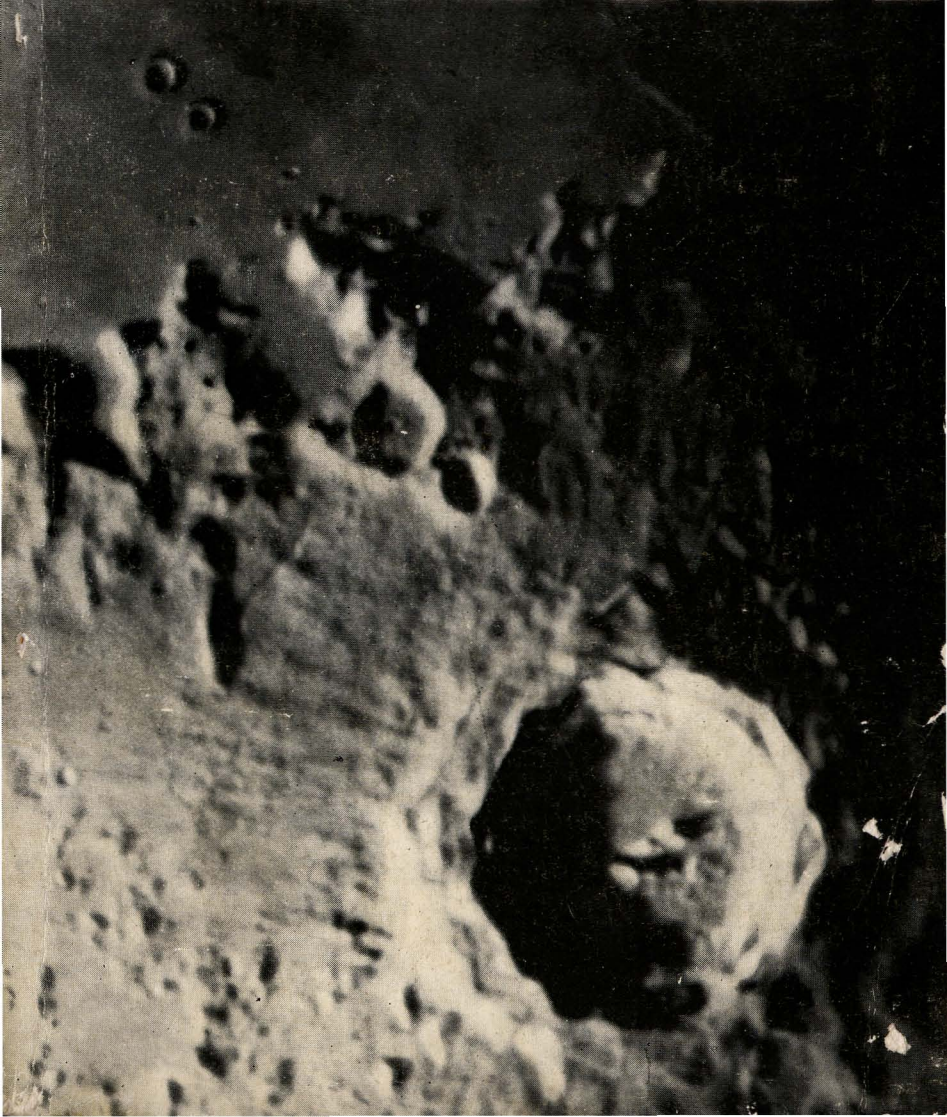


З. КОПАЛ

ЛУНА



THE MOON

OUR NEAREST CELESTIAL
NEIGHBOUR

Zdeněk Kopal

*Professor of Astronomy
University of Manchester*

LONDON CHAPMAN AND HALL

1960

З. Копал

ЛУНА

НАШ БЛИЖАЙШИЙ
НЕБЕСНЫЙ СОСЕД

*Перевод с английского
Т. В. ВОДОПЬЯНОВОЙ*

*Послесловие
Г. ДОБРЯКОВА*

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1963

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПРОЛОГ	7
2. ФАКТЫ И ЦИФРЫ	10
3. УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ЛУНЫ	28
4. РАССКАЗ О ЛУННОМ СВЕТЕ	61
5. ПОВЕРХНОСТЬ ЛУНЫ	76
6. ИЗМЕНЕНИЯ НА ЛУНЕ	101
7. МЕСТО НАЗНАЧЕНИЯ — ЛУНА	113
ПОСЛЕСЛОВИЕ	137



ЛУНА, ОТДЕЛЯЮЩАЯСЯ ОТ ЗЕМЛИ

Огюст Роден, 1898

*Образование Луны по приливной теории Дарвина --
скульптурный вариант*

ПРОЛОГ

В то время, когда ты, дорогой читатель, приготовился раскрыть эту книгу, быть может, светит солнце и все цветет в саду, или окрестные поля покрыты снегом, а, быть может, осенний туман навис над землей, или воет ветер и дождь стучит в окна. Так что же? Наше сознание не связано тем, что происходит непосредственно вокруг нас, и мы легко можем вообразить обстановку, соответствующую ходу наших мыслей.

А поэтому пусть будет ночь или лучше ранний вечер, когда после чудесного дня все постепенно погружается в темноту и бледный серебристый лик Луны спокойно плывет по темнеющему небу, в бездонных глубинах ледяного озера звезд. Наверное, после длинного трудового дня ты много раз наблюдал эту безмятежную картину. Но сегодня случай особый, так как мы собираемся нанести визит нашему спутнику.

Принимая это приглашение, не думайте, что сразу придется вскочить в космический корабль, который доставит нас к цели путешествия. Осуществить это удастся только в будущем, правда, не очень отдаленном, если мерить время сроками жизни человеческих поколений. Если читатель пожелает принять участие в наших воображаемых научных приключениях, то путешествие можно успешно (и более надежно) осуществить, спокойно сидя в кресле, поскольку в отличие от тела наши мысли, не обремененные силой тяжести и релятивистскими оковами, могут переносить нас быстрее света.

Цель автора — помочь читателям познакомиться с основами накопленных сведений о физических свойствах нашего спутника и условиях на нем. Конечно, эти сведения получены не путем прямого ознакомле-

ния, а в результате изучения при помощи астрономических инструментоз с расстояния, которое никогда не бывает меньше 356 000 км. Несмотря на такое большое расстояние, отделяющее нас от Луны, наши сведения об условиях на ее поверхности отличаются удивительной полнотой. В частности, мы уже располагаем значительной долей информации, которая понадобится первым отважным межпланетным путешественникам, чтобы благополучно высадиться на Луне. Давайте познакомимся с этим новым миром, мысленно опередив будущих путешественников.

Мы предполагаем не только познакомить читателя с множеством фактов. Так же как на Земле исследователь стремится испытать каждую ответственную часть своего снаряжения, прежде чем положиться на нее, так и каждый, знакомящийся с астрономическими данными, полученными с больших расстояний, должно быть, пожелает познакомиться с экспериментальными методами получения результатов и с теоретическими соображениями, лежащими в основе их интерпретации. Поскольку эти методы и скрытая в них логика часто представляют собой подлинное торжество научной мысли, мы уделим им особое внимание в нашем повествовании. Всякий раз, рассказывая о заслуживающих внимания результатах, мы постараемся описать и методы, которыми они были получены (насколько это можно сделать, не пользуясь специальной терминологией), в надежде, что читатель заинтересуется и тем и другим. Мы надеемся, что, познакомившись хотя бы с наиболее важными результатами исследований Луны, проведенных при помощи управляемых с Земли межпланетных автоматических станций, читатель согласится с тем, что методы и результаты современного астрономического исследования могут оказаться более увлекательными и волнующими, чем научно-фантастические романы.

После этих замечаний обратим свои взоры к Царице Ночи, безмятежной и далекой, плывущей высоко над нашими головами по небу, возможно уже совсем потемневшему, и отправимся в путешествие по волнам света, являющегося для нас единственным сред-

ством сообщения. Нам предстоит посетить такой близкий (говоря астрономическим языком) и тем не менее совершенно отличный от всего окружающего нас удивительный мир древних гор и совершенно иссохшей, покрытой толстым слоем космической пыли поверхности, которую обжигает в полную силу не ослабленный атмосферой солнечный свет, и она попеременно то нагревается выше точки кипения воды, когда Солнце стоит в зените, то охлаждается перед его восходом после долгой холодной ночи до температуры жидкого воздуха. Мы будем описывать странный мир, где нечем дышать, где звезды видны на черном как смоль небе одинаково хорошо и в полдень, и в полночь и где мы сами весили бы в 6 раз меньше, чем на Земле. И все же, несмотря на такую обстановку, достойную новой Алисы в Стране Чудес, которую раскрывает перед нами современная наука, мы закончим наше повествование оптимистическим выводом, что веские причины побуждают нас достичь Луны, чтобы увидеть все своими глазами. В самом деле, может ли быть увлекательнее любой вымысел? Однако прежде чем начать наш рассказ, познакомимся с основными фактами и цифрами, которые помогут понять его содержание.

ФАКТЫ И ЦИФРЫ

«Джентльмены, каждый из вас, конечно, видел Луну или по крайней мере слышал о ней», — такими словами президент Барбикен из романа Жюль Верна начал свою знаменитую речь перед членами Балтиморского Пушечного клуба, доказывая целесообразность посылки снаряда на Луну. В наши дни, меньше ста лет спустя после этого достопамятного заседания, такое предисловие к этой книге едва ли уместно, поскольку наш спутник, на несколько десятилетий полузабытый астрономами, в последнее время оказался в центре внимания не только ученых-специалистов, но и широкой публики. Луна для астрономов — старый друг, хотя мы никогда не ощущали столь остро, как теперь, недостаточность наших знаний о ней. Впрочем, многие ли знакомы с результатами астрономических исследований Луны? Поэтому в настоящей главе мы представим читателю Луну как небесное тело и опишем ее основные свойства и характеристики, такие, как расстояние от Земли, размеры, масса и т. п., которые понадобятся нам в дальнейшем повествовании.

Рассмотрим первую по практическому значению характеристику — *расстояние*, отделяющее нас от нашего спутника. Далеко ли до Луны? Определение среднего расстояния до нашего ближайшего соседа в космосе ничего нового не прибавляет к нашим знаниям. Правильный порядок его величины был известен уже Гиппарху (по относительной продолжительности последовательных фаз луного затмения) более двадцати столетий назад. Впоследствии астрономы значительно уточнили это расстояние, применив триангуляцию, к которой мы прибегаем всякий раз, когда нужно измерить расстояние до любой недостижимой точки на суше или на море. Из определений расстояния до Луны путем астрономической триангуляции

при базисе, измеренном в долях земного диаметра, обнаружилось, что орбита Луны относительно Земли представляет собой (очень приближенно) эллипс с радиусом-вектором, изменяющимся от 356 000 до 407 000 км. Среднее расстояние до Луны равно 384 400 км, что составляет 60,267 экваториального радиуса Земли, или 0,00257 среднего расстояния, отделяющего нас от Солнца. Расстояние до Луны составляет меньше 1% расстояния, отделяющего нас от двух близких небесных соседей — Венеры и Марса во время их наибольшего сближения с Землей. Вероятно, путь, проделанный в автомобиле многими людьми в течение жизни, в среднем окажется длиннее рейса от Земли до Луны и обратно. Свет проходит это расстояние за 1,28 сек, а ракета, способная преодолеть притяжение Земли, достигнет Луны после свободного полета в течение 1—2 суток.

Мы можем добавить к этому, что еще совсем недавно физики, посылая к Луне радиолокационные импульсы и отмечая время возвращения эха, заново определили расстояние до Луны, используя известную с высокой точностью (10^{-5}) скорость распространения радиоволн в вакууме. Однако, по правде говоря, их результаты пока не совпадают с результатами других астрономических наблюдений в той мере, как этого хотелось бы (поскольку расстояние, отделяющее нас от Луны в любой момент, известно теперь с точностью, большей 1 км; дальнейшие усовершенствования радиолокационной техники в состоянии понизить предел погрешностей измерения до 100 м и меньше).

Орбита Луны похожа на эллипс (с эксцентриситетом 0,055), несколько искаженный притяжением Солнца (подобно тому как земной шар сплюснут у полюсов), и ее плоскость наклонена к эклиптике (т. е. к плоскости, в которой Земля обращается вокруг Солнца) немного больше чем на $5^{\circ}9'$. Средний период обращения Луны вокруг Земли составляет 27,32166... суток; он был определен на основании наблюдений в течение многих столетий и представляет собой пока наиболее точно измеренную величину из известных науке (астрономы могут записать это число по крайней

мере до двенадцатого десятичного знака). Зная размер и форму лунной орбиты, мы можем без труда рассчитать среднюю скорость движения Луны. Она достигает 3681 км/час , т. е. почти 1023 м/сек , что соответствует средней угловой скорости на небесной сфере порядка $33'$ в час (т. е. за час Луна перемещается на свой видимый диаметр).

На небе средний видимый диаметр лунного диска достигает $1865'',2$ — немного больше половины градуса (с колебаниями в пределах $102'',4$ между перигеем и апогеем). При среднем расстоянии от Земли до Луны, равном $384\,400 \text{ км}$, это соответствует радиусу шарообразного тела Луны 1738 км . Таким образом, радиус Луны в 4 раза меньше земного. Луна вращается вокруг оси, почти перпендикулярной плоскости ее орбиты, с *постоянной* угловой скоростью и периодом, *точно* равным периоду ее обращения вокруг Земли. Поэтому нам видна всегда одна и та же ее сторона. Однако, так как скорость обращения по эллиптической орбите меняется обратно пропорционально квадрату радиуса-вектора, вращение временами опережает, а временами отстает от орбитального движения на угол до $7^\circ,7$; следовательно, с Земли можно фактически видеть больше половины лунной поверхности. Это явление известно как *либрация по долготе*. Кроме того, ось Луны не строго перпендикулярна плоскости ее орбиты; угол между этой плоскостью и лунным экватором составляет около $6^\circ,5$. Значит, в течение одного месяца мы и в этом случае можем попеременно видеть то больше одной полярной области, то больше другой. Это явление называется *либрацией по широте*. Кроме того, при восходе и заходе Луны мы немного заглядываем за края диска и видим несколько большую часть поверхности Луны, чем видели бы из центра Земли. Эта *суточная либрация* (строго говоря, не Луны, а наблюдателя) составляет почти 1° и в совокупности с другими видами либрации позволяет нам обозреть с Земли значительно больше половины поверхности Луны. В итоге с Земли можно видеть не меньше 59% всего лунного шара; остается постоянно невидимым только 41% , и 41%

его поверхности никогда не исчезает; остальные 18% то доступны, то не доступны обозрению.

Следующей величиной, которая должна служить ключом к другим важным характеристикам нашего спутника, является его *масса*. Массу Луны, как и любого другого небесного тела, можно определить только по действию ее притяжения на ближайшее тело известной массы: для Луны им оказывается Земля. Часто повторяемое утверждение, что наша планета обращается вокруг Солнца по эллипсу, не вполне точно, так как в действительности по этому эллипсу движется центр тяжести системы Земля — Луна (а не центр Земли). В то же время и Земля и Луна одновременно обращаются вокруг их общего центра тяжести по орбитам, совершенно одинаковым по форме, но размеры которых обратно пропорциональны их массам.

