившей мимо звезды. Большая часть вещества была потеряна или упала обратно на Солнце, но часть осталась движущейся по очень вытянутому эллиптическим орбитам. Затем газы сконденсировались в небольшие образования — планетезимали, а с течением времени большие планетезимали притянули к себе меньшие; в итоге этого процесса образовались планеты. Быстрое движение проходившей мимо звезды обеспечило надлежащим моментом количества движения орбитальное движение планет, их вращение и движение систем спутников. В течение 20 млн. лет после встречи Солнца со звездой формирование планет, по существу, должно было закончиться.

Джемс Джинс (1877—1946) и *Гаролд Джеффрис* предложили другой вариант встречи такого рода. Согласно их *приливной теории*

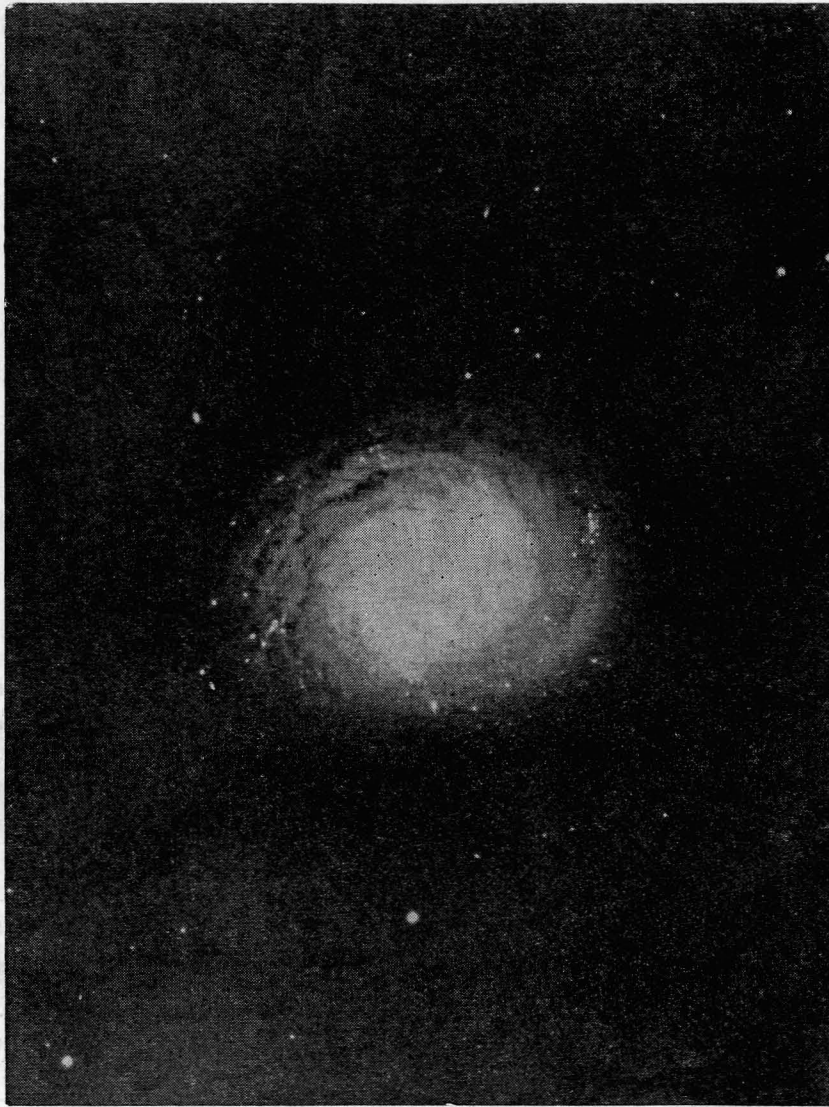


Рис. 154. Спиральная туманность NGC 4736, сфотографированная с 200-дюймовым рефлектором. Такая «туманность» имеет массу в миллиарды раз больше массы всей солнечной системы и поэтому не может сгущаться так, как показано на рис. 153.

проходившая мимо Солнца звезда вырвала из него длинную приливную струю. Внутренняя часть струи упала обратно на Солнце, а внешняя часть рассеялась в пространстве. Центральная часть сгустилась в бусообразную вереницу конденсаций — зародышей планет (рис. 155).

Позднее Джеффрис отклонил приливную гипотезу как несостоятельную и предложил взамен гипотезу столкновения, согласно которой звезда, проходя мимо Солнца, действительно задела его. Последующие явления — образование струи и формирование планет

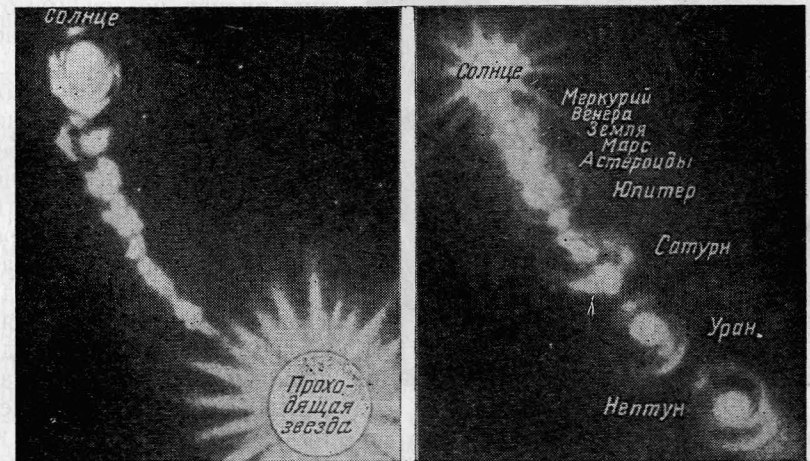


Рис. 155. Образование планетной системы в результате встречи Солнца со звездой. Художественное отображение приливной теории Джинса.

происходят в основном в той же последовательности, как в первоначальной приливной гипотезе. Рассел (1877—1957) высказал предположение, что сравнимая по размерам с Солнцем звезда при столкновении с ним разбилась, и из ее осколков образовались планеты. Против всех этих гипотез встречи был выдвинут ряд серьезных возражений. В частности, математический анализ этих гипотез показал, что наблюдаемое распределение момента количества движения все же не получило объяснения.

Очевидно, мы еще не обладаем достаточным научным багажом для того, чтобы дать полное и всеобъемлющее описание процесса возникновения Солнца и планет. Если предположить, что Солнце развивалось, окруженное большим диском, то надо указать, каким образом момент количества движения был передан от Солнца диску или тем материалам, которые были утрачены солнечной системой. В 1945 г. Вайцеккер попытался объяснить этот перенос момента от Солнца к диску турбулентными вихрями (рис. 156). Однако этот

процесс должен прекратиться, когда скорость вращения Солнца на экваторе становится близкой к орбитальной скорости, которая более чем в 10 раз превышает современную скорость вращения Солнца. Кроме того, идея Вайцзеккера о том, что планеты могут образоваться между двумя гигантскими вихрями в виде шарикоподшипников, совершенно невероятна, не говоря уж о том, что материя, выброшенной из Солнца,

не удалось бы унести достаточный момент количества движения для образования планет, независимо от того, быстро или медленно вращалось Солнце.

Среди звезд, подобных Солнцу, мы не находим ни одной, которая обладала бы быстрым вращением; мы не можем также предложить какое-либо иное разумное объяснение для образования звезд, типичным представителем которых является Солнце, кроме предположения об их образовании в результате объединения больших масс газа и пыли; в больших облаках неизбежно должно быть много быстро движущихся элементов, и, следовательно,

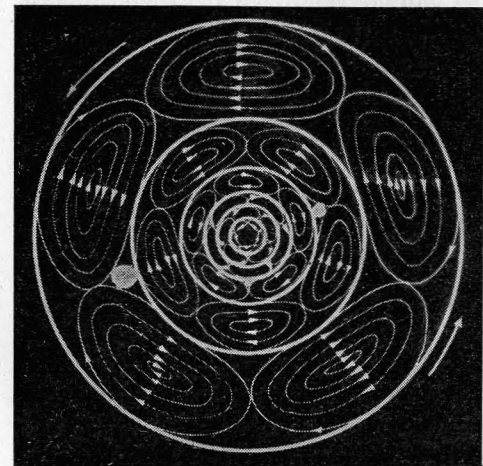


Рис. 156. Вихри Вайцзеккера. Согласно его теории планеты образуются как подшипники между вихрями, и вращаются в противоположном вихрям направлении.