Поэтому Земля не обращается вокруг Солнца по эллипсу, а скорее «покачивается» относительно него; неизбежным результатом этого месячного «качания» будет небольшое видимое перемещение по небесной сфере всякого астрономического объекта попеременно в восточном или в западном направлении по сравнению с тем положением, которое наблюдалось бы, если бы Земля не имела спутника и на ее движение оказывало влияние только Солнце. В случае звезд или удаленных планет это перемещение остается незаметным, однако его можно измерить по видимому движению Солнца или, еще лучше, одной из близких к Земле планет или астероидов.

Из многочисленных наблюдений такого рода было получено, что радиус месячной орбиты центра Земли (т. е. среднее расстояние между центром Земли и общим центром тяжести системы Земля — Луна) равен 4670 км , т. е. приблизительно в $82,31$ раза меньше среднего расстояния от Земли до Луны. Поэтому центр тяжести системы Земля — Луна расположен в недрах Земли ближе к поверхности, чем к центру. Из элементарных законов механики следует, что масса Луны составляет $1/(82,31-1) = 1/81,31$ массы Земли.

Существует еще гравитационный метод, при помощи которого можно определить массу Луны. Он состоит в интерпретации наблюдаемой скорости, при которой ось вращения Земли (наклоненная к эклиптике под углом $66^{\circ},5$) под влиянием совместного притяжения Солнца и Луны прецессирует, подобно оси вращающегося волчка, с периодом свыше 25 000 лет. Этот метод подтверждает, что масса Земли приблизительно в 81,3 раза больше массы Луны, которая, следовательно, составляет немногим более 1% земной массы. Поскольку известно, что масса Земли — $5,977 \cdot 10^{27}$ г, получится, что масса Луны составляет $7,35 \cdot 10^{25}$ г, т. е. больше 73 триллионов тонн. Это число может показаться чрезмерно большим по сравнению с земными величинами, но в космических масштабах оно составляет исчезающе малую величину.

Не производит сильного впечатления и средняя плотность лунного шара. Если разделить только что приведенное значение массы на объем, равный $2,20 \times 10^{25}$ см³, мы получим, что средняя плотность вещества Луны равна $3,34$ г/см³, т. е. немного больше, чем плотность земных горных пород. Ускорение силы тяжести на лунной поверхности составляет $1,62$ м/сек², т. е. меньше $1/6$ земного. Критическая скорость (т. е. скорость, которую должна превысить частица вещества, чтобы покинуть лунную поверхность и удалиться в космическое пространство) составляет лишь $2,38$ км/сек. Относительно небольшое ускорение силы тяжести на поверхности Луны дает возможность поднимать грузы или бросать камни, затрачивая значительно меньше усилий, чем на Земле. Однако это означает также, что наш собственный вес меньше помогал бы нам, если бы мы пытались что-либо сжать или воткнуть в лунный грунт лопату, нажимая на нее ногой.

Между прочим, только что приведенная критическая скорость на Луне была бы постоянной на всей ее поверхности только при условии, что лунный шар не вращается вокруг оси и что можно пренебречь дополнительным притяжением Земли. Если мы примем во внимание (вводя соответствующие свойства так

называемых «поверхностей нулевой скорости» в ограниченной задаче трех тел) как возникающую при вращении Луны вокруг оси центробежную силу, так и земное притяжение, то обнаружим, что скорость, достаточная для освобождения частицы вещества из поля тяготения Луны, уменьшается до 2322 м/сек, хотя частица не может покинуть систему Земля — Луна, если ее скорость не превосходит 2326 м/сек.

Таким образом, близость Земли уменьшает критическую скорость в плоскости лунного экватора на 53 м/сек. Во время полнолуния, когда силы притяжения Солнца и Земли одинаково направлены, критическая скорость уменьшается еще на 118 м/сек, а в новолуние она увеличивается на такую же величину. В результате в тех областях лунной поверхности, где Земля находится вблизи зенита, критическая скорость доходит до 2204 м/сек, а две недели спустя она увеличивается до 2440 м/сек. Следовательно, ее изменения доступны оценке, но последствия (если они вообще имеются) таких изменений пока неизвестны.

Малость массы Луны и относительно небольшое значение критической скорости на поверхности влекут за собой некоторые важные следствия, и возможно самое важное из них состоит в полном *отсутствии какой-либо атмосферы* или защитного газового покрова вокруг Луны. Что позволяет небесному телу, например планете, окружить себя газовой оболочкой? Притяжение, оказываемое его массой на молекулы газа, препятствующее по крайней мере большинству из них, несмотря на тепловое движение под действием солнечного тепла, приобрести скорость, достаточную для того, чтобы покинуть поле тяготения материнского тела. Тот факт, что небесное тело сохраняет свою атмосферу, характеризует исход непрекращающейся борьбы двух противоположных влияний. С одной стороны, сила тяжести центрального тела действует на каждую молекулу газа, как и на любой макроскопический объект, и будет пытаться помешать ей покинуть материнское тело. С другой стороны, нагревающее газ солнечное излучение (так же как тепло

поверхности планеты) поддерживает его молекулы в постоянном движении и, таким образом, сохраняет протяженность атмосферы.

В основном скорость постоянно соударяющихся молекул будет тем больше, чем выше температура газа, но для достижения критической скорости требуется тем большая температура, чем тяжелее молекула. В свою очередь критическая скорость зависит как от массы, так и от радиуса рассматриваемого тела (будучи в общем больше для тел тяжелых и плотных, чем для легких и менее плотных). Приведем несколько численных примеров. Критическая скорость для поля тяготения Юпитера (наибольшей по размеру и массе планеты) превышает 61 км/сек. Для Земли эта скорость равна 11,2 км/сек, а для Луны только 2,38 км/сек. С другой стороны, тепловой энергии, соответствующей средней температуре дневного полушария Юпитера ($\sim 130^\circ\text{K} = -143^\circ\text{C}$), едва достаточно для того, чтобы обеспечить хотя бы водород, не говоря уже о более тяжелых молекулах, средней скоростью 1,3 км/сек, чего совершенно недостаточно для ухода молекулы в пространство.

Для Земли или для Луны, обладающих из-за близости к Солнцу более теплым климатом, средняя скорость теплового движения различных молекул будет выше. При 0°C средние скорости молекул водорода или атомов гелия должны составлять соответственно 1,84 и 1,31 км/сек; для молекул азота или кислорода соответствующие значения будут 0,49 и 0,46 км/сек, тогда как для водяного пара и углекислого газа они составят соответственно 0,62 и 0,39 км/сек. Если температура газа поднимется до 100°C (действительно встречающаяся на Луне в полдень), все приведенные выше скорости увеличатся приблизительно в 1,17 раза.

Несомненно, это лишь средние скорости, которыми обладает большинство молекул газа (однако не обязательно все). Некоторые из них могут временно, путем особенно энергичных (или слабых) столкновений, достичь случайных скоростей, значительно более высоких (или более низких), чем средняя скорость,

и, возможно, более высоких, чем критическая скорость для любой планеты. Однако отношение числа особенно быстрых частиц к общему количеству всех молекул газа остается постоянным и может быть определено статистически для каждой температуры в соответствии с кинетической теорией газов. Следовательно, возможно оценить теоретически долю молекул или атомов любого газа, которые в данное время имеют возможность покинуть атмосферу любой планеты. В результате обстоятельного анализа обнаружено, что при средней тепловой скорости молекул, составляющей $1/3$ критической скорости, половина соответствующей атмосферы рассеется в течение нескольких недель; если средняя тепловая скорость достигнет $1/4$ критической, то период полураспада нашей атмосферы увеличится приблизительно до 50 000 лет; в то же время при отношении $1/5$ атмосфера сохранилась бы в течение 100 млрд. лет.

Исходя из этих результатов, мы вынуждены предположить, что большие и массивные внешние планеты нашей солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — достаточно холодны, чтобы практически навсегда удерживать даже самые легкие газы (например, H_2 и He); их большие критические скорости (соответственно 61, 37, 22 и 25 км/сек) действительно защищают их от утечки атмосферы в пространство. Это заключение подтверждается спектроскопическими наблюдениями, при которых у этих планет обнаружены протяженные атмосферы, содержащие большое количество водорода и его соединений.

Что касается Земли, то ее притяжение оказывается слишком слабым (а средняя температура слишком высокой), чтобы постоянно удерживать в своей атмосфере наиболее легкие газы. Водород или гелий в свободном состоянии «утекут» в пространство весьма быстро (в космическом масштабе). С другой стороны, более тяжелые газы, например молекулярный азот или кислород, могут сохраняться почти бесконечно долго. Вероятно, в течение долгой истории Земли химический состав нашей атмосферы подвергался существенным изменениям, но, по-видимому,

в ее газовой оболочке никогда не было недостатка в летучих элементах.

Однако если мы перейдем к Луне, средняя температура которой не должна значительно отличаться от земной (поскольку оба эти тела одинаково удалены от Солнца и получают от него одинаковое количество тепла на единицу площади), но критическая скорость на поверхности составляет только 2,38 км/сек (т. е. в $4^{2/3}$ раза меньше, чем на Земле), то мы встретимся с более сложной ситуацией. Любая атмосфера, состоящая из водорода или гелия, рассеялась бы с поверхности Луны за несколько дней. Водяной пар улетучивался бы медленнее, хотя все же исчез бы за весьма короткое (в геологическом смысле) время. При полуденных температурах кислород, азот и углекислый газ также полностью улетучились бы за относительно короткое время. Действительно, на Луне скорость диссипации в пространство всех, даже наиболее тяжелых, газов (которые к тому же редко встречаются в космосе) настолько велика, что нечего надеяться обнаружить вокруг нее сколько-нибудь ощутимую постоянную атмосферу. Справедливость такого предположения подтверждается всеми видами доказательств, вытекающих из наблюдений, полученных до сих пор.

Вероятно, самым непосредственным наблюдением, которое давно наводило исследователей лунной поверхности на мысль об отсутствии на Луне воздуха, был общий вид Луны в телескоп и постоянное отсутствие заметных облаков над ее поверхностью. Те места на Луне, которые расположены вблизи края ее видимого диска (и должны были бы наблюдаться сквозь наибольшую толщу ее гипотетической атмосферы), всегда видны отчетливо, без малейшего помутнения. Все тени на Луне кажутся совершенно темными (хотя они должны быть окаймлены полутенью, так как Солнце не точечный источник света, а диск конечного углового диаметра), и на рогах полумесяца нет сумерек.

Кроме того, когда наш спутник оказывается между Землей и любым более удаленным телом, никогда не наблюдается признаков *рефракции* на лунном лимбе

Во время солнечного затмения, когда Луна покрывает солнечный диск, очертания его края совершенно не подвергаются какому-либо искажению. К тому же во время покрытия звезд Луной свет их исчезает мгновенно (или настолько внезапно, насколько это допускается законами дифракции и угловым диаметром данной звезды), а не ослабевает постепенно, что наблюдалось бы, если бы он угасал вследствие рассеяния в сколько-нибудь заметной лунной атмосфере.

Описанное отсутствие рефракции само по себе представляет достаточно строгую проверку и дает нам право сделать вывод, что у поверхности Луны плотность ее гипотетической атмосферы, если она вообще имеется, должна быть меньше 0,0001 плотности воздуха у поверхности Земли на уровне моря. Совсем недавно и этот верхний предел был еще понижен в результате неоднократных, но до сих пор бесплодных поисков признаков *явления сумерек*, которое должно было бы происходить в гипотетической лунной атмосфере во время восхода и захода Солнца.

Чтобы полнее оценить эффективность этого метода, рассмотрим свет, поступающий к нам из какого-либо места вблизи центральной части лунного диска во время первой четверти как раз перед восходом Солнца, когда поверхность Луны еще погружена в темноту, а пространство сверху уже освещается первыми лучами восходящего Солнца. Этот свет должен состоять из трех компонент: 1) свет, поступающий от лунной поверхности, освещенной Землей; 2) солнечный свет, рассеянный по лучу зрения в гипотетической лунной атмосфере; 3) лунный свет, рассеянный в земной атмосфере в направлении к наблюдателю.

При попытке выделить компоненту (2), имеющую смысл только при наличии какого-либо газа вокруг Луны, из паразитного (но значительно более интенсивного) рассеянного света, обусловленного источниками (1) и (3), нам, к счастью, помогает сама природа, так как свет, рассеянный газом в направлении, перпендикулярном направлению его падения, должен быть полностью поляризован, тогда как рассеянный свет, поступающий от лунной поверхности и от фона

неба, должен быть фактически свободным от поляризации. Таким образом, исследование, имеющее целью обнаружить гипотетическую лунную атмосферу, сводится к выявлению поляризованной компоненты в рассеянном свете, поступающем к нам от поверхности лунной поверхности точно перед восходом Солнца около первой четверти.

Измерения такого типа впервые были выполнены с достаточной точностью известным советским астрономом В. Г. Фесенковым; его результаты опубликованы в 1943 г. Вывод оказался отрицательным: никаких следов поляризации не было обнаружено. Точность эксперимента такова, что Фесенков должен был сделать вывод: плотность гипотетической лунной атмосферы (если она вообще имеется) составляет меньше 10^{-6} плотности атмосферы у поверхности Земли на уровне моря. Между прочим, если бы плотность гипотетической лунной атмосферы составила 10^{-4} плотности воздуха у поверхности Земли, то зона сумерек, освещаемая Солнцем во время новолуния, создавала бы вокруг лунного диска ореол; более яркий, чем пепельный свет на темной стороне Луны.

Недавно этот предел был еще более понижен выдающимся французским астрономом Бернардом Лио, который изучал свет, приходящий к нам из областей, расположенных за рогами лунного серпа, т. е. пепельный свет (компонента (1)). Лио проводил свои наблюдения на высокогорной обсерватории Пик дю Миди во Французских Пиренеях, знаменитой прозрачностью атмосферы. Кроме того, он использовал коронограф (телескоп, в котором специальными мерами сведен к минимуму свет, рассеянный в самой аппаратуре). Поэтому Лио был в состоянии обнаружить следы поляризации света от рогов Луны, еще более слабые, чем мог найти Фесенков вблизи центра лунного диска. Однако, несмотря на значительно большую чувствительность аппаратуры, Лио также получил отрицательный результат: никаких следов поляризации не было обнаружено. На этом основании Лио пришел в 1949 г. к заключению, что плотность гипотетической лунной атмосферы должна быть меньше

10^{-8} плотности воздуха у поверхности Земли. После преждевременной, вызвавшей всеобщее сожаление смерти Лио в 1952 г. эта работа была продолжена его учеником Дольфюсом. В 1956 г. последнему удалось путем дальнейших остроумных усовершенствований понизить вероятный верхний предел плотности гипотетической лунной атмосферы до $6 \cdot 10^{-10}$ плотности воздуха у земной поверхности. Следовательно, если бы Луна имела какую-либо газовую атмосферу, ее плотность у поверхности Луны не могла бы превысить $7 \cdot 10^{-13}$ г/см³, но, насколько она меньше этого значения, пока не известно.