они должны обладать большим моментом количества движения. В 1948 г. автор попытался обойти эту проблему, связывая свойства солнечной системы, которая является единственной наблюдавшейся системой, с редким с точки зрения теории вероятности процессом, в ходе которого сжавшемуся облаку пыли (и газа) удалось не захватить с собой большого момента количества движения. Процесс сжатия в гипотезе о пылевом облаке с точки зрения теории также является редким; предполагается, что на пыль межзвездного пространства действует световое давление звезд, в результате чего образуется сгусток вещества. Это предположение, по-видимому, неприменимо для объяснения происхождения солнечной системы вследствие малой вероятности самого процесса; кроме того, образующиеся подобным образом звезды должны в основном очень быстро вращаться. Однако в гипотезе пылевого облака все же заложена одна мысль, на которую раньше не обращали особого внимания, а именно, что предварительная концентрация вещества в планеты могла произойти раньше концентрации основной массы вещества в Солнце.

Аналогичное предположение высказал Мак-Кри, указав, что огромное облако диффузного вещества, из которого образовалась солнечная система, первоначально состояло из множества отдельных газово-пылевых комочков, беспорядочно двигавшихся со скоростями меньше 1,5 км/сек. Далее Мак-Кри постулирует, что комочки, которые случайно оказались движущимися к одной и той же точке пространства, соединились с минимальным полезным моментом количества движения; в результате образовалась сконденсированная масса газа, из которой в ходе эволюции возникли Солнце и планеты. И из этой гипотезы следует, что звезды в большинстве должны вращаться очень быстро — почти на пределе устойчивости, но сам процесс, по-видимому, чрезвычайно маловероятен.

В действительности, как мы видим из наблюдений, массивные горячие молодые звезды всегда вращаются очень быстро, а звезды более старые, более холодные и меньших размеров, подобные Солнцу, вращаются медленно. Эти факты требуют прежде всего существования таких процессов, при которых сжимающаяся звезда теряет свой момент количества движения. Для объяснения торможения звезд был предложен всего один механизм, действующий в масштабе Вселенной. В основе его лежат *магнитогидродинамические явления*; магнитогидродинамика рассматривает влияние электрических токов и магнитных полей на физические законы для горячего проводящего газа; это влияние становится существенным, когда энергия электромагнитных сил сравнима по величине с энергией движения газовых частиц. В этом физическом состоянии магнитные силовые линии, поддерживаемые электрическими токами в ионизованном газе, придают газу своеобразную жесткость или прочность, что позволяет ему препятствовать искажению в поперечном по отношению к магнитным силовым линиям направлении под влиянием таких сил, как тяготение, газовое давление и дифференциальное вращение. Только магнитогидродинамические силы в горячей газовой *плазме* дадут когда-либо возможность удержать те огромные количества энергии, которая выделяется в ходе ядерного синтеза при искусственном преобразовании водорода в гелий. Первым начал систематически применять законы магнитогидродинамики к астрономическим проблемам Альвен (Швеция).

На Солнце существуют сильные магнитные поля, в особенности в области пятен. Радиоизлучение Солнца и, в частности, характерные для солнечных вспышек большие выбросы, а также связанные со вспышками космические лучи, доказывают, что на Солнце мы имеем дело с горячей плазмой, в которой первостепенную роль играют «вмороженные» силовые линии магнитных полей. Такова же природа тех бурных нерегулярных изменений, демонстрируемых молодыми звездами, которые в результате своего развития станут звездами типа Солнца. В конце 40-х годов стало ясно, что только с привлечением магнитогидродинамики можно найти подходящий

процесс, в результате которого быстро вращающаяся молодая звезда теряет свой момент количества движения и остается медленно вращающаяся звезда, подобная Солнцу.

Чрезвычайно важен на сегодняшний день и нерешенный вопрос о двух возможностях. Передало ли Солнце свой момент количества движения газовому диску, уже существовавшему в области планет, приведя тем самым к рассеянию в бесконечных просторах Вселенной большей части таких легких газов, как водород и гелий, и, возможно,

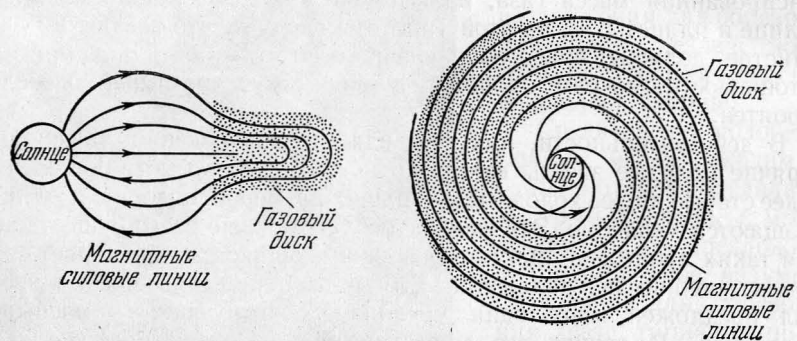


Рис. 157. Силовые линии магнитного поля Солнца и допланетный диск (по Хойлу). Слева — солнечные магнитные силовые линии соединяются, пересекая плоскость эклиптики; изображение левой части «бублика» отсутствует. Справа — разрез перпендикулярно к плоскости эклиптики показывает закручивание солнечных магнитных линий в веществе допланетного облака.

увеличив момент количества движения материалов, сгустившихся впоследствии в планетезимали и планеты? Или же вынесенные из Солнца масса и момент количества движения оказались закрученными вокруг него, а затем это вещество частично сконденсировалось и образовалась знакомая нам планетная система? В 1960 г. Хойл использовал вариант последней гипотезы в своей теории эволюции планет, согласно которой первичный диск Солнца имел размеры, примерно соответствующие современной орбите Меркурия. По этой гипотезе быстро вращающееся Солнце связано магнитогидродинамическими силовыми линиями, аналогичными до некоторой степени длинным эластичным нитям, с ионизованной материей, входящей в состав планетарного диска (рис. 157). Так как наружная часть диска вращается медленнее Солнца, нити вынуждены все сильнее и сильнее закручиваться и натягиваться, увеличивая тем самым момент количества движения диска и замедляя вращение Солнца.

Обратимся теперь к химии и физике планет. Основы современной трактовки этих проблем были заложены Расселом, далее они разрабатывались Брауном и другими исследователями и, наконец, были доведены Юри до уровня достоверности. Прежде всего мы замечаем,

что планеты и астероиды, движущиеся в пределах орбиты Юпитера, сложены из твердых пород, содержащих значительное количество железа и лишь в виде небольших примесей легкие газы — водород и гелий, а также более тяжелые инертные газы — неон, аргон, криптон и ксенон, которые обычно не вступают в соединения. С другой стороны, Солнце и звезды, которые находятся достаточно близко от нас, чтобы подвергнуться спектральному анализу, состоят почти целиком из водорода и гелия. Возможно, лишь 1% по массе составляют взятые вместе углерод, азот и кислород, в то время как прочие тяжелые элементы составляют, быть может, 0,5%, за исключением неона, которого, вероятно, больше, чем всех остальных элементов тяжелее гелия. Но тогда, если Земля и остальные планеты имеют одинаковый с Солнцем химический состав, что случилось с легкими и инертными газами? Взглянув на Юпитер и другие планеты-гиганты, мы видим, что там водорода и гелия действительно много. Некоторые спутники также кажутся состоящими из молекул легких веществ, возможно, таких, как вода, аммиак и метан. Однако даже в составе Юпитера и Сатурна, по-видимому, относительное количество более тяжелых элементов гораздо больше, чем в составе Солнца, тогда как Уран и Нептун, как полагают, могли бы состоять из одних соединений, т. е. иметь в своем составе относительно небольшое количество водорода и гелия. Мы слишком мало знаем о Плуtone, и поэтому его состав не обсуждаем.