С точки зрения геофизики плотность газа порядка 10^{-12} г/см³ представляет собой достаточно высокий вакуум, который, между прочим, существует в атмосфере Земли на высоте около 180 км над уровнем моря. Однако даже на такой значительной высоте количество частиц газа остается все еще порядка 10^{10} в 1 см³, и, хотя средний свободный пробег таких частиц между взаимными столкновениями оказывается порядка 100 м, даже столь разреженный газ все-таки можно обнаружить с помощью различных методов наблюдений. Разумеется, такая атмосфера ни в коей мере не смогла бы защитить лежащую под ней поверхность Луны от вторгающихся метеорных частиц. Гипотетическая лунная атмосфера, имеющая плотность у поверхности $\sim 10^{-12}$ г/см³, не могла бы затормозить метеорное тело (малого или большого размера) настолько, чтобы существенно ослабить его удар. Все метеорные частицы, захваченные Луной, должны падать на ее поверхность, по существу, с космическими скоростями и разрушаться на поверхности, а не при прохождении сквозь атмосферу, как в случае Земли. Излишне говорить, что частота ударов метеоритов (всех размеров) на единицу площади как Земли, так и Луны должна быть приблизительно одинакова. Однако метеор должен наблюдаться на Луне не в виде яркого следа во время приближения к поверхности, а скорее как мгновенная вспышка при ударе метеорной частицы о твердые горные породы. Такие вспышки при ударах метеоритов достаточно большой массы

должны были бы наблюдаться в телескоп, особенно на темной поверхности ночного полушария Луны. Их систематическое наблюдение может включить наш спутник в область метеорной астрономии.

Однако если мы рассмотрим земную атмосферу на высоте 180 км над уровнем моря, то, хотя ее плотности недостаточно, чтобы влиять на скорость пролетающих сквозь нее метеорных частиц, тем не менее она может вызывать другие интересные явления. На высоте между 180 и 200 км над уровнем моря мы оказались бы в середине зоны полярных сияний, где газ, светящийся под действием потоков частиц от Солнца, создает великолепное зрелище полярных сияний. Существуют ли подобные полярные сияния на Луне? Не так давно Герцберг указал на то, что исследование эмиссионных спектров подобного явления вокруг освещенного Солнцем края Луны могло бы оказаться одним из наиболее чувствительных способов обнаружения гипотетической атмосферы нашего спутника. Однако над поверхностью Луны никаких следов такого излучения пока не обнаружено, хотя совсем недавно поиски люминесцентного излучения, поступающего от Луны, привели к некоторым весьма интересным открытиям, которые будут кратко описаны в гл. 4.

Тем не менее, насколько нам сейчас известно, плотность атмосферы у поверхности Луны не может превышать 10^{-12} г/см³, и мы можем только предполагать, насколько ниже окажется ее реальная величина. Добавим, что для астрономов, занимающихся изучением относительной распространенности элементов в космосе, даже только что установленный верхний предел кажется до некоторой степени неприемлемо низким, поскольку вокруг Луны должно быть больше газа, чем допускается этим пределом.

В этой главе мы уже обсуждали вопрос о том, что в течение длительной истории Луны из-за слабого притяжения все легкие газы покинули бы ее поле тяготения, а большинство тяжелых газов (например, SO₂) снова вступало бы в реакцию с поверхностными породами, образуя твердые соединения. Однако это

неприменимо к так называемым «инертным газам», таким, как аргон, криптон и ксенон. Структура их атомов не позволяет им вступать в соединения; но они достаточно тяжелы для того, чтобы их критические скорости в поле тяготения Луны были сравнительно невелики (средние тепловые скорости атомов этих газов при 0°С составляют: для аргона 414 м/сек, для криптона 287 м/сек и для ксенона 229 м/сек).

Особенно интересен аргон, потому что совершенно независимо от первоначального количества этого элемента, которое удерживается Луной со времени ее образования, его запас должен постоянно пополняться за счет распада тяжелого изотопа калия K⁴⁰. Если (что весьма вероятно) химический состав Луны сходен с химическим составом наружного покрова нашей Земли, то вес калия составляет около 0,12% от веса Луны. Тогда общая масса Луны, которая, как известно, составляет $7,35 \cdot 10^{25}$ г, должна содержать приблизительно $8,8 \cdot 10^{22}$ г калия, и около 0,012 этого количества, или $9,7 \cdot 10^{17}$ г, должен составлять радиоактивный K⁴⁰, превращающийся (путем β-распада) в обычный изотоп аргона Ar⁴⁰.

Следовательно, полный распад лунного K⁴⁰ создает $9,7 \cdot 10^{17}$ г, или $1,5 \cdot 10^{40}$ атомов, аргона, а земная атмосфера в настоящее время содержит 10^{44} частиц газа. Можно делать довольно произвольные предположения относительно того, какому именно количеству аргона удается мигрировать из недр лунных масс до поверхности путем постоянной дегазации, вызываемой повышением внутренней температуры. Однако довольно обоснованные оценки (при известной скорости убегания аргона) дают количество аргона в лунной атмосфере, превышающее верхний предел ее плотности, который допускал бы отсутствие явления ощутимых сумерек.

Как объяснить это очевидное расхождение? Недавно Херринг и Лихт, по-видимому, нашли правильный путь. У Луны могла быть либо начальная атмосфера, либо она когда-нибудь возникла в результате радиоактивного распада или ядерных расщеплений под действием космических лучей. Тогда, как показали

Херринг и Лихт, большинство атомов тяжелых газов, содержащихся в этой атмосфере, могли «сдуваться» в пространство из-за столкновений с солнечными корпускулярными потоками (главным образом, с протонами), которые Солнце испускает спорадически, подобно порывам ветра. Существование таких «порывов», обычно связанных со вспышками и другими возмущениями солнечной поверхности, хорошо известно и подтверждается такими геофизическими явлениями, как полярные сияния и магнитные бури. Херринг и Лихт утверждают, что мощность этого «протонного ветра» солнечного происхождения достаточно для того, чтобы удалить большую часть аргона и других редких газов из окрестностей Луны и таким образом лишить лунную поверхность даже тех незначительных следов газового покрова, которые в состоянии было бы удержать ее слабое приращение.

Если Луна не обладает ощутимой атмосферой из-за слабого поля тяготения и относительно высокой дневной температуры, то она тем более не может удерживать на своей поверхности какую-либо жидкость. Наверное, вблизи полюсов могут существовать никогда не освещаемые Солнцем впадины, где конденсировались летучие вещества, которые, возможно, находятся в состоянии своего рода вечной мерзлоты; однако если бы они когда-либо испарялись, то неизбежно исчезли бы за очень короткое время. Следовательно, вода не могла бы существовать на Луне ни в твердом, ни в жидком состоянии сколько-нибудь длительное время. По-видимому, поверхность Луны совершенно иссохшая и остается такой с незапамятных времен. На ней не видно никаких деталей, которые могли бы образоваться или измениться под действием проточной, замерзшей или тающей воды. Следовательно, один из факторов, играющих наиболее важную роль в геологических изменениях земной поверхности, на Луне постоянно отсутствовал, и его нельзя привлечь для объяснения особенностей структуры поверхности нашего спутника. Мы обсудим этот вопрос более подробно в следующей главе.

Заканчивая эту главу, скажем пока несколько слов о внутренней структуре лунного шара. Первостепенное значение в этом вопросе имеют опять-таки масса и средняя плотность нашего спутника. Исходя из имеющихся наблюдений массы и радиуса Луны, мы уже получили, что плотность составляет $3,34 \text{ г/см}^3$. Кроме того, так как масса Луны относительно невелика, гидростатическое давление в ее центре не превосходит 50 000 атмосфер (такое давление существует на глубине 150 км под поверхностью Земли). Давления такого порядка без труда достигаются в земных лабораториях, и изменения в плотности обычных горных пород под таким давлением уже измерены. На основании всех данных, которыми мы теперь располагаем, разумно предположить, что действительная плотность вещества лунной поверхности близка к $3,28 \text{ г/см}^3$ и увеличивается благодаря давлению до $3,41 \text{ г/см}^3$ вблизи центра Луны. Такая модель удовлетворительно соответствует наблюдаемой плотности лунного шара и заставляет нас предположить, что в целом Луна состоит из вещества, очень близкого к веществу земной коры.

Можно допустить, что в состав вещества Луны входят те же тяжелые элементы, что и в солнечное вещество, причем количество железа, вступившего в соединение с кислородом, неизвестно; во всяком случае, плотность Луны близка к плотности такого вещества, где большая часть железа находится в виде окислов. По-видимому, в лунном веществе содержится много силикатов базальтового состава (оливин), хотя их более точного отождествления следует ожидать после петрографического исследования, которое, вероятно, станет возможным в недалеком будущем (как сейчас проектируется, с передачей данных по радио с лунных ракет). Однако некоторые важные факты можно считать установленными в настоящее время, например, что весь лунный шар с химической точки зрения весьма однороден и постепенное увеличение его плотности при переходе к внутренним частям происходит главным образом в результате возрастания давления. В частности, в противоположность нашей

Земле и, возможно, другим родственным ей планетам Луна вряд ли имеет какое-либо плотное или жидкое ядро. По этой причине нельзя ожидать, чтобы спутник Земли обладал ощутимым магнитным полем, что подтверждается непосредственными наблюдениями, о которых мы сообщим подробнее в гл. 4. Из-за небольших размеров и массы Луна, вероятно, представляет собой массивную, однородную вплоть до ядра, совершенно лишенную влаги каменную глыбу.

Была ли Луна когда-либо в расплавленном состоянии? Если и была, то она должна была быстро затвердеть — не меньше чем $\sim 4,5 \cdot 10^9$ лет назад (что соответствует общепринятому в последнее время возрасту нашей солнечной системы) — и затем медленно охлаждаться путем теплопроводности. Однако известный американский химик Юри высказывает сомнение относительно того, имела ли Луна достаточно времени для охлаждения, если первоначально она находилась в расплавленном состоянии. Он приводит убедительные доводы в пользу того, что Луна образовалась путем «слипания» твердых тел при низкой температуре. Если это так, то современная внутренняя температура Луны должна в значительной степени определяться содержанием в ее коре радиоактивных элементов (например, калия K^{40} , тория или урана). Если исходить из умеренных оценок содержания этих элементов, то даже вблизи центра Луны ее температура не может превышать $\sim 2000^\circ\text{C}$, а средняя температура лунных недр должна быть близкой 1100°C . Вследствие большего отношения поверхности к объему (в 4 раза по сравнению с Землей) Луна должна была терять тепло значительно быстрее, чем Земля. Так, Юри подсчитал, что температура, равная 1100°C , существующая на глубине ~ 50 км под поверхностью Земли, на Луне достигалась бы только на глубине приблизительно 350 км.

Резкая разница в химическом составе Земли и Луны, вероятно, указывает на совершенно различное происхождение этих двух тел. Прежние теории, содержавшие попытку объяснить происхождение Луны путем приливного разрыва жидкой Земли, вызванного

резонансом между продолжительностью суток (т. е. между периодом солнечных полусуточных приливов) и периодом свободных нерадиальных колебаний земного шара в начальной стадии развития, совсем недавно встретились с непреодолимыми трудностями, связанными главным образом с относительно большой вязкостью земного вещества, и поэтому от этих представлений пришлось отказаться. За последнее время мнение большинства ученых склоняется к тому, чтобы рассматривать происхождение Земли и Луны как не связанные между собой события. Предполагается, что оба эти тела возникли во время образования солнечной системы в целом в результате процессов, которые пока не нашли достаточно полного объяснения. Кроме того, Юри утверждает, что Луна, вероятно, старше Земли и, возможно, достигла своего современного размера раньше, чем завершилось накопление другого сгустка космической материи, давшего начало нашей планете. Если эта точка зрения правильна, то Луна — подкидыш, а не собственный ребенок Земли, хотя до сих пор приходится лишь строить предположения о том, когда и каким образом Земля могла приобрести свой единственный естественный спутник.

УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ЛУНЫ

В предшествующей главе мы познакомились с основными физическими свойствами лунного шара в целом. В этом разделе мы намерены рассмотреть более внимательно некоторые видимые детали его поверхности, а также постараться понять природу основных сил, с незапамятных времен принимавших участие в их формировании.

Что так привлекает к Луне наше внимание и что мы надеемся выведать у нее? Она очень стара (ее возраст, вероятно, не меньше 4,5 млрд. лет) и, по видимому, оставалась близким спутником Земли с эпохи ее образования. Кроме того, постоянное отсутствие воздуха и воды на Луне, о чем уже шла речь в гл. 2, в сущности, свидетельствует о том, что большая часть ее сложной летописи, запечатленной в хорошо знакомых нам окаменелых чертах, возможно, восходит к весьма отдаленным временам, а наиболее древние детали, быть может, не подвергались слишком большим изменениям за все время с возникновения нашей солнечной системы. На Земле или на других соседних планетах все примечательные детали сравнимого возраста за длительное время должны были стать жертвой совместного действия их атмосфер или океанов и полностью исчезнуть. Однако, поскольку любые изменения на безжизненной Луне могут протекать только чрезвычайно медленно, ее морщинистый лик до сих пор должен носить шрамы и следы событий, происходивших в ближайших окрестностях солнечной системы со времени ее образования 4,5 млрд. лет назад. А если это так, то их правильное толкование действительно имеет большую научную ценность.

Даже для невооруженного глаза Луна выглядит красивым объектом. Ее разнообразят пятна, с которыми связаны многочисленные мифы. Если мы посмотрим в телескоп на ее морщинистый, испещренный оспинами лик или еще лучше на составную фотографию для двух четвертей (фото I)¹⁾, то самый беглый взгляд обнаруживает, что поверхность Луны бывает двух различных типов: В одном случае это каменистый и пересеченный грунт сравнительно светлой окраски (отражающий местами до 20—30% падающего солнечного света), в другом — более темный (отражающий в среднем лишь 6—7% падающего солнечного света), значительно более ровный и часто настолько плоский, что производит впечатление жидкой поверхности. К первому типу мы отнесем в основном горы. Они занимают сплошь большие пространства, особенно в южном полушарии Луны, и в общем покрывают немного меньше $\frac{2}{3}$ всего видимого лика нашего спутника. Остальную часть занимают плоские равнины — maria, или моря, как их прежде неверно называли наблюдатели Луны, не сумевшие правильно объяснить истинную природу ее поверхности. Эти равнины испещрены трещинами и кое-где разбросанными скалами. Независимо от размера все они удивительно одинаковы по отражательной способности и общему виду.

Если внимательнее посмотреть на Луну в телескоп с увеличением в несколько сотен раз или на фотографии лунной поверхности, полученные при помощи лучших в мире инструментов (сравните фото II и III), приближающих картину, которая откроется перед будущими путешественниками, когда они выйдут из иллюминаторов своих космических кораблей за несколько часов до посадки, то обнаружится почти сбивающее с толку множество образований и структур, среди которых нет ни одной, в точности похожей на другую. Однако среди таких образований повсюду на Луне преобладающим и наиболее многочисленным типом являются кольцеобразные, окруженные

¹⁾ См. фотографии в конце книги. — *Прим. ред.*

валами впадины, которые обычно называют *кратерами*. Они встречаются на Луне почти всюду, как в горных областях, так и в морях, в поистине огромном изобилии, придавая лунной поверхности вид рябого лица: число кратеров с диаметрами более 1 км, по-видимому, превышает 300 000 только на видимом полушарии Луны, а еще меньших по размеру кратеров, вероятно, так много, что их невозможно сосчитать.

Диаметры наибольших кратеров превосходят 200 км. Типичные образцы таких кратеров показаны на фото IV и V. На фото IV сфотографирована часть лунной поверхности вблизи южного полюса Луны (ее мы уже видели с большего расстояния на фото II), в центре которой расположена большая, окруженная валами равнина, названная Клавием по имени выдающегося астронома Римской академии и старшего современника Галилео Галилея епископа Христофора Клавия (1537—1612). Диаметр впадины превосходит 230 км, а своими размерами и высотой валов она напомнила Галилею, впервые в истории науки применившему телескоп для наблюдения Луны, виды Чехии, расположенной в центре Европы. На фото V можно видеть восход Солнца на другой, окруженной валом и пока безыменной, равнине, расположенной на восточных склонах Моря Облаков, по размеру почти равной Клавии и удаленной от него только на несколько сотен километров к северу.

На Луне имеется всего пять кратеров, размеры которых превосходят 200 км, и, кроме того, 32 объекта с диаметрами 100—200 км. Теперь спустимся и перейдем на берега долины, носящей поэтическое название Море Нектара, где мы находим значительную группу кратеров, из которых крупнейший, Феофил, имеет диаметр более 100 км. Он прекрасно виден в лучах заходящего Солнца на фото VI. Кроме того, в противоположном квадранте Луны над обширными равнинами Океана Бурь возвышается великолепный образец кратера, носящий имя Коперника. Его правильная структура с поперечником 90 км господствует над окружающим ландшафтом (фото VII и VIII). На тех же фотографиях можно видеть много

других примеров подобных кольцевых гор; их более подробное описание можно было бы продолжать без конца.

Во-первых, на Луне нет ни одного кратера, в точности подобного другому. Однако, кроме характерных индивидуальных черт, большая часть кратеров имеет и много общих характеристик. Если их расположить по размеру, то ряд будет тянуться непрерывно от самых больших, уже описанных выше, до самых малых кратерных углублений, различимых в наши телескопы. Распределение кратеров всех размеров на видимом лике Луны как будто имеет совершенно случайный характер.

Во-вторых, *высоты валов всех лунных кратеров оказываются, как правило, весьма малыми по сравнению с их абсолютными размерами*. Последние измеряются довольно просто: зная угловой масштаб фотографий, можно без труда выразить измеренные на пластинке линейные диаметры в минутах и секундах дуги. Кроме того, поскольку для среднего расстояния от Земли до Луны каждая секунда дуги соответствует 1864 м лунной поверхности, перевод угловых измерений в линейные расстояния на Луне не представляет затруднений.

С другой стороны, высоту любой горы или вала кратера следует определять из измерений теней, отбрасываемых соответствующей возвышенностью на окружающий ландшафт. Конечно, длина этих теней будет меняться с высотой Солнца над лунным горизонтом: она будет наибольшей (а также изменяться быстрее всего) во время восхода или захода Солнца. Поскольку для любого места на Луне нам с большой точностью известно мгновенное положение Солнца на лунном небе, непрерывная фотографическая регистрация укорочения и удлинения теней путем киносъемки во время восхода и захода Солнца может привести не только к установлению высоты любой возвышенности над окружающим ландшафтом, но и указать те неровности грунта, на которые падают тени. Точность позиционных измерений на лунной поверхности, достигаемая современными телескопами, дает нам

возможность измерить местоположение любого отдельного пункта относительно других с ошибками порядка 300—400 м, тогда как высота любой горы определяется методом тени в пределах ± 10 м. Такая точность измерений весьма высока, принимая во внимание, что триангуляцию приходится проводить на расстоянии, которое никогда не бывает меньше 356 000 км.

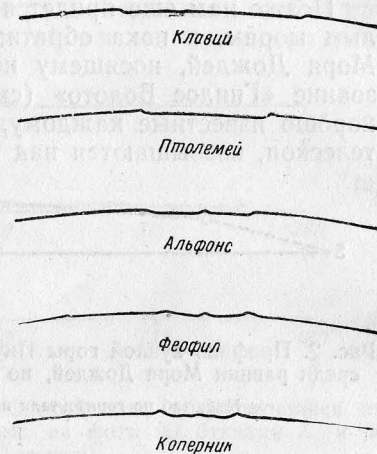
В результате многочисленных измерений высот валов отдельных лунных кратеров оказалось, что они, как правило, невелики. Так, наибольшая высота, которой достигают края кратера Клавий (см. фото IV) над окружающим ландшафтом, составляет едва 1600 м (т. е. она приблизительно та же, что и высота самой высокой вершины в горной цепи, окружающей Чешское плато в Центральной Европе); над самой низкой частью дна кратера эта высота не превосходит 4900 м. Она настолько мала, а размеры всего кратера настолько велики, что стоящий посередине дна кратера наблюдатель совсем не видел бы края валов, так как для него все они окажутся под горизонтом! Для представленных на фото VI—VIII двух других больших кратеров, Феофил и Коперник, условия будут приблизительно те же. Наибольшая высота валов Феофила не превосходит 1200 м над окружающим ландшафтом и 4400 м над дном его впадины; центральная горка поднимается до высоты 2200 м над ближайшими окрестностями. Для Коперника соответствующие значения будут 1000 и 3300 м для валов и 1200 м для центральной горки.

Представленные в виде диаграмм очертания этих двух и еще нескольких кратеров показаны на рис. 1. Одного взгляда на их размеры, выраженные в том же горизонтальном масштабе, что и кривизна лунной поверхности, достаточно, чтобы выявить плоскую структуру всех кратеров. Кроме того, у всех впадин дно лежит ниже окружающей поверхности, а их объем в большинстве случаев приближается к объему окружающих валов. Это наводит на мысль, что вещество краев кратера было смещено из коры силами, которые образовали центральную горку. Очень маленькие

кратеры почти не имеют никаких валов и представляют собой просто осевшие в лунную поверхность горки. Таким образом, кратеры на Луне едва ли заслуживают названия настоящих гор. Скорее они похожи на обильно рассеянные по стареющему лунному

Рис. 1. Схематические профили пяти больших лунных кратеров.

Клавий (234 км, фото IV), Птолемей (144 км, фото XIV), Альфонс (120 км, фото IV), Феофил (106 км, фото VI), Коперник (90 км, фото VII—VIII). Они приведены в том же горизонтальном масштабе, что и кривизна лунной поверхности. Для более рельефного изображения очертаний этих кратеров масштаб по вертикали увеличен вдвое. В действительности они более плоски, чем показано на диаграмме.



лику оспины и, по-видимому, не имеют явного сходства с земными горами.

Относительно небольшие высоты и пологие склоны лунных кратеров характерны и для всех остальных гор на Луне. Впечатление от их размеров слишком сильно преувеличено благодаря тому, что они отбрасывают длинные тени во время восхода и захода Солнца. Чтобы проиллюстрировать это, рассмотрим фото IX, относящееся к северо-восточному квадранту лунной поверхности, который занимает огромная равнина Моря Дождей, возможно, самое значительное лунное образование этого типа с поперечником около 1100 км. Вдоль большей части его берегов тянутся высокие горные цепи лунных Альп и Апеннин, высота самой значительной вершины которых (гора Гюйгенса) достигает 5500 м. Возможно, что эти горные цепи представляют собой не что иное, как разрушенные

и неполные валы гигантского кратера, дно которого стало современным морем. По-видимому, то же будет верно и для соседнего Моря Ясности, окаймленного с трех сторон горами Кавказ, Гемус и Тралль, дальше к западу для Моря Кризисов и, возможно, для других.

Позже нам еще придется вернуться к этим округлым морям, а пока обратимся к западному заливу Моря Дождей, носящему несколько неприятное название «Гнилое Болото» (см. фото X). Три кратера, хорошо известные каждому, кто смотрел на Луну в телескоп, возвышаются над ландшафтом этого моря:

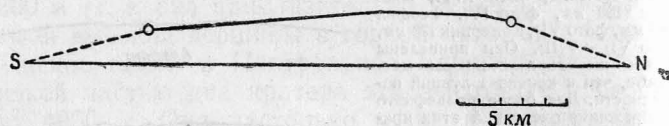


Рис. 2. Профиль лунной горы Питон, расположенной на западе среди равнин Моря Дождей, по Рекхэму (ср. фото IX и X).

Масштаб по горизонтали и вертикали одинаков.

Архимед (поперечник ~ 80 км), Аристилл (поперечник 56 км, имеется центральная горка) и Автолик (поперечник 38 км). Однако особый интерес представляет гора Питон (отмеченная на фото X стрелкой), которая возвышается в виде одинокого утеса над равнинами и во время последней четверти отбрасывает длинную тень в лучах заходящего Солнца.

Если, подлетая к Луне, смотреть на эту гору, то она выглядит скорее как круглая скала, вроде лунного Маттерхорна. И это будет близко к истине. Недавно, после измерений и анализа длины тени, проведенных Рекхэмом из Манчестерского университета, обнаружилось, что на наблюдателя, находящегося на Луне, гора не производила бы столь сильного впечатления. Установленное таким способом действительное поперечное сечение Питона показано на рис. 2. Оказывается, что, хотя эта гора достигает значительной высоты, свыше 2300 м, она настолько широка в основании (почти 28 км), что скорее похожа на большой

холм, чем на отвесную скалу. У нее нет никакой сколько-нибудь заметной вершины. Кроме того, кривизна лунной поверхности такова, что для наблюдателя, находящегося на Луне на расстоянии приблизительно 90 км (на фото X эти пределы отмечены пунктирной линией в виде овала), даже вершина Питона окажется полностью ниже горизонта; любой наблюдатель, находящийся вне овала, совсем не увидит этой горы.

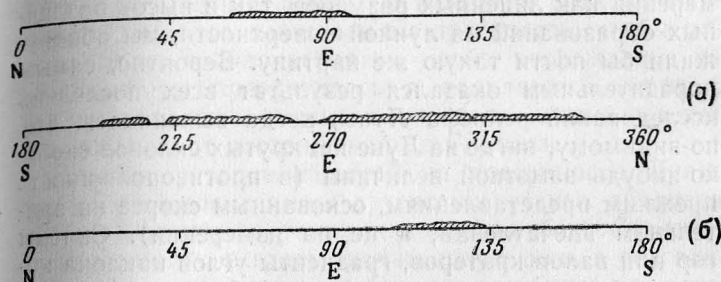


Рис. 3. Вид берегов Моря Спокойствия, открывающийся из точек наблюдения, отмеченных на фото XI буквами X и Y (по Тернеру).

а — панорама из точки Y; б — панорама из точки X, причем в западной части горизонт ровный, без следов каких-либо образований. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы. Азимут отсчитывается от севера к востоку.

Чтобы показать еще на одном примере, насколько ровен рельеф лунной поверхности, обратимся теперь к юго-восточной части Моря Спокойствия недалеко от кратера Феофил, в последнее время топографически изучавшегося Тернером в Манчестере. Что увидит наблюдатель, находящийся на Луне, допустим, в точках X и Y (фото XI), если рассматривать высоты валов различных кратеров в области, изображенной на фото XI, с учетом кривизны лунной поверхности? Ответ на этот вопрос Тернер дает в виде диаграмм, изображенных на рис. 3. Мы обращаем внимание на то, что расположенный в точке X наблюдатель не увидел бы совсем ничего над плоскими очертаниями своего западного горизонта, а на восточном горизонте

оказались бы только невысокие очертания соседнего кратера Араго В. Но даже вид, открывающийся с поверхности из точки У, расположенной в непосредственной близости к кратерам Риттер и Дионисий, не произвел бы большего впечатления. Он должен скорее напоминать поверхность пустыни, на которой вдали кое-где видны одинокие столовые горы, чем настоящую земную горную область.

Оказавшись в любом месте на Луне и проведя измерения как линейных размеров, так и высот различных образований на лунной поверхности, мы обнаружили бы почти такую же картину. Вероятно, самым поразительным оказался результат всех последних исследований рельефа Луны, когда выяснилось, что, по-видимому, нигде на Луне нет крутых склонов сколько-нибудь заметной величины (в противоположность прежним представлениям, основанным скорее на зрительном впечатлении, а не на измерении). Склоны гор или валив кратеров, градиенты углов наклона которых пока удалось измерить, как будто составляют с горизонтом углы меньше 10° . Впечатление неровной поверхности, возникающее при беглом взгляде на фотографии восхода или захода Солнца, в значительной степени исчезает при правильном учете высоты Солнца над горизонтом (определить которую не так просто). Кроме того, если мы вспомним, что относительно небольшой лунный шар имеет значительную кривизну, то неизбежно приходим к заключению, что в большинстве мест на Луне ландшафт будет довольно унылым и однообразным; лишь немногие бросающиеся в глаза объекты могут служить надежными ориентирами.

В результате лунные горы оказались бы мало привлекательными для альпинистов, привыкших сталкиваться с опасностями земных вершин: здесь нет ни льда или ледников, ни внезапных изменений погоды или страшных снежных метелей, ни крутых, почти непроходимых склонов; здесь не нужны кошки или ледорубы для подъема на крутые скалы. В довершение всего сила тяжести на поверхности настолько мала, что переносить снаряжение или продовольствие,

висящие на Земле 30 кг, не труднее, чем совершать увеселительную прогулку. Единственное, чего потребовалось бы здесь значительно больше, чем на Земле, — это кислород, без которого мы не смогли бы сделать ни одного шага. К тому же в награду за восхождение на вершину перед нами вряд ли открылась бы грандиозная панорама, а прием солнечной ванны или ночевка под открытым небом быстро повлекли бы за собой возмездие — нам не пришлось бы проснуться. Кроме того, если принять во внимание хотя бы расстояние, которое пришлось бы преодолеть, чтобы достичь цели, то маловероятно, чтобы восхождение на лунные горы превратилось в популярный спорт и угрожало отвлечь значительную часть наших земных альпинистов от восхождений на Гималаи.

Кроме кратеров и морей на поверхности Луны, бросается в глаза много других интересных объектов меньшей величины, таких, как *купола*, *борозды*, *лучи*, которые могут сыграть значительную роль в разгадке истории нашего спутника. Однако как будто нет оснований сомневаться в том, что кратеры и моря как по количеству, так и по площади, занимаемой ими на лунной поверхности, представляют собой наиболее характерные черты поверхности нашего спутника. Любая попытка прочесть эту сложную окаменелую летопись должна будет внести ясность в проблему их происхождения, прежде чем для интерпретации будут собраны другие, менее важные подробности.

Что же мы можем сказать в настоящее время о происхождении лунных кратеров? При одном взгляде на почти сбивающее с толку множество этих формаций всех размеров (см. фото II—XIV) кажется маловероятным, чтобы все они образовались одинаковым путем и одновременно. При более подробном анализе характерных особенностей кратеров обнаруживается, что догадка относительно их неодинакового происхождения, по-видимому, достаточно обоснована. В самом деле, быть может, всего разумнее подойти к вопросу, если сначала выяснить, каковы были основные физические процессы, которые могли бы содействовать созданию поверхности нашего спутника? При

такой постановке задачи мы сразу встретимся с двумя противоположными теориями происхождения кратеров: с экзогенной теорией, основанной на эффектах, вызываемых ударами о лунную поверхность других небесных тел (астероидов, комет или метеоритов), и эндогенной теорией, в основу которой положены внутренние процессы, связанные с постепенным обезвоживанием и дегазацией лунного шара и локальной вулканической деятельностью.