Наиболее очевидным здесь является тот факт, что движущиеся близ Солнца планеты и астероиды состоят из веществ, находящихся при умеренно высоких температурах в твердом состоянии, тогда как движущиеся на больших расстояниях от Солнца планеты-гиганты состоят в основном из веществ, которые закипают при более низких температурах. Естественно и разумно предположить, что главным фактором, определившим состав планет, была температура, по-видимому, регулируемая расстоянием от Солнца. Благодаря более высоким значениям температуры близ Солнца, более тяжелые «земные» материалы могли отвердеть, не удержав или не собрав вокруг себя большей части того газа, который первоначально должен был там присутствовать.

Койпер в своей протопланетной теории полагает, что первоначально масса каждой будущей планеты соответствовала очень большому телу, будучи распределенной по большому объему солнечной системы, и имела в своем составе характерную для солнечной системы смесь легких и тяжелых элементов. Применяя принципы гравитационной устойчивости, установленные в 1850 г. Рошем (1820—1883), Койпер «заставил» планеты образоваться на относительных расстояниях, описываемых законом Бодэ (Приложение 1). В первичном диске концентрация вещества была наибольшей в районе Юпитера и Сатурна; с увеличением или уменьшением расстояния от Солнца по отношению к этому району количество вещества падало. По теории Койпера масса *прото-Земли* была когда-то в несколько сотен

раз больше массы современной Земли. Трудность, с которой столкнулась теория Койпера и которая практически не дает возможности принять или отвергнуть эту теорию, состоит в проблеме удаления подавляющей доли водорода и гелия из гигантских протопланет для того, чтобы они могли превратиться в планеты, в частности, в планеты земной группы.

С другой стороны, более узкий — химический — подход к проблеме происхождения планет, как это сделал Юри, привел к широко распространенному представлению, а именно к тому, что Земля и астероидально-метеоритные планеты, судя по их современному химическому составу, образовались при сравнительно низких температурах — ниже 1200°C путем сращивания частиц твердых веществ, из которых они теперь и состоят. Таким образом, в радиусе современной орбиты Юпитера при образовании солнечной системы температуры должны были быть достаточно высокими для того чтобы вода, аммиак и метан остались в газообразном состоянии, но достаточно низкими, для того, чтобы вещества, из которых состоит Земля, могли сконденсироваться в небольшие твердые частицы. Затем из скопления этих планетезималей образовались земные планеты, а также некоторое количество малых планет, в результате столкновений которых возникли существующие ныне астероиды и падающие на Землю метеориты. Таким образом, Юри подвел определенную химическую основу под планетезимальную гипотезу, которая, по существу, была главной частью более ранней гипотезы Чеймберлина и Мультона.

На таких расстояниях от Солнца, где движется Юпитер и за пределами его орбиты, вода, по-видимому, замерзла, а на достаточно больших расстояниях могли замерзнуть даже аммиак и метан. В то время как внутренние планеты образовались после того как эти газы, а также водород и гелий, были утрачены этой частью солнечной системы, Юпитер и Сатурн накопили значительное количество водорода и гелия вместе с водой, аммиаком и метаном. Уран и Нептун могут состоять, главным образом, из воды, аммиака и метана. По-видимому, из этих веществ, смержшихся в твердые частицы, вместе с имевшимися там земными материалами образовались кометы. Возможно, кометы представляют собой планетезимали внешней области планетной системы, так как Уран и Нептун (и Плутон?) имеют химический состав, во многом сходный с предполагаемым для крупных составных частей комет.

Таким образом, мы располагаем грубым, но довольно надежным, хотя и без деталей, наброском процесса, в ходе которого находившиеся в окрестностях Солнца земные материалы конденсировались и объединялись во все большие и большие элементы, пока, наконец, они не стали планетами земной группы. Эта картина сходна с той, которая была независимо разработана в СССР О. Ю. Шмидтом (1891—1956) и получила всеобщее признание. Газы, в том числе инертные газы, а также водород, углерод, азот и кислород, которые

должны были присутствовать в протопланетном облаке в начальной стадии, в ходе конденсации или объединения частиц каким-то образом устранились, так что их оказалось немного и в больших массах вещества, когда процесс объединения достиг своей кульминации, приведя к созданию ныне существующих земных планет и астероидов. На средних расстояниях Юпитера, Сатурна и более далеких потери газа были менее значительны, но все же коснулись большей части первичного материала, состав которого, как мы считаем, должен был быть примерно таким же, каков химический состав Солнца и типичный состав других звезд.

В настоящее время эта гипотеза о планетезимальном происхождении Земли получила совершенно неожиданное, хотя и частичное, подтверждение. Легкие элементы — литий, бериллий и бор на Солнце практически отсутствуют, и не следует надеяться на их присутствие на небольших глубинах под поверхностью Солнца, где температура составляет несколько миллионов градусов вследствие распада ядер этих элементов. Хотя на Земле и в составе метеоритов эти элементы являются сравнительно редкими, количество их гораздо больше, чем на Солнце. Кроме того, необычно их относительное количество на Земле и в метеоритах. Фаулер, Гринстейн и Хойл объясняют необычное распределение лития, бериллия и бора на основе предположения, согласно которому затвердевающие планетезимали облучались высокоэнергичной корпускулярной радиацией, подобно той, которая в настоящее время наблюдается при солнечных вспышках.

Действительно, Файерман, анализируя возвратившиеся на Землю остатки искусственных спутников, установил, что в составе частиц, выброшенных солнечными вспышками, имеется *третий* — радиоактивный водород, атомный вес которого не 1, а 3, и который появляется в результате взаимодействия частиц высоких энергий. Фаулер, Гринстейн и Хойл предложили теорию, которая несколько отличается от изложенной выше гипотезы тем, что, по их мнению, чтобы могло образоваться наблюдаемое количество химических элементов, в протопланетном облаке должно было присутствовать значительное количество льда в виде небольших планетезималей диаметром в несколько метров. Если бы можно было исключить необходимость в таком большом количестве льда, эта теория прекрасно согласовывалась бы с современной планетезимальной гипотезой формирования Земли. Если же лед все-таки остается необходимой частью этой теории, то надо объяснить, каким образом были стерты те очень глубокие океаны, которые Земля должна была бы приобрести на ранних стадиях своего развития.

Во всяком случае, мы допускаем, что Земля, формировавшаяся из планетезималей при температурах ниже 1200°C , на более ранних стадиях развития могла быть еще более холодной. Затем существуют веские доказательства того, что вся первичная свободная атмосфера и вода были Землей потеряны. Исключительная редкость на сегодня

няшний день тяжелых благородных газов в нашей атмосфере и, как показали вычисления, появление воды как следствия вулканической деятельности указывают на то, что первичная атмосфера и большая часть воды (а может быть, и вся вода) были утрачены Землей под влиянием какого-то механизма. Может быть, в какой-то момент Земля оказалась в грандиозной огненной ванне, которая, как полагают, могла охватить достаточно обширные участки или оказаться достаточно продолжительной, для того чтобы выпарить первичные океаны и атмосферу?

Через некоторое время после того как Земля в основном сформировалась, ее недра (возможно, за счет радиоактивного распада) настолько разогрелись, что плотные железоникелевые материалы получили возможность осесть ближе к центру планеты, и из них образовалось ядро, а из силикатных пород развилась до своего современного состояния верхняя мантия. При этом почти все радиоактивные элементы в результате химического расслоения Земли оказались перенесенными в мантию; то же самое явление мы наблюдаем в метеоритах — железные метеориты почти не содержат в своем составе таких радиоактивных элементов, как уран или торий. Затем мы замечаем, что у Марса, судя по его средней плотности, железное ядро относительно меньше, чем у Земли, в то время как у Венеры это отличие не столь заметно. А в составе Меркурия должно быть гораздо больше тяжелых элементов, чем в составе любой другой планеты земной группы. Означает ли это последовательное изменение средних химических составов планет, что в первичном облаке концентрация железа близ Солнца была сильнее, чем концентрация более легких элементов группы кремния? Или это «огненная ванна» сумела снять с поверхности Меркурия более толстый слой силикатов, чем с более далеких от Солнца планет? Мысль о том, что Солнце на какое-то короткое время расширилось, окутав своей огненной оболочкой внутренние планеты, все еще остается чистой гипотезой, но событием такого рода можно было бы объяснить те дополнительные факты, относящиеся к планетам типа Земли, о которых мы упомянули. Однако серьезной проблемой остается объяснение низкой плотности Луны (гл. 9).

Поскольку теория Фаулера, Гринстейна и Хойла и наблюдения звезд типа Т Тельца позволяют нам утверждать, что в эпоху формирования планетезималей активность вспышек на Солнце была чрезвычайно сильной, вряд ли стоит сомневаться в том, что Солнце потеряло свой момент количества движения и замедлило скорость своего вращения вместе с потерей тех летучих газов, которые оказались изъятыми из нелетучих материалов во внутренней части солнечной системы и в значительной мере утраченными в ее внешней части.

Основной проблемой остаются вопросы об источнике возникновения вещества и способе формирования из него диска, вращающегося вокруг Солнца. Получили ли планеты момент ко-

личества движения от Солнца еще до того, как они сформировались в отдельные тела? Было ли их вещество субстанцией, выброшенной Солнцем, или сконденсировавшимся вокруг Солнца облаком? Во всяком случае сейчас нам совершенно ясно, что непосредственно из большого облака газа Земля сконденсироваться не могла.

Подробности процесса формирования спутников в солнечной системе продолжают оставаться в числе весьма неясных вопросов. По теории Койпера, которая в применении к планетам типа Земли теперь во многих отношениях представляется несостоятельной, спутники образовывались в большом числе вблизи своих гигантских протопланет примерно таким же способом, каким планеты формировались вокруг Солнца. Когда протопланеты растеряли часть своей массы, многие спутники ускользнули от них, некоторые из ушедших от Юпитера образовали группу *тройных астероидов*; тройцы движутся по существу по той же орбите, что и Юпитер, но отстоят от него в обе стороны примерно на расстоянии 60° . С другой стороны, если большие планеты сформировались в результате накопления и объединения планетезималей, то спутники могли быть захвачены, когда планеты уже выросли. Этим можно было бы объяснить тот факт, что одни спутники Юпитера, по-видимому, имеют низкую плотность, а другие более высокую.

Весьма сложна проблема происхождения нашей Луны из-за ее относительно низкой плотности. Можно надеяться, что непосредственные исследования Луны в самом ближайшем будущем помогут нам разрешить эту проблему. Автор относится положительно к предположению, согласно которому Луна также образовалась путем сближения и срачивания тех планетезималей, которые когда-то подобно кольцу Сатурна окружали Землю. Возможно, низкая плотность Луны говорит лишь о том, что Луна никогда не была достаточно нагретой для образования в ее недрах железного ядра.

Вопрос о числе планет вокруг других звезд остается пока не ясным. Современные данные в сильнейшей степени благоприятствуют предположению о том, что почти все звезды образуются, в сущности, одинаково и что Солнце является типичной звездой. Лишь в одном отношении Солнце нетипично: оно является единственной звездой, имеющей планетную систему. Звезды в своем большинстве, по-видимому, двойные. Почти наверное большая часть двойных звезд не может удержать поблизости от себя устойчивые планетные системы, хотя для некоторых двойных все же, по-видимому, это осуществимо. Нет ничего невероятного в том, что одна звезда из ста может быть одиночной и поэтому *может* обладать планетами. В состав нашей собственной Галактики входит 10^{11} звезд, и нет ничего невероятного и в том, что одна из миллиона, а возможно, одна из тысячи звезд может иметь около себя планету, подобную Земле, которая движется при температурных условиях, сравнимых с условиями, обеспечивае-

мыми на Земле благодаря излучению Солнца. Это означает, что в нашей Галактике может быть от миллиона до миллиарда планет, на которых могла бы возникнуть жизнь; галактики же исчисляются миллионами.

Нет сомнений в том, что жизнь в различных формах ее проявления развивается там, где для этого благоприятны окружающие условия. Однако эволюция живой материи протекает очень медленно, по крайней мере, об этом свидетельствуют отпечатки в древних отложениях Земли.

Время существования человека на нашей планете составляет гораздо меньше 0,1% ее собственного существования. Если человек сможет просуществовать на Земле в течение 100 млн. лет, т. е. около 2% современного возраста Земли, то, значит, многие скептики ошибаются. Однако если наше предположение правильно, то есть шанс, что в нашей собственной Галактике имеется от 10 000 до 10 000 000 планет, на которых в настоящее время обитают мыслящие существа, более или менее подобные нам самим. Совершить космическое путешествие, чтобы навестить эти существа, невозможно, учитывая те ограничения, которые накладывает на такого рода путешествия теория относительности Эйнштейна. Ни материя, ни сигнал не могут перемещаться быстрее, чем со скоростью света. Даже при этой максимальной и совершенно недостижимой скорости на полет к нашей ближайшей звездной соседке с возвращением обратно потребовалось бы около 9 лет; столько же времени займет связь по радио.

Таким образом, мы видим, что если физики не сделают какого-то удивительного и невероятного «открытия», межзвездное путешествие к планетам, движущимся вокруг других звезд, или от них к Земле является сугубо фантастическим. Мнение, что на так называемых летающих тарелках могли находиться пришельцы с других планет, можно сразу же отвергнуть, как всякую попытку выдать желаемое за действительность. Единственная возможность, на которую мы можем рассчитывать в пределах зримого будущего — доказать существование мыслящих существ на других планетных системах — сводится к слабому шансу, что существа такого рода могли пожелать дать нам о себе знать, посылая радиосигналы, или (это несколько увеличивает наши шансы) что они используют в своих собственных линиях связи столь мощные передатчики, что наши большие радиотелескопы смогут перехватить их сигналы. Серьезная попытка уловить такие сигналы была предпринята Национальной радиоастрономической обсерваторией в Грин Бэнк (Западная Вирджиния) под условным наименованием проект ОЗМА. Имеются серьезные аргументы как за, так и против вложения больших средств в осуществление такого проекта. Многим, как и автору, импонируют богатые воображением научно-фантастические аспекты программы, но автор несколько скептически относится к успеху ее в ближайшем будущем.

Мы изучили современное состояние нашей планетной системы и до известного предела — ее историю. Ее будущее, если не произойдет ничего непредвиденного, представляется светлым. Вероятность того, что какая-то блуждающая звезда может нарушить установившийся порядок движения планет, мала даже в пределах миллиардов лет. Не раньше мы можем ожидать каких-то больших изменений и в солнечном излучении. Возможно ли повторение ледниковых периодов, мы сказать не можем. Континенты могут подниматься и опускаться в последующие эпохи, как это происходило в прошлом; мы надеемся, что этот процесс будет медленным. Случайные метеориты могут кое-где продырявить поверхность Земли. Однако порядок, с которым связано само существование солнечной системы, будет преобладать над всеми этими изменениями.

Приложения

1

Закон Бодэ

Так называемый закон, честь открытия которого приписывается Бодэ (1747—1826), не является физическим законом, а представляет собой лишь удобное правило для запоминания расстояний планет от Солнца. Напишем ряд из цифр «четыре» по одной для каждой планеты. Прибавим к каждой цифре для Меркурия 0, для Венеры 3, для Земли 6, для Марса 12, для астероидов 24 и т. д. Разделим каждую сумму на 10. Получающийся в результате ряд чисел приблизительно дает расстояния планет от Солнца, выраженные в астрономических единицах. Схема чисел приведена в таблице.