Уже в 1610 г. Галилео Галилей сообщил в своем «Звездном вестнике», что поверхность Луны «изобилует неровностями», и это обстоятельство вызвало сначала немалое смятение среди философов школы перипатетиков. Спустя 57 лет Гук, также интересовавшийся Луной, проделал такой опыт: бросал горох в сосуд с жидкой глиной и наблюдал возникновение образований, которые можно было бы назвать «ударными кратерами». Но, будучи настойчивым, Гук не остановился на этом эксперименте. Как он сообщает в своей «Микрографии» (1667 г.), он кипятил густой раствор масла и наблюдал образование на его поверхности неустойчивых кратерообразных структур. Таким образом, он положил начало очень интересному спору о происхождении лунных кратеров, который не разрешен до сих пор. Чтобы оценить преимущества и недостатки этих теорий, насколько это возможно сделать в настоящее время, перечислим в общих чертах лежащие в их основе доводы и свидетельства в их пользу.

Прежде чем излагать экзогенную теорию, уместно вспомнить, что межпланетное пространство, в котором Земля и Луна обращаются вокруг Солнца, не совсем пусто. Оно содержит большое количество ингредиентов, весьма разнообразных по весу и размеру: от газа свободных электронов, доходящего до нас от Солнца и присутствующего далеко за пределами земной орбиты, микроскопических пылинок и метеорных тел (вероятно, оставшихся со времени образования всей солнечной системы) до больших метеоритов, астероидов или комет. Их орбиты могут пересекаться в пространстве с орбитой Луны, в результате чего они

могут иногда сталкиваться с ней. Даже в настоящее время трудно оценить сколько-нибудь точно частоту, с которой лунная поверхность, подобно земной, испытывает непосредственные удары больших глыб космической материи в виде астероидов или комет, не говоря уже о том, какой эта частота могла быть в более отдаленном прошлом. Однако в течение долгой истории Луны следы некоторых таких ударов, несомненно, должны были сохраниться, и потому важно выяснить последствия, которые влечет за собой подобное событие, а они должны были бы быть поистине катастрофическими.

Попытаемся представить их себе. Рассмотрим большой метеорит — глыбу весом в миллион тонн, движущуюся в пространстве со скоростью 30 км/сек относительно Луны. Полная кинетическая энергия такого тела, равная половине произведения его массы на квадрат скорости, будет порядка 10^{25} эрг. Если бы такое тело обрушилось на полной скорости на поверхность Луны, оно проникло бы в глубь ее коры, подобно снаряду, и углублялось бы в ее поверхностные слои до полной остановки. Однако кинетическая энергия, которой до удара обладало метеоритное тело, не может исчезнуть. Она должна проявиться в другой форме, в которую преобразуется в согласии с известными законами физики, главным образом в виде тепла, достаточного, чтобы полностью испарить всю вторгшуюся массу и превратить ее в чрезвычайно горячий газовый пузырь (с температурой порядка 1 000 000°) на глубине под поверхностью, вдвое большей диаметра первоначального тела.

Не приходится говорить о том, что такое большое количество столь горячего газа не может ни на мгновение сдерживаться весом лежащих сверху обломков. Газ немедленно взорвется с огромной силой, и его расширение должно сильно воздействовать на районы, очень большие по сравнению с первоначальными размерами «снаряда». Следовательно, основной эффект взрыва, по существу, будет подобен действию взрывчатого вещества, а начальное направление движения сталкивающегося тела не обязательно оказывает

значительное влияние на симметрию следа, образовавшегося в результате взрыва на поверхности. Возможный результат изображен на рис. 4 в виде диаграммы, представляющей вероятное поперечное сечение лунного кратера, образовавшегося в результате удара. Количество твердого вещества, которое останется от вторгшегося тела вокруг места взрыва, должно быть пренебрежимо малым. Большая часть этого вещества

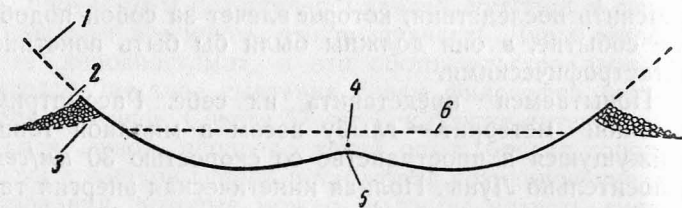


Рис. 4. Схема гипотетического лунного кратера, образовавшегося в результате удара (по Голду).

Масштаб по вертикали увеличен. 1 — граница газового потока; 2 — отложение вещества после перемешивания внутренних частей; 3 — «вздыбленный» край; 4 — место возникновения взрыва; 5 — центральная горка; 6 — первоначальная поверхность.

испарится и улетучится в пространство или рассеется по значительной части окружающей лунной поверхности.

В результате проведенных на Земле разнообразных экспериментов с зарядами, взрываемыми в соответствующей среде, действительно обнаружилось, что взрывы вызывают локальные поверхностные эффекты, воспроизводящие с поразительной точностью валы некоторых типов лунных кратеров. Однако таким путем трудно моделировать все разнообразные типы лунных кратеров. Так, обстоятельства происхождения кратеров типа Феофил или Коперник (фото VI—VIII), валы которых окружают вогнутую впадину с центральной горкой, несомненно, были иными, чем те, которые привели к образованию Клавия (фото IV), Платона (фото IX, внизу) или Птолемея и Альфонса (фото XIV), которые имеют совершенно плоское дно без следов центральной горки, и, по-видимому,

состоят из такого же темного вещества, какое покрывает окрестные моря. Кроме того, немногие из относительно глубоких кратеров, подобных Тихо (фото II, вверху) или Копернику (фото VII), являются, по-видимому, местами, откуда, подобно щупальцам, по всем направлениям на значительное расстояние расходятся радиальные системы ярких лучей и создают сразу впечатление «скопления» выброшенного при ударе вещества поверхностных слоев. Однако другие кратеры, в иных отношениях весьма сходные с этими (например, Феофил), не имеют и следов лучей.

К тому же не нужно переоценивать значение косвенных указаний, основанных на сходстве между наблюдаемыми деталями поверхности Луны и эффектами удара в лабораторных экспериментах или другими сходными явлениями на Земле (воронки от бомб и т. д.), так как различия между масштабом и общей энергией, требуемой для проведения экспериментов на Земле, с одной стороны, и для гипотетических ударов, способных образовать большие кратеры на поверхности Луны, — с другой, приводят к величинам совершенно разных порядков. Болдуин, один из главных современных сторонников ударной теории происхождения лунных кратеров, в известной книге «Лик Луны» утверждает, что для образования кратера с диаметром 30 км посредством удара требуется затратить кинетическую энергию порядка 10^{25} эрг, а для увеличения его размеров в два или четыре раза необходимым условием были бы энергии в 10 или 100 раз большие. Кроме того, если бы вторгающиеся тела состояли из каменного вещества ($\rho \approx 3 \text{ г/см}^3$), то их поперечник составлял бы соответственно ~ 240 , 540 и 1640 м и на 20% меньше, если бы их основной составной частью оказался сплав никеля и железа ($\rho \approx 7 \text{ г/см}^3$). Последние исследования этого же вопроса, проведенные ван Дорном, также наводят на мысль, что полученные Болдуином числа следовало бы пересмотреть и значительно увеличить; и в действительности для образования кратера диаметром 30 км (в общем диаметр меняется как корень кубический из энергии удара) потребовалась бы энергия

порядка 10^{28} эрг. Следовательно, для образования посредством удара такого большого кратера, как Клавий (фото IV), необходимы были бы энергии, подобные энергиям ударов на большой скорости малых астероидов размера Эроса, Гермеса и Адониса (подходивших в последние десятилетия довольно близко к Луне), поперечники которых достигают 10 км, а массы — 10^{13} т.

Однако мгновенное выделение такого огромного количества энергии приведет в действие цепь таких явлений, разрушительность которых непосредственно в месте удара (и вокруг него) не только трудно себе представить, но и последствия которых будут ощущаться в той или иной степени по всей Луне в результате распространения *сейсмических волн*. Чтобы оценить интенсивность вызываемых такими волнами возмущений, рассмотрим вторгающийся метеорит в тот момент, когда он полностью останавливается под наружными слоями лунной поверхности, что неизбежно влечет за собой превращение его полной кинетической энергии в другие виды энергии. Каким именно образом будет распределяться этот большой запас энергии? Хотя фактическое распределение энергии должно решаящим образом зависеть от глубины проникновения, сведения, которыми мы располагаем, указывают на то, что только около половины кинетической энергии падающего тела превращается в тепло и вызывает его испарение. Большая часть остатка поглощается при ударе о грунт и расходуется на нагревание (пусть и без испарения) лежащих на небольшой глубине горных пород. Как только давление удара понизится до величины порядка предела упругости этих пород (около 1 кбар), оставшаяся энергия будет распространяться в виде сейсмических волн, а ее величину можно оценить в несколько процентов от полной кинетической энергии вторгшегося тела.

Таким образом, мы снова получаем подтверждение того, что при ударе, способном образовать кратер диаметром 30 км, должна выделиться сейсмическая энергия порядка 10^{26} эрг. Это значение будет

меняться пропорционально размерам кратера, а возникающие при ударе сейсмические волны как бы распространяются на своем пути весть о случившемся по всей поверхности лунного шара. Иными словами, любой удар тела, способный образовать лунный кратер, обязательно вызовет «лунотрясение» с весьма неглубоким эпицентром. Стоит рассмотреть влияние сейсмических волн на Луну в целом.

Чтобы оценить более полно значение «лунотрясений», напомним, что при наиболее разрушительных землетрясениях, происходивших на нашей планете в историческую эпоху, выделялась энергия порядка 10^{26} — 10^{27} эрг, т. е. в 10—100 раз меньше, чем расход энергии гипотетического «лунотрясения», сопровождаемого образованием кратера диаметром 100—120 км. Если принять во внимание, что только на видимом полушарии Луны имеется почти 50 кратеров такого или большего размера (вплоть до диаметра 230 км) и общее количество кратеров с диаметром, превышающим 1 км, составляет несколько сотен тысяч, то возникают следующие сомнения. Если бы все эти образования (или хотя бы большинство из них) возникли в результате ударов, то каким образом на Луне какая-либо древняя гора или вал могли выдержать длинный ряд внезапных и разрушительных сейсмических толчков, которые вызываются ударом каждого падающего из межпланетного пространства тела?

Из различных типов разрушительных сейсмических волн, возникновение которых приходится связывать с ударами внешних тел о массивный шар Луны, поверхностные (релеевские) волны должны представлять особый интерес вследствие их относительно слабого затухания. Известно, что на Земле их амплитуды уменьшаются на $1/3$ на расстоянии 5000 км, а в слабом поле тяготения Луны они затухают, по-видимому, в еще меньшей степени. Кроме того, поскольку длина окружности лунного шара составляет только 10 921 км, то релеевские волны, возникшие в результате удара метеорита, должны сойтись из всех направлений в диаметрально противоположных точках,

и их полная энергия будет порядка 0,001 энергии первоначального удара. Этой величины, вероятно, было бы достаточно, чтобы произвести разрушения в диаметрально противоположной области на большом протяжении. Несмотря на то что такие диаметрально противоположные точки для всех видимых кратеров, конечно, расположены на противоположной стороне Луны, интересно знать, какого рода явления могли бы происходить на видимом полушарии Луны в результате ударов о ее противоположную сторону. До сих пор сторонниками чисто метеоритного происхождения лунных кратеров совсем не учитывались отдельные и суммарные эффекты таких ударов. Пока никто не может сказать, каков будет окончательный вывод из соответствующего исследования значения этих эффектов. Однако, до тех пор пока в дополнение к локальным явлениям не будут должным образом исследованы сейсмические эффекты метеорных ударов о поверхность Луны, мы не можем быть вполне уверенными, что такие удары представляют единственный или даже главный ключ к расшифровке загадочных иероглифов на ее лике.

Обсуждая этот вопрос, мы интересовались лишь эффектами столкновений Луны с твердыми телами, такими, как метеориты, малые астероиды или планетезимали, которые могли бы объяснить происхождение не только кратеров, но и существование протяженных лунных равнин, например Моря Дождей (фото IX) и Моря Ясности. Их можно рассматривать как огромные кратеры, образовавшиеся в раннюю эпоху развития солнечной системы в результате почти касательных ударов о лунную поверхность летевших с малыми скоростями планетезималей. Эту точку зрения, выдвинутую впервые в 1893 г. американским геологом Джилбертом, в последнее время стал успешно отстаивать Юри. Однако любое объяснение происхождения основных деталей лунной поверхности действием ударов только сплошных тел было бы весьма неполным без одновременного учета эффектов столкновений с другими «обитателями» межпланетного пространства, а именно с кометами.

Такие столкновения также могли бы оказать влияние на формирование лунного лика.

Согласно статистическим данным, которыми в настоящее время располагают астрономы, появления комет в пределах земной орбиты по меньшей мере столь же часты, сколь и метеоритов или астероидов сравнимых масс (т. е. 10^{16} — 10^{18} г), а разнообразие кометных орбит допускает их столкновения с Луной на больших скоростях (порядка 30—70 км/сек) значительно чаще, чем подобные столкновения Луны с астероидами. Кроме того, согласно современным представлениям, ядра комет (единственно существующие при столкновении) представляют собой лишь рыхлый конгломерат замерзших углеводов с заметной примесью неустойчивых химических соединений (например, перекиси водорода в твердом состоянии или азидов). При столкновении они будут вести себя как сильное взрывчатое вещество, выделяя химическую энергию в дополнение к кинетической энергии ядра в целом. В противоположность массивному метеориту, кометные ядра не обладают прочностью на растяжение, и их удар едва ли оставит на поверхности Луны заметное углубление. Вместо этого они сразу полностью испарятся и окутают на короткое время окружающую область потоком горячего газа, который быстро рассеется в пустоте.

Одна только кинетическая энергия (помимо химической энергии) большой кометы, такой, как комета Галлея, имеет величину порядка 10^{31} эрг и, полностью превращенная в тепло, эквивалентна $2 \cdot 10^{23}$ кал. Если на основании довольно скромных оценок мы допустим, что для превращения 1 г вещества лунной поверхности в жидкую лаву требуется 2000 кал, то один кометный удар такого масштаба мог бы обеспечить в принципе $\sim 10^{20}$ г лавы, способной покрыть 400 000 км² поверхности Моря Дождей при равномерной глубине около 100 м. По-видимому, это может служить еще одним объяснением происхождения лунных морей. Оно не противоречит тому, что в центральных областях (место удара) морей не обнаруживается никакого нарушения структуры

и что их валы (в случае Моря Дождей — горные цепи Альп и Апеннин), если смотреть на них из центра этих огромных равнин, окажутся, несомненно, под горизонтом. Этой гипотезе не угрожают трудности, связанные разрушительными сейсмическими эффектами, в отличие от теории ударов планетезималей с массами, указанными Джилбертом и Юри.