	Мер- курий	Венера	Земля	Марс	Асте- роиды	Юпи- тер	Сатурн	Уран	Неп- тун	Плутон
	4 0	4 3	4 6	4 12	4 24	4 48	4 96	4 192	4 —	4 384
Закон Бодэ	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	—	38,8
Действи- тельные расстоя- ния	0,39	0,72	1,00	1,52	—	5,20	9,54	19,19	30,07	39,46

Заметим, что закон Бодэ включает астероиды и дает расстояние не для Нептуна, а для Плутона. Закон был использован Лаверьё и Адамсом при предвычислении положения Нептуна. Поэтому предвычисленные орбиты оказались обремененными значительной ошибкой. Никакой теоретической основы для этого правила, вообще говоря, не найдено.

2

Конфигурации планет

Различные геометрические положения планет по отношению к Солнцу и Земле называют *конфигурациями* планет. Они показаны на рис. 158. Для находящегося на Земле наблюдателя угол между направлениями на планету и на Солнце называ-

ется *элонгацией*. Внешняя планета, орбита которой проходит за пределами земной орбиты, проходит через все элонгации до 180° к востоку и западу. Внутренняя планета, орбита которой проходит внутри земной орбиты, может достигать только

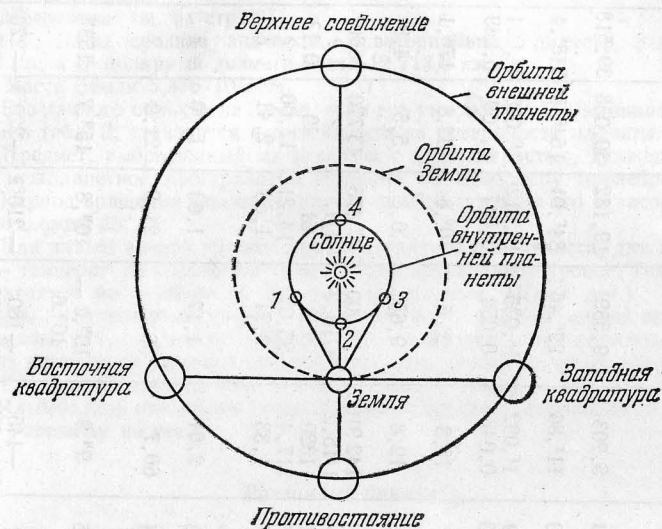


Рис. 158. Конфигурации внутренних и внешних планет для земного наблюдателя. 1 — наибольшая восточная элонгация, 2 — нижнее соединение, 3 — наибольшая западная элонгация, 4 — верхнее соединение.

определенной максимальной элонгации — *наибольшей восточной или наибольшей западной элонгации*. Внутренняя планета вступает в *нижнее соединение*, когда она пересекает прямую, соединяющую Землю с Солнцем, и в *верхнее соединение*, когда она пересекает эту прямую позади Солнца.

Внешняя планета также может вступать в *верхнее соединение* (или просто в *соединение*). Конфигурация, при которой элонгация составляет 180° , называется *противостоянием*. Конфигурации, при которых направление на планету составляет прямой угол с направлением на Солнце, называются *восточной или западной квадратурами*.

Внутреннюю планету лучше всего наблюдать вблизи наибольшей элонгации — восточной или западной. Внешнюю планету лучше всего наблюдать в противостоянии.

3

Данные о планетах и другие сведения

Следующие примечания к данным в табл. 3 заномерованы в соответствии с номерами строк.

1. Одна астрономическая единица есть среднее расстояние от Земли до Солнца; оно равно 149 598 000 км. Среднее расстояние от Земли до Луны 384 402 км; максимальное — 406 701 км, минимальное — 356 414 км.

№/п/з	Сведения	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон	Солнце
1	Среднее расстояние от Солнца (астрономические единицы)	0,387	0,723	1,000	1,000	1,524	5,203	9,539	19,182	30,058	39,518	0
2	Сидерический период (с — сутки, г — годы)	87 ^д , 97	224 ^д , 70	365 ^д , 256	27 ^д , 32	687 ^д , 0	11 ^г , 86	29 ^г , 46	84 ^г , 01	164 ^г , 8	248 ^г , 4	—
3	Синодический период (сутки, годы)	115 ^д , 88	583 ^д , 92	—	29 ^д , 53	779 ^д , 9	1 ^г , 092	1 ^г , 035	1 ^г , 012	1 ^г , 006	1 ^г , 004	—
4	Эксцентриситет орбиты	0,206	0,007	0,017	0,05	0,093	0,048	0,056	0,047	0,009	0,249	—
5	Наклонение орбиты к эклиптике	7 ^о , 0	3 ^о , 4	0 ^о , 0	5 ^о , 1	1 ^о , 8	1 ^о , 3	2 ^о , 5	0 ^о , 8	1 ^о , 8	17 ^о , 1	—
6	Орбитальная скорость (км/сек)	47,8	34,9	29,7	1,03	24,1	12,8	9,65	6,8	5,5	4,8	—
7	Экваториальный диаметр (км)	4844	12 260	12 756,3	33477,02	6791	142 910	119 000	47 475	43 770	5800?	1 392 000
8	Сжатие на полюсах	?	?	1/298,35	1/2000	1/120?	1/15,2	1/10,2	1/17	?	?	—
9	Объем (Земля=1,0)	0,055	0,878	1,000	0,0203	0,150	1320	736	51	40	0,1?	1 304 000
10	Масса (Земля=1,0)	0,054	0,814	1,000	0,01229	0,1077	317,47	95,07	14,31	17,60	?	332 500
11	Плотность (вода=1,0)	5,5	5,1	5,52	3,34	3,97	1,33	0,71	1,53	2,41	?	1,41
12	Сила тяжести на поверхности (Земля=1,0)	0,38	0,89	1,0	0,165	0,38	2,64	1,17	1,03	1,50	?	28
13	Скорость убегания (км/сек)	4,2	10,3	11,11	2,373	5,04	60,7	36,2	21,9	21,9	?	616
14	Период вращения (с — сутки, ч — часы, м — минуты)	88 ^д , 0	225 ^д , ?	23 ^ч 56 ^м	27 ^д , 3	24 ^ч , 6	9 ^ч , 9	10 ^ч , 2 — 10 ^ч , 6	10 ^ч , 8	15 ^ч , 7	153 ^ч	25 ^с
15	Максимальная температура поверхности (°С)	416 ^о	540 ^о	60 ^о	100 ^о	24 ^о	—145 ^о	—180 ^о	—210 ^о ?	—220 ^о ?	—220 ^о	5700 ^о
16	Газы, отождествленные в атмосфере	Нет	CO ₂ , H ₂ O	Много	Нет	CO ₂ , H ₂ O	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ , He?	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ , He?	CH ₄ , H ₂	CH ₄ , H ₂	Нет	Много
17	Число спутников	0	0	1	0	2	12	9	5	2	0	—
18	Альbedo	0,058	0,76	0,35	0,07	0,15	0,51	0,50	0,66	0,62	0,15?	—

2. Сидерический период есть время одного обращения по отношению к звездам. В этой и следующей строках он выражен в тропических годах. Один тропический год равен 365 сут. 5 час. 48 мин 46,0 сек.

3. Синодический период есть время одного обращения по отношению к Солнцу, если смотреть с Земли.

4. Определение см. на стр. 27.

6 и 7. Даны средние значения. Экваториальный диаметр Земли равен 12 756,3 км, а ее полярный диаметр равен 12 713,6 км.

10. Масса Земли $5,476 \cdot 10^{21}$ т.

12. Вес данного объекта на Земле, если его умножить на коэффициенты, приведенные в табл. 3, становится весом объекта на поверхности планеты.

13. Предмет, выброшенный на экваторе с этой скоростью, должен навсегда уйти в межпланетное пространство (трением об атмосферу пренебрегаем).

14. Период вращения Солнца меняется от 25,0 суток на его экваторе до 26,6 суток на широте 35^о.

15. Для планет земной группы дана температура поверхности, для планет-гигантов — температура атмосферы на некотором эффективном уровне. Температуры планет-гигантов исправлены по современным данным. (Прим ред.)

16. CO₂ — углекислый газ (см. табл. 1 на стр. 76 о составе земной атмосферы), CH₄ — метан, NH₃ — аммиак. Облака планет-гигантов могут состоять большей частью из кристаллов аммиака. В их атмосферах, вероятно, очень обилён гелий.

17. См. примечания на стр. 15, 173. (Прим. перез.)

18. Альbedo есть отношение полного количества света, отраженного планетой, к свету, упавшему на нее.

Различные данные

Скорость света 299 792,5 км/сек.

Постоянная тяготения в законе Ньютона (Сила = $G \frac{m_1 m_2}{r^2}$)

$G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ см³/г сек².

Параллакс Солнца 8",7942.

Время, необходимое свету, чтобы пройти 1 а. е., = 499,01 сек.

Световой год — расстояние, которое свет проходит за 1 год = $9,4605 \cdot 10^{17}$ см. Ускорение силы тяжести на экваторе на поверхности Земли равно 978,036 см/сек².

Скорость вращения Земли на экваторе 0,4626 км/сек.

4

Звездная карта

Прилагаемая звездная карта (рис. 159) в основном предназначена для использования ее с табл. 5 (Приложение 5) для нахождения и отождествления планет в любое время с 1967 по 1970 гг. Карта северной полярной области дана на рис. 160.

Шкала звездных величин (m), в которых выражают блеск звезд, является обратной. Блеск звезды первой величины равен среднему блеску двадцати самых ярких звезд на небе. Блеск звезды шестой величины как раз в 100 раз слабее блеска звезды первой величины; такие звезды едва видны невооруженным глазом в самые ясные темные ночи. Каждая последующая звездная величина означает изменение блеска в 2,512 ($\sqrt[5]{100}$) раза. Таким образом, звезда шестой величины в 2,512 раза ярче звезды седьмой величины и в сто раз ярче звезды одиннадцатой величины.

Для самых ярких звезд звездные величины имеют отрицательные значения. Звездная величина самой яркой на всем небе звезды — Сириуса — равна -1,42. Самая яркая из планет — Венера — иногда достигает звездной величины — 4,3. Тогда

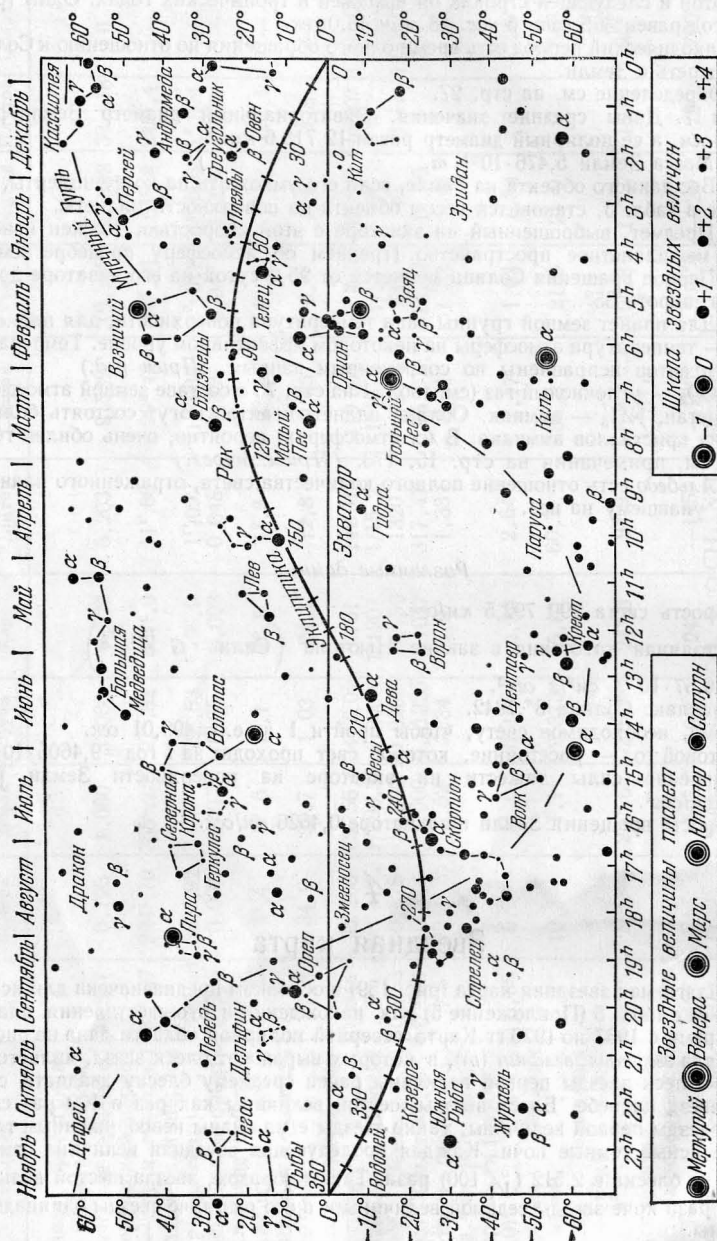


Рис. 159. Звездная карта, используемая вместе с таблицей 5 для нахождения планет.

она более чем в 100 раз ярче звезды первой величины. Юпитер в максимуме достигает звездной величины — 2,5, Марс — звездной величины — 2,8, Сатурн — звездной величины — 0,4, а Меркурий — звездной величины — 1,2. Уран, звездная величина которого 5,7, теоретически можно увидеть невооруженным глазом, но видят его очень немногие. Нептун, величина которого 7,6, легко наблюдается с совсем небольшим телескопом, но обнаружить его труднее, чем Уран.

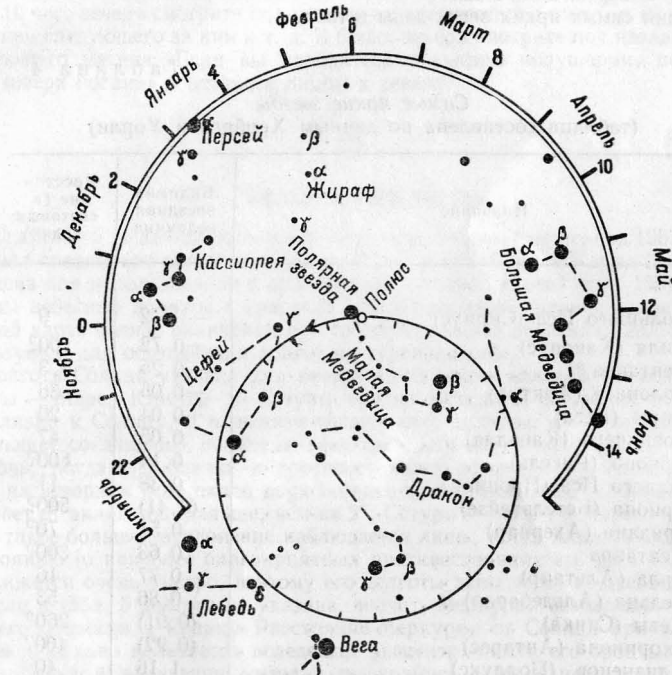


Рис. 160. Карта северных околополюсных созвездий. Для наблюдений около 8 час вечера поверните карту так, чтобы соответствующий месяц был в верхней точке, и встаньте лицом к северу. Маленький круг показывает путь смещения полюса эклиптики, обусловленного прецессией точек равноденствия. Каждое деление круга соответствует промежутку времени в 1000 лет, а все движение завершается примерно за 26 000 лет. В 14 000 г. полярной звездой будет Вега. (По Мак-Раэ.)