Кометы с кинетической энергией порядка 10^{31} эрг, разумеется, относительно редки. С другой стороны, количество равнин на Луне такого размера, как Море Дождей, также ограничено. Поэтому вероятность того, что 4,5 млрд. лет назад Луна претерпела достаточное количество таких столкновений с кометами требуемых масс, может быть даже значительной. В свою очередь столкновения с кометами меньших масс, возможно, образовали кратеры типа Птолемея, Платона (фото IX) или Архимеда (фото X), у которых дно, окруженное относительно весьма низкими валами, обнаруживает поразительное сходство с близлежащими морями. Однако такое объяснение можно выдвигать пока только как вероятную гипотезу, для обоснования которой необходимо провести дальнейшие исследования.

После того как мы критически оценили *внешние факторы*, именно удары многих небесных тел, которые могут изрыть лунный лик за долгое время, рассмотрим теперь *внутренние процессы*, также способные воздействовать на поверхность нашего спутника. В основном эти процессы связаны с постепенным накоплением внутреннего тепла в результате распада радиоактивных элементов (уже рассмотренного нами в гл. 2). Этот процесс заставляет продвигаться все газы и другие летучие элементы из недр Луны к поверхности и накапливаться там или удаляться в пространство. Эти процессы обезвоживания и дегазации, которые должны непрерывно происходить на Луне, как это происходило на Земле, на последнем этапе могут образовывать (путем излияния и оттока столбов расплавленных горных пород) локальные зоны погружения или оседания поверхности, называемые в геологии «кальдерами». Схематический вид некото-

рых известных земных кальдер показан на рис. 5 и 6. Действительно, их основные типичные черты обнаруживают удивительное сходство с характеристиками многих лунных кратеров (ср. рис. 1), из которых

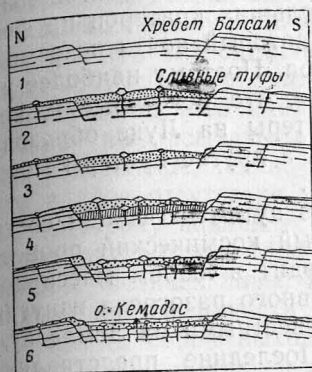


Рис. 5. Схема образования типичной земной «кальдеры обрушения», заполненной теперь озером Илопанго в Сальвадоре (по Х. Вильямсу и Н. Мейеру, 1955).

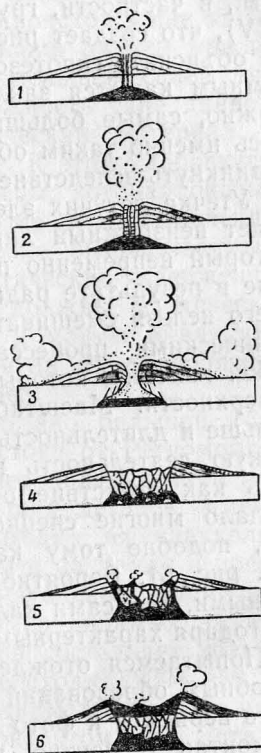


Рис. 6. Эволюция земного кальдерного кратера типа Кракатау.

Возникновение паразитных кратеров на дне кальдеры в результате извержений пемзы, сопровождаемых обвалом (по Х. Вильямсу, 1941).

основными являются не столько относительно пологие края (этому нельзя придавать слишком преувеличенное значение), сколько значительное общее понижение уровней их дна относительно окружающего ландшафта.

Тепловое расширение и сжатие, сопровождаемые процессом обезвоживания на ранней стадии эволюции Луны, могли бы привести к образованию

структуры трещин и разломов в относительно охлажденной лунной коре, которые, по-видимому, служили каналами для выхода залегающей внизу расплавленной лавы. На Луне многочисленные равнины, окруженные горами и валами, отчетливо полигональны (см., в частности, группу больших кратеров на фото XIV), что создает рисунок, который почти невозможно объяснить гипотезой удара. Поэтому наиболее разумным кажется заключение, что некоторые и, возможно, самые большие кратеры на Луне образовались именно таким образом, а другие кратеры могли возникнуть вследствие удара.

Утечка летучих элементов путем дегазации составляет неизбежный длительный космический процесс, который непременно происходит в любом массивном теле в результате радиоактивного разогрева изнутри, и его нельзя смешивать с известными на Земле вулканическими процессами. Последние представляют собой явления, которые происходят, по существу, на поверхности. Масштаб этих процессов значительно меньше и длительность ограничена. Все же вулканическую деятельность нужно в основном рассматривать как следствие обезвоживания. Возможно, это создало многие специфические черты лунных кальдер, подобно тому как это происходило на Земле (ср. рис. 6). Вероятно, они должны быть менее заметными, чем сами кальдеры, но все же наглядными благодаря характерным особенностям.

Попытаемся отождествить хотя бы некоторые из подобных образований на поверхности Луны и для этого вернемся к фото V. Внутри кольцевой горы Региомонтан (вероятно, кальдеры) нам попадется небольшой вершинный кратер (отмеченный на фото стрелкой), который, как и другие кратеры такого типа, вряд ли возник в результате удара, так как вероятность того, что метеориту удалось попасть прямо в вершину столь небольшого холма, чрезвычайно мала. Весь холм возвышается над окрестностями не больше чем на 640 м, и поперечник кратерного отверстия на его вершине составляет 5,5 км. Все образование, основание которого имеет в окружности прибли-

зительно 100 км, напоминает известный земной вулкан Кракатау (в действительности последний по размеру меньше) на острове Ява неподалеку от берега. На таком же расстоянии (с Луны) Кракатау был бы, вероятно, похож на Региомонтан. По-видимому, это указывает на вулканическое происхождение этого кратера, а его относительно больший размер можно отчасти объяснить значительно меньшей силой тяжести на Луне (что дает возможность силе данной величины выбрасывать вулканический материал в шесть раз дальше, чем на Земле). К этому добавится почти полное отсутствие атмосферы, которая оказывала бы сверху давление на кратер и сопротивление которой затормозило бы движение выбрасываемых вулканом частичек лавы. Гипотетические извержения вулканов на поверхности Луны должны фактически представлять собой выход газа и магмы в вакуум. Поэтому масштаб такого явления на Луне, вероятно, значительно больше, чем на Земле.

Рассмотрим на том же фото дно большой (безыменной) кольцевой горы к востоку от Региомонтана: лучи восходящего Солнца очерчивают внутри нее значительное количество небольших деталей, имеющих вид куполов. Геологи называют их «лакколитами». Эти образования известны и на Земле и представляют собой неразвившиеся начальные стадии некоторых типов вулканизма. Размер видимых на нашей фотографии лунных куполов составляет только 2—3 км, а их высота не превосходит 200—250 м. Поэтому, как только Солнце поднимется больше чем на несколько градусов над горизонтом, эти детали исчезают в его сиянии и станут полностью невидимыми. Однако на Луне купола (даже большего размера) встречаются повсюду в достаточном количестве, что делает такие определенно выраженные признаки вулканизма характерными для лунной поверхности в целом.

Перед лицом всех рассмотренных фактов трудно избежать заключения о том, что *оба* типа процессов (удары — извне, утечка жидкости и газов — изнутри) принимали участие в формировании современного лика

Луны. В то время как «лучистые кратеры», подобные Тихо (фото II) или Копернику (фото VII—VIII), почти определенно обязаны своим происхождением ударам, другие, такие, как Клавий (фото II), Птолемей и Альфонс (фото XIV), по-видимому, представляют собой кальдеры оседания. Что касается морей, то относительно их происхождения до сих пор существуют некоторые сомнения. В то время как большинство исследователей, серьезно занимающихся этим вопросом, рассматривают их как потоки затвердевшей лавы, Юри ищет причину образования лавы в крупномасштабном процессе плавления, вызываемом ударами твердых планетезималей, движущихся с малыми скоростями. В связи с этим сам автор считает уместным указать на возможность ударов комет, Грин же рассматривает моря как экструзии по всей вероятности базальтового вещества с сопутствующим процессом обезвоживания.

Если этот последний процесс должен играть важную роль в образовании некоторых морей или кольцевых гор, то следовало бы оценить одно дополнительное интересное следствие — концентрацию минералов, содержащих химические соединения некоторых летучих элементов (например, хлора, брома, иода и серы) вблизи стенок образований, возникших в результате этого процесса. Такие скопления, если они существуют, могли бы иметь большое теоретическое и практическое значение, хотя их присутствие было бы весьма трудно проверить на расстоянии. Фактически самым надежным способом исследования химического состава этого вида лунных пород все же остается молоток геолога, и нужно надеяться, что он сможет найти применение для решения этой проблемы в недалеком будущем.

Раз мы допустили, что формирование лунного лика, каким мы видим его сейчас, происходило при взаимодействии различных процессов, то возникает лишь вопрос об их относительном значении на различных этапах длительного прошлого Луны. Можем ли мы привести в соответствие с какой-либо приемлемой хронологической последовательностью те

основные подробности рельефа местности, которые видны на Луне в наши дни? К сожалению, абсолютное датирование, по-видимому, невозможно (исключая косвенный метод, который будет кратко описан в следующей главе), поскольку мы вынуждены наблюдать Луну на расстоянии. Однако относительное датирование можно получить и в настоящее время с некоторой надеждой на успех.

Из различных признаков относительного возраста кратеров (или морей), по-видимому, наиболее прост и надежен «принцип перекрытия». Если наблюдаются два кратера, перекрывающие друг друга (много таких примеров имеется на фото II—XIV), то один из них, край вала которого не разрушен, должен быть моложе, чем тот, край которого частично разрушен или полностью исчез. Если два перекрывающихся кратера имеют сравнимые размеры (например, Феофил и Кирилл на фото VI), то применение этого принципа как будто не вызывает сомнения (т. е. в нашем примере образование Феофила должно было произойти позже, чем образование Кирилла). Однако этот критерий можно применить также к таким случаям, когда внутри валов большого кратера находятся меньшие (иллюстрацией этого может служить кратер Клавий на фото IV). Невозможно, чтобы любой процесс, в результате которого поднялись валы большего образования, не затронул бы расположенные внутри его небольшие кратеры; следовательно, последние должны представлять собой образования более поздние, чем те, которые охватывают большую площадь на лунной поверхности. Из этих рассуждений следует, что Клавий должен быть значительно более древним, чем все остальные (по крайней мере сорок из них) кратеры, видимые в настоящее время на его дне. Чем большее количество малых кратеров приходится на единицу площади внутри большого, тем больше должна быть разница в их возрасте.

В определенных местах поверхности Луны кратерные перекрытия встречаются очень часто, и таким образом кое-где предоставляется возможность

установить временную последовательность для пяти или шести кратеров. Другим критерием относительно-го возраста (дополняющим «перекрытие») служит существование полос светлого вещества («лучей»), которые расходятся во всех направлениях от определенных кратеров, образовавшихся в результате удара (например, таких, как Коперник, фото VII). Поскольку эти лучи должны были образоваться (в результате какого-то скопления вещества) одновременно с расположенным в том месте, где они сходятся, материнским кратером, он должен быть моложе, чем любые перекрываемые этими лучами детали. Эти лучи похожи на систему ярких щупалец, широко расходящихся по некоторым участкам лунной поверхности и позволяющих распространять нашу систему относительного датирования на те области, в которые они простираются.

Однако основное значение этих способов определения возраста заключается в их приложении к датированию морей. Если мы примем упомянутые выше предпосылки, то, по-видимому, нам не избежать заключения о том, что *самыми древними участками видимой поверхности Луны оказываются те, которые имеют наиболее сложный рельеф местности* и которые содержат наибольшее количество кратеров или гор других типов на единицу площади. Очевидно, в самых древних местах на поверхности Луны должно было скопиться наибольшее количество скал, независимо от того, равномерно ли протекали как внешние, так и внутренние процессы образования кратеров на Луне или они замедлялись со временем. Если это действительно так, тогда самыми древними местами на видимой поверхности Луны, несомненно, оказываются районы, расположенные вокруг южного полюса, как бы лунная Антарктида, которая может сохранять непрерывную летопись событий, оказавших на нее влияние со времени образования нашего спутника (или, во всяком случае, со времени отвердения лунной коры). Но, поскольку средняя плотность кратеров в большинстве больших темных долин лунной поверхности значительно меньше средней плотности,

наблюдаемой вблизи южного полюса, отсюда следует, что моря оказываются не просто моложе, но должны быть значительно моложе гористых областей. Еще моложе должны быть некоторые из больших кратеров, подобных Копернику, Келлеру или Аристарху, простирающихся щупальца ярких лучей на большие площади окружающих их морей. Возможно, они представляют собой наиболее поздние добавления к полному набору деталей заметной величины, запечатленных на лике Луны за последние 100 млн. лет.

Этим мы закончим наш краткий обзор удивительного мира Луны, каким увидят его в иллюминаторы ракеты незадолго до посадки в один прекрасный день не очень отдаленного будущего первые межпланетные путешественники. Однако в настоящее время такой обзор был бы неполным без хотя бы краткого описания того, что ожидает нас на обратной стороне нашего спутника. В течение весьма продолжительного времени, с тех пор как приливное трение в системе Земля—Луна уравнило период вращения Луны вокруг оси с периодом обращения вокруг Земли, наш спутник обращен к нам только одной стороной, а другая постоянно скрыта от наших глаз и служила излюбленным объектом для всякого рода предположений об ее основных свойствах. Совсем недавно скрывавший тайну покров был наконец сорван навсегда с ее лика. 7 октября 1959 г. третья советская космическая ракета совершила облет всего лунного шара и сфотографировала большую часть его обратной стороны. Несколько дней спустя эти снимки были успешно переданы по телевидению на Землю. Это последнее достижение передовой астрономической техники вызывает искреннее восхищение и чувство законной гордости у всех живущих на Земле и интересующихся раскинувшимся над нашими головами небом. Можно ли закончить эту главу, не рассказав читателю хотя бы коротко об этом потрясающем достижении?

1959 год навсегда останется памятным в летописях исследования неба благодаря двум выдающимся событиям. 13 сентября в 21 час 2 мин. 24 сек.

Гринвичского времени¹⁾ вторая советская космическая ракета достигла поверхности Луны в западной части Моря Дождей (см. фото X, место удара отмечено белым крестиком). Меньше чем через месяц, 4 октября, оторвалась от Земли третья советская космическая ракета, которой надлежало облететь Луну и передать нам изображение ее обратной стороны. Последняя ступень этой ракеты, представлявшая собой

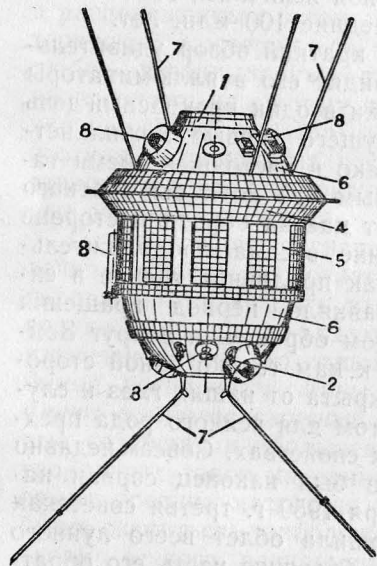


Рис. 7. Общий вид советской автоматической межпланетной станции (схема).