Венера, Юпитер и Марс ярче любой звезды, поэтому их легко отождествить на небе. Сатурн тоже нетрудно увидеть, так как лишь немногие звезды превосходят его по блеску. Иногда планеты можно отождествить по устойчивости их сияния; звезды мерцают гораздо сильнее. Меркурий всегда находится так близко к Солнцу, что не стоит стараться искать его, за исключением моментов, когда он находится в наибольшей элонгации, да и тогда лишь при благоприятных условиях наблюдений.

Выделение групп звезд в созвездия началось еще в глубокой древности; названия созвездий большей частью латинские, греческие и арабские. В последние

годы границы различных созвездий были обозначены по международному соглашению. Самая яркая звезда в созвездии обычно обозначается буквой «альфа» (α), следующая за ней — буквой «бета» (β), третья — буквой «гамма» (γ) и т. д. в порядке расположения букв греческого алфавита, хотя имеются и многочисленные исключения. Многие звезды также имеют и собственные имена. Наиболее заметные созвездия нанесены на карте и у многих из них звезды обозначены буквами α , β и γ . Карта содержит все звезды до третьей величины (с двумя-тремя исключениями) и ряд звезд четвертой величины.

Названия самых ярких звезд даны в табл. 4.

Таблица 4

Самые яркие звезды
(таблица составлена по данным Хербига и Уорли)

Название	Видимая звездная величина	Расстояние (в световых годах)
α Большого Пса (Сириус)	-1^m42	9
α Кля (Канопус)	-0^m72	100?
α Центавра *)	-0^m25	4,3
α Волопаса (Арктур)	-0^m06	36
α Лиры (Вега)	$+0^m04$	26
α Возничего (Капелла)	0,05	47
β Ориона (Ригель)	0,14	800?
α Малого Пса (Процион)	0,38	11
α Ориона (Бетельгейзе)	(0,41)	500?
α Эридана (Ахернар)	0,51	70?
β Центавра	0,63	300?
α Орла (Альтаир)	0,77	16
α Тельца (Альдебаран)	0,86	53
α Девы (Спика)	(0,91)	260?
α Скорпиона (Антарес)	(0,92)	400?
β Близнецов (Поллукс)	1,16	40
α Южной Рыбы (Фомальгаут)	1,19	23
α Лебедя (Денеб)	1,26	1400?
α Льва (Регул)	1,36	75
α Южно го Креста	1,39	400
α Близнецов (Кастор)	$+1,97$	45

*) Более слабый ее компаньон — Проксима Центавра — является ближайшей к нам звездой.

Горизонтальная линия, проходящая через середину карты, — *небесный экватор*.

Длинная изогнутая линия, пересекающая небесный экватор, — *эклиптика*. Широкая полоса, для которой эклиптика является центральной линией, называется *зодиаком*. Цифры вдоль эклиптики дают в градусах *небесную долготу*, аналогичную долготе на Земле. (В табл. 5 указаны долготы планет в удобные для наблюдений интервалы времени для 1967—1970 гг.) Шкала на нижнем крае карты дает *прямое восхождение*, выражаемое в часах времени; 24 часа = 360° , отсюда 1 час = 15° . Прямое восхождение аналогично долготе, с той лишь разницей, что оно отсчитывается не по эклиптике, а по небесному экватору.

Вертикальная шкала, нанесенная с обеих боковых сторон карты, дает *склонение*. Оно измеряется к северу (положительное) и к югу (отрицательное) от экватора. Склонение на небе является полным аналогом широты на Земле.

На карте указана средняя плоскость Млечного Пути или галактическая плоскость.

Как пользоваться звездной картой

Повернитесь лицом к югу, держа карту перед собой. Если время 8 час. вечера, созвездия, указанные на карте под названием текущего месяца, будут видны на юге.

В 10 час. вечера смотрите под названием следующего месяца, в 12 час. — под названием следующего за ним и т. д. В 6 час. вечера смотрите под названием предшествующего месяца. Если вы находитесь в южном полушарии, переверните карту «вверх ногами» и встаньте лицом к северу.

5

Планетоискатель

В таблице 5 даны положения наиболее ярких планет на период 1967—1970 гг. Она была специально вычислена для этой книги по таблицам Карла Шоха и предназначена для использования с прилагаемой звездной картой (рис. 159). Цифрами указаны небесные долготы в градусах. Местоположение планет можно найти на звездной карте вблизи эклиптики при соответствующих значениях долгот. Курсив используется для обозначения долгот на утреннем небе.

Долгота Солнца указана для вечера 13-го числа каждого месяца. Внешние планеты — Марс, Юпитер и Сатурн трудно находить, когда они находятся на небе близко к Солнцу, т. е. вблизи соединения; долготы, непосредственно предшествующие соединению, помечены значком⁺. Эти же планеты можно наблюдать всю ночь, когда они близки к противостоянию, отмеченному звездочкой*. Они видны на вечернем небе около двух месяцев до противостояния. Юпитер никогда не бывает от эклиптики дальше, чем на 2° , Сатурн — на 3° , а Марс — на 7° . Для Марса такое большое отклонение наблюдается лишь, когда планета близка к противостоянию (о наиболее благоприятных противостояниях см. рис. 137). Меркурий движется очень быстро, поэтому его долготы даны через 10-дневные интервалы. Если в табл. 5 долгота не указана, значит, Меркурий безнадежно наблюдать из-за его близости к Солнцу. Расстояние Меркурия от Солнца при наибольшей элонгации сильно колеблется вследствие эксцентрисити его орбиты. Для каждой наибольшей элонгации указано по крайней мере одно значение долготы. Когда в табл. 5 значения долготы даны для четырех последовательных 10-дневных интервалов, существует большая вероятность обнаружить Меркурий на небе невооруженным глазом. Выберите ночь примерно в середине этого интервала. Если даны только одно или два последовательных значения, вероятность отыскать Меркурий без помощи бинокля очень мала. В поисках Меркурия нужно поточнее оценить его долготу для даты между данными значениями долгот. Для данных долгот Меркурий всегда находится в пределах 6° от эклиптики.

Долготы Венеры даны через 15-дневные интервалы. Планета настолько ярка, что иногда ее удается увидеть очень близко к Солнцу в те числа, для которых долгота не вычислена, но в этих случаях она окажется видимой лишь на очень непродолжительный период во время вечерних или утренних сумерек. Венера может отстоять от эклиптики на 7° .

Когда долготы Венеры и Меркурия не даны курсивом, эти планеты видны только вечером. Утром они наблюдаются только тогда, когда долготы указаны курсивом.

Если вместо звездной карты (см. рис. 159) вы пожелаете воспользоваться какой-либо другой картой, разделите цифры, приведенные в табл. 5 на 15, чтобы перевести их в часы времени. Затем пользуйтесь шкалой прямых восхождений на этой другой карте и ищите планеты вблизи эклиптики, как и на карте, приведенной в книге.

Таблица 5

Положения планет

Планета	Солнце	Меркурий		Венера		Марс 13-е	Юпитер 13-е	Сатурн 13-е
		3-е, 13-е, 23-е	13-е, 28-е	13-е, 28-е	13-е, 28-е			
1967								
Январь	293	— — —	— —	200	120*	355		
Февраль	325	— 342 —	348 7	210	116	358		
Март	353	— — 337	22 41	213	115	1+		
Апрель	23	346 9 —	60 77	205*	116	5		
Май	52	— — —	94 111	196	119	8		
Июнь	82	95 106 112	128 142	197	124	11		
Июль	111	— — —	154 162	208	130+	12		
Август	141	112 — —	163 —	223	137	12		
Сентябрь	170	— — 202	— 149	242	144	10		
Октябрь	200	215 225 —	157 169	263	149	8*		
Ноябрь	231	— 212 —	184 201	286	154	6		
Декабрь	262	— — —	218 236	309	156	5		
1968								
Январь	293	— — —	255 273	334	155	6		
Февраль	324	332 — —	292 311	358	152*	9		
Март	354	318 326 338	328 346	20	148	12+		
Апрель	24	— — —	— —	42	146	16		
Май	53	— — 86	— —	64	147	20		
Июнь	83	— — —	— —	85+	150	23		
Июль	112	— 91 —	— —	105	155	25		
Август	141	— — —	— —	125	161+	25		
Сентябрь	171	183 197 207	194 213	145	168	24		
Октябрь	201	211 — —	231 250	164	174	22*		
Ноябрь	232	204 — —	269 287	183	180	20		
Декабрь	262	— — —	305 322	201	184	18		
1969								
Январь	294	— 313 —	340 356	218	186	19		
Февраль	325	— 301 309	11 22	235	185	21		
Март	353	318 342 —	27 —	247	182*	24		
Апрель	24	— — —	— 10	256	178	28+		
Май	53	64 — —	14 24	255	176	31		
Июнь	83	— — 70	37 52	245*	177	35		
Июль	111	— — —	68 84	242	180	37		
Август	141	— 162 176	103 120	250	185	39		
Сентябрь	171	188 195 —	139 157	266	191+	38		
Октябрь	200	— 182 —	176 194	285	197	36*		
Ноябрь	232	— — —	— —	307	204	34		
Декабрь	262	— — —	— —	329	210	32		
1970								
Январь	294	300 — 284	— —	352	214	32		
Февраль	325	290 301 315	— —	15	216	33		
Март	353	— — —	— —	35	215	36		
Апрель	24	— 43 —	43 62	56	212*	39+		
Май	53	— — —	80 98	77	209	43		
Июнь	83	49 61 —	117 134	98	207	47		

Продолжение

Планета	Солнце	Меркурий			Венера		Марс 13-е	Юпитер 13-е	Сатурн 13-е
		3-е, 13-е, 23-е	13-е, 28-е	13-е, 28-е	13-е, 28-е				
Июль	111	— — —	152 169	117+	207	50			
Август	141	156 168 176	186 201	137	210	52			
Сентябрь	171	— — 164	216 227	157	215	52			
Октябрь	200	— — —	234 —	176	221+	51			
Ноябрь	231	— — —	— 220	196	228	48*			
Декабрь	262	271 282 —	223 233	215	234	46			

Как находить планеты

Найдите данные год и месяц в табл. 5. Прочтите число в таблице для каждой планеты, приведенное для ближайшей даты. Найдите это число на звездной карте около эклиптики. Ищите планету вблизи эклиптики в этой точке. Так же можно определить и положение Солнца.

Если в табл. 5 искомое число не указано, значит, планета слишком близка к Солнцу и не наблюдается. Не ищите планету, если число имеет при себе знак + или сразу же следует за таким числом. Обратите внимание на курсивные числа для планет, наблюдаемых утром. В течение примерно двух месяцев до знака * в таблице планета видна вечером в восточной части неба.

Венера и Юпитер ярче всех звезд. Марс, может быть, чуть слабее Сириуса — самой яркой звезды. Сатурн немного слабее, но все же яркая планета. Меркурий искать очень трудно.

Об определении конфигураций планет прочтите в Приложении 2, а о звездной карте — в Приложении 4.

Пример. Найдите положения планет 24 сентября 1968 г. На стр. 248 для сентября 1968 г. находим следующие данные: 171° для Солнца на 13 сентября, 207° для Меркурия на 23 сентября, 213° для Венеры на 28 сентября, 145° — для Марса, 168° — для Юпитера и 24° — для Сатурна. Таким образом, Юпитер — близ соединения и недоступен для наблюдений, Марс также не виден. Венера хорошо видна на вечернем небе, Сатурн можно наблюдать почти всю ночь. Меркурий будет труднонаблюдаемым объектом в утренних сумерках.

6

Возраст Луны

Возраст Луны измеряется в днях, прошедших с момента новолуния: 7 дней — первая четверть, 15 дней — полнолуние, 22 дня — третья четверть. Данные табл. 6 получены с использованием простой формулы, данной Харви в J. British Astron. Association в 1941 г., и указывают возраст Луны на нулевой день каждого месяца с января 1961 г. по декабрь 1990 г.

Как определить возраст Луны

Способ I. С применением табл. 6 (годной для 1961—1990 гг.). Найдите в табл. 6 требуемый год и месяц. Чтобы получить возраст Луны, соответствующий данной дате, прибавьте к приведенному в таблице числу число, соответствующее дню данного месяца. (Если сумма окажется больше 29, вычтите 30.) Ошибка обычно составляет около 1 дня, иногда 2 дня.

Пример. Каков был возраст Луны 24 декабря 1964 г.?

Для декабря 1964 г. табл. 6 дает число 26. Поэтому возраст Луны 24 декабря был: 26+24-30=20 дней. Луна была близка к третьей четверти и была видна близ полуночи на востоке.

Таблица 6

Возраст Луны на нулевой день каждого месяца
(январь 1961 г. — декабрь 1990 г.)

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1961	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1962	24	25	25	26	27	28	29	0	1	2	3	4
1963	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1964	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1965	27	28	28	29	0	1	2	3	4	5	6	7
1966	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1967	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1968	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1969	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1970	22	23	23	24	25	26	27	28	29	0	1	2
1971	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1972	14	15	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1973	25	26	26	27	28	29	0	1	2	3	4	5
1974	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1975	17	18	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1976	28	29	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1977	10	11	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1978	21	22	22	23	24	25	26	27	28	29	0	1
1979	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980	13	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1981	24	25	25	26	27	28	29	0	1	2	3	4
1982	5	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1983	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1984	27	28	28	29	0	1	2	3	4	5	6	7
1985	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1986	19	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1987	0	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1988	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1989	22	23	23	24	25	26	27	28	29	0	1	2
1990	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Способ II. Без применения табл. 6.

Формула Харви обычно дает результат с точностью порядка дня (иногда двух дней). Вычисления при этом следующие:

Разделить число лет на 19; оставить только остаток .	Для 24 дек. 1964 г. (7)
Умножить остаток на 11.	+77
Прибавить $\frac{1}{3}$ от числа столетий, отбросив дробную часть	+6
Прибавить $\frac{1}{4}$ от числа столетий, отбросив дробную часть	+4
Прибавить 8	+8
Вычесть число столетий	-19
Прибавить число месяцев, считая март первым (а февраль последним (двенадцатым) месяцем предшествующего года, январь — одиннадцатым и т.д.)	+10
Прибавить число прошедших дней данного месяца	+24
Сумма	110
Вычесть кратное 30	-90
Фаза Луны (в днях)	20

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора русского перевода	5
Предисловие	6
1. Первое знакомство с планетами	7
2. Почему солнечная система не распадается	22
3. Открытия Нептуна и Плутона	36
4. Веса и размеры	43
5. Земля	56
6. Земля как обитель жизни	69
7. Влияние Луны на Землю	89
8. Наблюдения Луны	107
9. Природа Луны	125
10. Юпитер — главенствующая планета	146
11. Другие планеты-гиганты — Сатурн, Уран и Нептун	164
12. Планеты земной группы — Плутон, Меркурий и Венера	179
13. Марс	197
14. Происхождение и развитие солнечной системы	224
Приложения	
1. Закон Бодде	240
2. Конфигурации планет	240
3. Данные о планетах и другие сведения	241
4. Звездная карта	243
5. Планетоискатель	247
6. Возраст Луны	249

Ф. Уинна

Земля, Луна и планеты

М., 1967 г., 252 стр. с илл.

Редактор *Г. С. Куликов*

Техн. редактор *И. Ш. Аксельрод*

Корректоры *Е. А. Белицкая* и *М. Л. Липелис*

Сдано в набор 31/III 1967 г. Подписано к печати 11/VIII 1967 г. Бумага 60×90^{1/16}.

Физ. печ. л. 15,75. Условн. печ. л. 15,75.

Уч.-изд. л. 15,02. Тираж 25 000 экз.

Цена книги 99 коп. Заказ № 1653.

Издательство «Наука»

Главная редакция

физико-математической литературы

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Ордена Трудового Красного Знамени

Первая Образцовая типография

имени А. А. Жданова

Главполиграфпрома Комитета по печати

при Совете Министров СССР

Москва, Ж-54, Валовая, 28