1 — флюоринатор для фотографических аппаратов; 2 — двигатель системы ориентации; 3 — солнечный датчик; 4 — секции солнечной батареи; 5 — жалюзи системы терморегулирования; 6 — тепловые экраны; 7 — антенны; 8 — приборы для научных исследований.

автоматическую межпланетную станцию размером немного больше одного метра и весившая 278,5 кг (см. рис. 7), преодолела расстояние до Луны 6 октября к 14 час. Гринвичского времени. Пройдя около Луны на расстоянии 6200 км, она продолжала свой путь к апогею, которого достигла 11 октября, покрыв расстояние в 470 000 км. После этого автоматическая межпланетная станция повернула к Земле и 18 ок-

¹⁾ Гринвичское время отстает от московского на 3 часа. — Прим. ред.

тября прошла через перигей своей орбиты на расстоянии 47 500 км от центра нашей планеты. Теперь она стала еще одним искусственным спутником Земли, движущимся по очень вытянутой орбите, сильно наклоненной к эклиптике, с апогеем 470 тыс. км, перигеем 40 тыс. км и с периодом обращения, составляющим 15 дней. После последнего тесного сближения с Луной автоматическая межпланетная станция может довольно долго продолжать движение по своей орбите.

Дважды в течение месяца она пересекает орбиту Луны, хотя ближайшее время, когда снова состоится очередное свидание нашего естественного спутника с его новорожденным маленьким братом, наступит не раньше 1967 г., когда межпланетная станция должна пройти мимо него на расстоянии приблизительно 10 000 км. Однако весьма сомнительно, чтобы время жизни ракеты оказалось достаточным, чтобы отметить эту дату. Предполагается, что ее настоящая орбита должна постепенно сокращаться в результате накапливающихся возмущений при каждом последовательном прохождении через перигей. Задолго до следующего назначенного для свидания времени она может спуститься достаточно близко к Земле, чтобы, ярко вспыхнув, сгореть в нашей атмосфере. Так кончали свое существование ее многочисленные, посланные рукой человека предшественницы, которые никогда еще не проникали так далеко в межпланетное пространство.

Однако вернемся к первому тесному сближению, совершившемуся 7 октября 1959 г., и успехам, достигнутым в этот момент советской автоматической межпланетной станцией. Ее главный объектив должен был фотографировать обратную сторону Луны, и это могло бы не увенчаться успехом во время наибольшего сближения (так как в это время была видна только относительно малая часть ее поверхности). Поэтому межпланетная станция продолжила свое путешествие немного дальше. Она «перехитрила» притяжение Луны, отклонившее направление ее пути, как показано на рис. 8—10. В конечном итоге

притяжение переместило ее в положение, откуда для фотообъективов станции стали видимыми 70% поверхности обратной стороны Луны (см. рис. 8). Это событие должно было произойти рано утром 7 октября, когда, следуя поданной с Земли команде, ракета

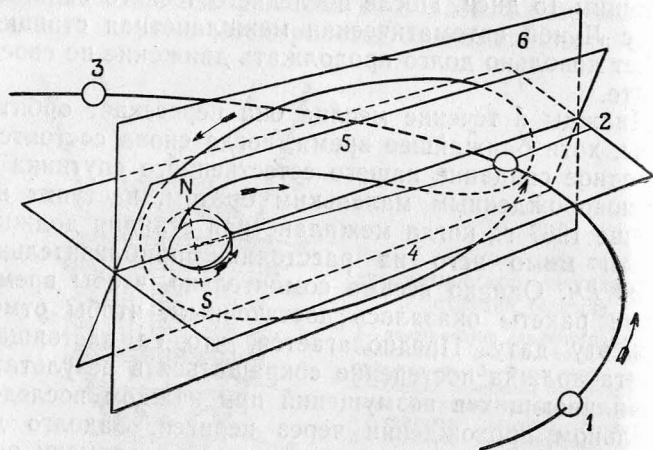


Рис. 8. Схема траектории полета автоматической межпланетной станции.

1 — положение Луны в момент старта ракеты; 2 — положение Луны в момент облета; 3 — положение Луны в конце витка траектории автоматической межпланетной станции; 4 — плоскость лунной орбиты; 5 — плоскость траектории межпланетной станции до облета Луны; 6 — плоскость орбиты автоматической межпланетной станции после облета Луны.

(при помощи соответствующих фотоэлектрических устройств) направила свои объективы на Луну. Приблизительно в течение 40 минут, между 3 час. 30 мин. и 4 час. 10 мин. гринвичского времени, свершилась историческая миссия фотографирования невидимой с Земли стороны нашего спутника на расстоянии между 65 200 и 68 400 км. С такого расстояния для путешественника Луна выглядела бы диском с угловым диаметром 3° (т. е. приблизительно в 6 раз крупнее, чем с Земли).

На автоматической межпланетной станции были установлены две камеры с объективами, имеющими фокусные расстояния 200 и 500 мм, при помощи которых на 35-миллиметровой пленке был выполнен последовательно ряд экспозиций длительностью порядка 0,01 сек. Объектив с фокусом 200 мм дал изображение лунного диска, диаметр которого составлял примерно 10 мм и полностью умещался на одном кадре.

Большой объектив давал изображение лунного диска диаметром около 25 мм, что позволяло получить большее разрешение, но в каждый кадр попадала только часть изображения. После съемки пленка была автоматически проявлена и отфиксирована на борту движущейся межпланетной станции, затем изображение построчно передавалось миниатюрной камерой на Землю. Применявшаяся для этой цели телевизионная система делала возможным изменять число строк в изображении; максимальное число строк на кадр достигало 1000.

Технические трудности, которые пришлось преодолеть, чтобы с успехом провести этот эксперимент, до сих пор поражают воображение. Прежде всего автоматическая межпланетная станция должна была следовать по курсу с точностью, не допускавшей углового отклонения больше чем на $0^\circ,1$ или изменения скорости, превосходящего 1 м/сек. Далее, после облета Луны она должна была быть ориентирована по команде с Земли так, чтобы ее объективы держали в поле зрения Луну в течение всего времени экспозиций. Половина станции страдала от ослепительного блеска Солнца, в то время как другая оказалась в холодных объятиях межпланетного пространства, и тем не менее внутри станции температура должна была автоматически поддерживаться около 25°C (так как иначе испортилась бы фотографическая эмульсия). Кроме того, в течение всего времени пленки должны были оставаться защищенными соответствующим образом, чтобы предупредить образование вуали под действием космических лучей. И, наконец, последним, но не менее важным будет упоминание о том, что ради экономии полезного груза мощность

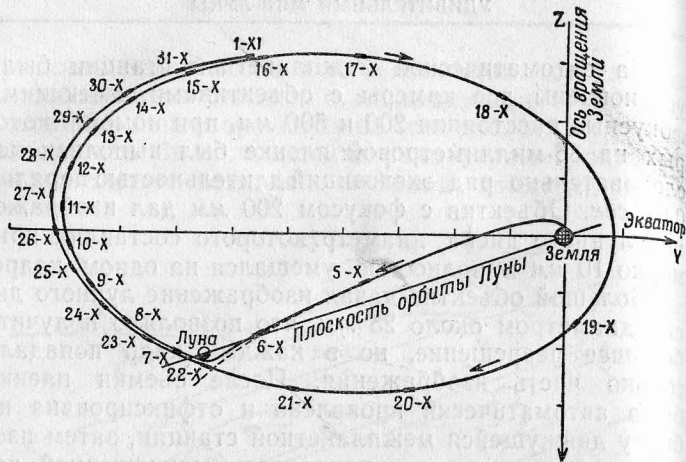


Рис. 9. Траектория полета советской автоматической межпланетной станции (вид со стороны точки весеннего равноденствия).

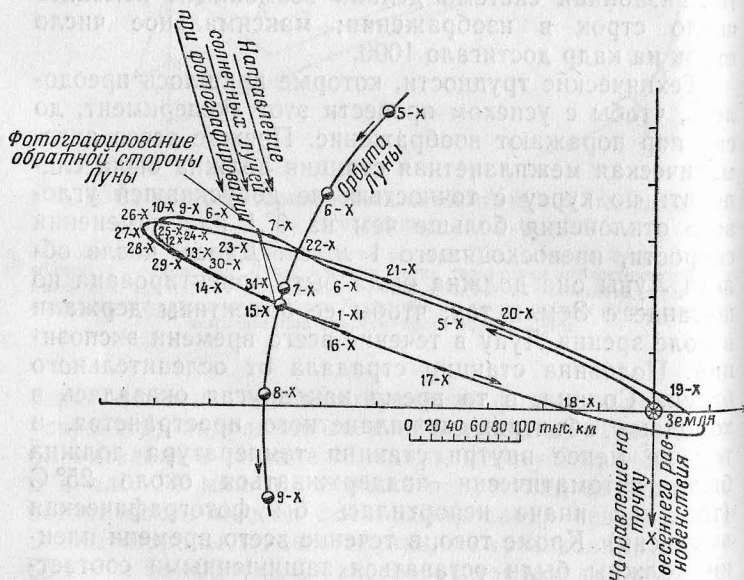


Рис. 10. Траектория полета советской автоматической межпланетной станции (проекция на плоскость земного экватора).

Положение автоматической межпланетной станции (—) и Луны (●) в 0 час. всемирного времени (3 час. московского времени) каждые суток с момента старта до 1 ноября 1959 г.

телевизионного передатчика на борту станции, вероятно, пришлось ограничить несколькими ваттами и все же его сигналы должны были приниматься на Земле с максимального расстояния 470 000 км! Удачное завершение этого эксперимента продемонстрировало возможность передачи на таком большом расстоянии полутонного изображения сравнительно высокой четкости без значительного искажения. Это достижение позволяет многого ожидать от дальнейшего исследования Луны и планет на близком расстоянии.

Что же «увидели» 7 октября объективы камер, направленные на обратную сторону Луны? Один из снимков, полученный при помощи объектива с фокусным расстоянием 200 мм, приведен на фото XII. Обратную сторону составляют только 70% лунной поверхности, сфотографированной на нем. Около 30% западного (т. е. левого) лимба видны с Земли и содержат много деталей, известных нам в различных проекциях (например, все Море Кризисов и многие меньшие по размеру моря или кратеры — Лангрен, Петавий и т. д.). Соответствующая часть обратной стороны выше восточного горизонта, справа, осталась вне поля зрения камеры. Следует иметь в виду, что во время фотографирования фаза на обратной стороне была близка к «полнолунию» и, следовательно, неровности почвы не отбрасывали тени и выглядели лишенными объемности, которая характерна для снимков, полученных во время восхода или захода Солнца. Тем не менее советские исследователи обнаружили на этих фотографиях ряд кратеров размерами до 70 км, названных в честь великих русских ученых Ломоносова, Циолковского и недавно умершего французского физика Жолио-Кюри. Это были первые названия, присвоенные деталям обратной стороны нашего спутника.

Однако наиболее интересный результат обработки последних советских снимков — это возможность убедиться в том, что на обратной стороне Луны очень мало морей и что общий рельеф ее местности преимущественно гористый. То обстоятельство, что на обратной стороне, по-видимому, полностью отсутствуют

обширные равнины типа Моря Дождей или Океана Бурь, поддерживает наше прежнее представление о том, что столь заметные на обращенной к нам стороне обширные моря, возможно, пополнили лунную топографию относительно недавно и что они образовались главным образом на обращенной к нам стороне, после того как было достигнуто нынешнее равенство периодов вращения вокруг оси нашего спутника и обращения его вокруг Земли.

Излишне говорить, что для любой попытки обосновать такое утверждение будет нужна более подробная информация относительно топографии обратной стороны Луны, а не те первые намеки на результаты, которыми мы располагаем в настоящее время. Разумеется, это не должно ни в коем случае преуменьшить или умалить поистине великого достижения советских ученых и инженеров, которые дали нам эти предварительные сведения, представляющие предел того, чего можно достичь на современной стадии развития ракетной техники и средств связи. Однако возможно, что снимки обратной стороны Луны, которые будут получены с ракет в будущем, окажутся сравнимыми с приведенным на фото XII в той же мере, в какой можно сравнить снимки видимого лунного лика, полученные в середине XIX столетия Резерфордом или Варреном де ля Рю, с современными, например с фотографиями, приведенными в этой книге. Полеты советских лунных ракет в сентябре и октябре 1959 г. открыли новую страницу в истории нашей науки и новые перспективы для астрономических наблюдений. Безусловно, этот новый способ исследования небесных тел будет разрабатываться в течение ближайших десятилетий в масштабе, который трудно представить или оценить скептикам.

4

РАССКАЗ О ЛУННОМ СВЕТЕ

С незапамятных времен лунный свет пленял воображение человека своеобразным очарованием. В доисторические времена смена лунных фаз и сопровождающее их изменение лунного света послужили основой для исчисления времени. Всякий раз, углубляясь в историю любой первобытной цивилизации, мы неизменно находим, что она связана с лунным календарем. Нет ничего удивительного в том, что многие цивилизации, наблюдая постоянное и периодическое перемещение Луны среди звезд, наделяли ее свойствами милостивого божества: Астарта семитов, Танит из «Саламбо» или быстроногая Артемиды греков свидетельствуют о ее культе. Впоследствии, когда мифический элемент постепенно терял свое значение, влияние лунного света на поэзию и другие виды искусства по-прежнему не ослабевало. Некоторые из вас могут вспомнить из поры своего детства предестную сказку о принцессе Лунный Луч и китайском императоре, а многие, вероятно, находились во власти чар дивной музыки Лунной сонаты Бетховена. Можно без конца приводить примеры влияния бледного серебристого лика древней Селены на искусство человека.

Я опасаясь, что в противоположность впечатлительным художникам астрономы не всегда оказываются большими ценителями лунного света или влюбленными в его поэтические свойства. В данном случае я имею в виду не только специалистов в области звездной астрономии, чьи профессиональные интересы лежат далеко за пределами лунной орбиты и для которых рассеянный в земной атмосфере лунный свет является лишь досадной помехой. Даже астрономы, непосредственно занимающиеся

изучением Луны, относятся к лунному свету столь бесцеремонно, что профану это может показаться полным отсутствием уважения к науке.

Всякий раз, когда мы приступаем к изучению Луны или любого другого недоступного для непосредственного исследования небесного тела, вся информация, которую мы надеемся получить, может поступать, преодолевая разделяющее нас расстояние, двумя различными путями: первый — их притяжение, второй — свет. Однако можно добавить, что поступающие к нам по этим каналам сведения анализируются и интерпретируются астрономами, чьи задачи и методы весьма различны. Сила тяжести управляет движением небесных тел и проявляется в непрерывном изменении их положения со временем. Как положение, так и время измеряются при помощи современной техники с весьма высокой степенью точности (по меньшей мере до 10^{-6}); кроме того, законы природы (или дифференциальные уравнения), связывающие положение тел и время, очень хорошо известны и понятны. Поэтому занимающиеся этими вопросами ученые — обычно люди сухие, всегда знающие, с чем имеют дело, и их профессиональные интересы сосредоточены в основном вокруг последнего десятичного знака результата. Для многих поколений движение Луны по небесному своду представлялось вызовом, брошенным свыше их искусству и изобретательности, и мы обязаны им почти всеми данными, рассмотренными в гл. 2.

Астрономы, посвятившие себя изучению света, как правило, люди совершенно иного склада. Их измерения редко достигают точности, превышающей 0,001, а законы излучения света или его взаимодействия с веществом значительно сложнее, чем законы, которым подчиняется движение тел под влиянием взаимного притяжения, и пока они известны значительно менее уверенно. Поэтому астрономы, изучающие свет, должны в какой-то степени полагаться на воображение и возможность обобщений, что подчас, быть может, раздражает их более уравновешенных собратьев по профессии. Чтобы получить

необходимые сведения, они вынуждены обращаться со светом в своих обсерваториях так, что невольно вспоминаются средневековые камеры пыток. Сначала они собирают при помощи телескопов столько света, сколько позволяет диаметр объектива. Затем, чтобы разложить в спектр потоки световых квантов, они заставляют этих быстрых посланцев, прибывающих к нам от удаленных тел со скоростью света, преодолевать громадные расстояния, пройти сквозь призмы или «отскакивать» от решеток. Далее, фотоны должны нагреть спай термоэлемента или восстановить на фотографических пластинках зерна серебра, или, что еще тяжелее, воздействуя на фотоэлемент, они превращаются в электрический ток и передаются по проводу, чтобы привести в движение перо автоматического самопишущего прибора. Все это приходится проделывать астрофизику, чтобы свет рассказал о далеком небесном теле, и исследователь не удовлетворится, пока не превратит весь лунный свет в скопления зерен серебра на фотографических пластинках или в разнообразные кривые, регистрируемые самописцем, приводящимся в действие фототоками.

Прежде чем мы дойдем до сути нашего повествования, начавшегося с описания столь тяжелых испытаний, которым по вине астрофизиков подвергается свет, задержимся немного, чтобы обсудить вопрос: что же в действительности представляет собой лунный свет? Как теперь известно каждому школьнику, большая часть видимого лунного света есть не что иное, как падающий на Луну солнечный свет, рассеянный лунной поверхностью по направлению к Земле. Количество света, рассеиваемого Луной в различных фазах (т. е. при различных высотах Солнца над горизонтом), предоставляет в свою очередь возможность узнать кое-что относительно природы рассеивающей поверхности, например, является ли она неровной или гладкой. Кроме того, мы можем получить некоторые сведения, зная степень поляризации, вызываемой рассеянием (падающий свет неполяризован), которую современными приборами

можно измерить с точностью до нескольких десятитысячных. О многих результатах таких исследований уже подробно рассказано в предыдущей главе. Но относительно нашего инструмента — света — мы хотим подчеркнуть два обстоятельства.

Прежде всего следует отметить, что отражательная способность лунной поверхности в среднем сравнительно невелика. Только около 7% нормально падающего света рассеивается Луной, хотя действительное количество может сильно колебаться от места к месту. Так, ближайшие окрестности кратера Аристарх (о котором в этой главе еще будет идти речь) посередине Океана Бурь, самого яркого места на Луне, отражают более 40% падающего солнечного света, а отдельные места в Море Ясности и два или три места внутри кратера Альфонс отражают лишь 2—3%. Эта разница, безусловно, связана с различием в химическом составе или в структуре разных частей лунной поверхности. Если мы сравним их отражательную способность с тем, что наблюдается для различных земных веществ, то можем высказать предположение (как и в предыдущей главе) о том, какие породы входят в состав лунных гор и равнин и насколько они измельчены.

Так что же происходит с солнечным излучением, вернее, с большей его частью, которая не рассеивается в пространство? Это излучение (свыше 90% падающего солнечного света) поглощается лунной поверхностью и превращается в тепло. Но любое тело, обладающее температурой выше абсолютного нуля, должно испускать и свое собственное излучение. Если оно ведет себя как «черное тело» (что как раз соответствует поведению лунной поверхности), то его излучение подчиняется закону, который физики называют законом Планка: поток излучения и распределение его по частоте определяются только абсолютной температурой тела. Большая часть излучения Солнца, абсолютная температура которого лишь немного выше 5700°, приходится на оптические частоты между фиолетовым и красным концом видимого спектра (с максимумом в желтой части),

создавая в совокупности так называемый белый свет. Так же воспринимается и отраженный лунный свет, хотя собственное излучение Луны совершенно другого рода.

Это объясняется весьма просто тем, что температура лунной поверхности значительно ниже температуры Солнца. Источником тепла как для Земли, так и для Луны является солнечное излучение. Ввиду того что среднее расстояние Луны от Солнца составляет 214 солнечных радиусов, каждый квадратный сантиметр лунной поверхности получает только $\sim 1/214^2$ или $1/46\,000$ теплового потока, проходящего через каждый квадратный сантиметр поверхности Солнца. Известно, что этот поток пропорционален четвертой степени абсолютной температуры. Следовательно, средняя температура Луны должна быть в $\sqrt[4]{214}$, или почти в 15 раз меньше температуры Солнца, т. е. приблизительно 380° К ($\sim 107^\circ$ С). Конечно, в этом случае предполагается, что Солнце находится в зените, а его свет падает перпендикулярно к освещенной поверхности; при косом падении излучение становится слабее и поддерживаемая им температура должна быть ниже.

Эти элементарные теоретические рассуждения приводят к предположению, что температура Луны оказывается не выше 380° К. Тогда из закона Планка следует, что ее излучение должно значительно отличаться от белого света. Большая часть этого излучения испускается в далекой инфракрасной области с максимумом, приблизительно соответствующим длине волны 10 мк, или 0,01 мм. Такое излучение совершенно невидимо для человеческого глаза и не может действовать на фотографическую пластинку. Кроме того, его распространение сквозь нашу земную атмосферу значительно затруднено из-за поглощения водяным паром и углекислым газом. Однако та часть лунного излучения, которая пройдет сквозь атмосферу, может быть обнаружена и вполне точно измерена термоэлементом.

Еще со времени Зеебека (1821 г.) и Пельтье (1834 г.) известно, что при нагревании контакта

двух соответствующим образом выбранных металлов возникает электрический ток, сила которого может быть измерена (непосредственно или после достаточного усиления) с большой точностью. Измерения также дают возможность установить количество вызывающего ток тепла и, таким образом, температуру излучающего источника, если известно его расстояние от наблюдателя. Это возможно осуществить при помощи термоэлементов, часто используемых для измерения температуры источников, которую по тем или иным причинам мы не можем определить обычным термометром. Таким образом, одни и те же приборы используют как инженер, измеряющий температуру внутри доменной печи по излучаемому ею теплу, так и астроном, измеряющий тепло, поступающее от далеких звезд. Впрочем, в то время как для проведения работы инженер располагает теплом в избытке, астроном вынужден измерять ничтожные его количества, и, чтобы сделать это с достаточной точностью, приходится разрабатывать специальные приемы.

Вообще астрономы весьма искусны в выполнении на первый взгляд невозможных вещей и, несмотря на трудности, проявляют так много ловкости и изобретательности, что это поражает воображение. Вы, конечно, слышали об их вошедшей в поговорку «астрономической точности», которой они справедливо гордятся. Определение температуры небесных тел служит еще одним примером такой точности. Достаточно сказать, что термоэлементы (и связанные с ними электрические схемы) разработаны до столь высокой степени совершенства, что такой элемент, помещенный в фокус 200-дюймового телескопа обсерватории Маунт Паломар (США), в состоянии уловить тепло, испускаемое стандартной свечой на расстоянии около 10 000 км! Таким образом, на лунной поверхности (которая лишь в сорок раз дальше) было бы обнаружено тепло приблизительно 1600 свечей, а если ее температура около 100°С, то 2 км² ее поверхности должны испускать значительно больше тепла, чем 1600 свечей. И все-таки количе-

ство тепла, испускаемого Луной по направлению к Земле даже во время полнолуния, безусловно, очень мало по сравнению с количеством тепла, испускаемого большинством обычных земных источников. Фактически его едва достаточно для того, чтобы поднять температуру залитого лунным светом ландшафта на 0,001, так что не приходится особенно доверять рассказам старых садовников о влиянии лунного света на рост растений. Тем не менее в наше время даже столь ничтожный тепловой поток может быть измерен астрономами с такой точностью, что для любой части лунной поверхности можно определить температуру (по ее тепловому излучению) с точностью до нескольких градусов, т. е. почти так же как если бы мы находились там и измеряли ее обычным термометром.

В следующей главе мы продолжим наше мысленное исследование лунной поверхности и попутно рассмотрим подробнее господствующие на Луне температуры и их суточное колебание. Пока мы рассматриваем лунный свет просто как носитель сигналов, которые должны быть расшифрованы на следующем этапе, и хотим подчеркнуть, что весь доходящий до нас лунный свет — это всего лишь солнечный свет, отраженный или преобразованный. Большая часть солнечного излучения падает на Луну непосредственно, а остальная — от освещенной Солнцем Земли, которая с Луны должна казаться во много раз ярче, чем для нас Луна во время полнолуния. Несколько процентов этого света рассеивается неровной лунной поверхностью в пространство и сохраняет свой белый цвет. Эта компонента лунного света, видимого невооруженным глазом, и создала «серебряную Луну» наших стихов и романсов. Все же большая часть падающего солнечного света поглощается лунной поверхностью и переизлучается в далекой инфракрасной области в частотах, невидимых для человеческого глаза. Это лунное излучение невидимо, и его нельзя непосредственно фотографировать, поэтому мы не без труда узнаем о его существовании, хотя показания термоэлементов не

позволяют сомневаться в том, что в действительности мы живем под «инфракрасной», а не под «серебряной» Луной вопреки всем поэтическим образам.

Однако существует и другой способ, посредством которого лунная поверхность может преобразовывать падающий солнечный свет и при определенных условиях испускать характерное собственное излучение. Это процесс нетеплового излучения, обычно называемый *люминесценцией*. Как известно, люминесценция представляет собой способность некоторых веществ поглощать свет относительно высокой частоты и переизлучать его в определенных интервалах более низких частот. Чтобы описать этот механизм на языке физики, предположим, что атомы соотвествующего вещества подвергаются действию излучения (электромагнитного или корпускулярного), способного удалить атомные электроны с основного уровня. Атом, потерявший свой электрон, может захватить свободный из ближайших окрестностей. Захваченный электрон может одним скачком опуститься до «дырки», оставленной выброшенным электроном. Тогда атом испустит квант той же частоты, что и излучение, возбудившее его. При определенных условиях электрон может спуститься до незанятого места по ступеням. В этом случае, опускаясь каждый раз на ступеньку ниже, он теряет энергию, равную разности потенциалов двух уровней, испуская при каждом переходе отдельные кванты (сумма их энергий должна дать в итоге энергию возбудившего атом излучения). Такой каскадный процесс свечения обычно называется люминесценцией и, наверное, хорошо известен читателю. Наглядным примером этого процесса служат красивые переливы света некоторых минералов (например, солей урана) при освещении их «черным светом» ультрафиолетовой лампы. Люминесценция играет важную роль в современной светотехнике и широко используется для рекламы и освещения зданий. Большая часть газовых туманностей, фотографируемых астрономами, обязана этому процессу своим свечением (возбуждаемым ближайшими звездами).

Из-за отсутствия защитной атмосферы поверхность Луны непрерывно освещается солнечным светом всех частот, от радиоволн до рентгеновских лучей. Люминесцирует ли под таким воздействием какая-либо часть лунной поверхности? Определенные факты свидетельствуют, что это действительно происходит. Некоторыми учеными, например Линком в Чехословакии, было отмечено, что яркость Луны в полнолуние, по-видимому, иногда заметно меняется от месяца к месяцу, в то время как интенсивность солнечного (видимого) света остается постоянной. Это явление само по себе указывает на присутствие на Луне некоторого вызывающего свечение процесса, отличного от теплового излучения или рассеяния. В настоящее время количество данных в пользу этой точки зрения значительно увеличилось благодаря спектроскопической работе Н. А. Козырева (сравнительно недавно проведенной на Крымской астрофизической обсерватории в СССР), а также благодаря работе Дюбуа (Бордо, Франция). Эти работы, выполненные независимо и опубликованные в 1957 г., по-видимому, свидетельствуют, что в некоторых местах поверхности Луны, особенно в системе лучей вокруг кратера Аристарх (см. фото XIII), наблюдается люминесцентное излучение в определенных полосах спектра. Метод, при помощи которого можно обнаружить эту люминесценцию, прост. Мы упоминали, что при отсутствии люминесценции видимый спектр лунного света должен быть, по существу, точной копией солнечного спектра со всеми его линиями поглощения той же ширины и интенсивности. Наложение люминесценции лунного происхождения сделало бы солнечные линии поглощения в спектре Луны соответствующей длины волны более тонкими, чем в непосредственно наблюдаемом спектре Солнца. Именно это, по утверждению Козырева и Дюбуа, они обнаружили и измерили. Согласно Козыреву, полная энергия, испускаемая лунными люминесцентными полосами в фиолетовой области, была порядка 10^5 эрг/см·сек, что составляет

приблизительно 1% всей падающей солнечной энергии.

Какая же часть этой энергии претерпевает такое превращение? Если бы люминесцентное излучение вызывалось поглощением солнечного света, то для объяснения наблюдаемой интенсивности полос его спектра пришлось бы предположить, что вся ультрафиолетовая компонента (приблизительно до 2900 Å в фиолетовой области) поглощается соответствующим лунным веществом, а это совершенно невероятно по многим причинам. Еще более убедительно, например, то, что, хотя солнечная постоянная меняется меньше чем на 1%, интенсивность лунных эмиссионных полос от месяца к месяцу, по-видимому, меняется раза в 4 (по Козыреву). Это убедительно свидетельствует, что действительным источником, ответственным за возбуждение флукуаций лунной люминесценции, не может быть сам солнечный свет, т. е. солнечное электромагнитное излучение, а скорее солнечное *корпускулярное излучение* (скорее всего протоны), которые, как известно, спорадически испускаются возмущенными областями солнечной поверхности во время вспышек. Давно известно, что красивое впечатляющее явление полярных сияний вызывается действием этого излучения на верхние слои земной атмосферы.

Поскольку на Луне нет ощутимой атмосферы, потоки солнечных корпускул ударяются непосредственно о ее поверхность. Следовательно, лунные «полярные сияния» (фактически именно то явление, о котором сообщали Козырев и Дюбуа) в отличие от земных возникают прямо на поверхности Луны, а не высоко над ней. Однако наблюдения, которыми мы пока располагаем, указывают также на другой отличительный признак, по-видимому имеющий основное значение при изучении гипотетического магнитного поля Луны. Так, если на Земле полярные сияния происходят и ночью (поскольку солнечные протоны отклоняются магнитным полем Земли), лунная люминесценция, по-видимому, всегда гасится, как только Солнце опускается ниже горизонта. Это указывает

на то, что *вблизи поверхности Луны заряженные частицы движутся, по существу, вдоль прямых линий*, что невозможно при наличии сколько-нибудь ощутимого магнитного поля. Поэтому отсутствие какого-либо доказательства искривления их пути указывает на то, что интенсивность магнитного поля вокруг Луны не может превосходить 0,001 гаусс, что составляет лишь малую долю интенсивности соответствующего поля Земли.

Таковы были наши знания до памятного рейса советской космической ракеты. После тридцатичасового полета в пространстве достигшей Луны в области Моря Дождей (см. фото X) 13 сентября в 21 час. 2 мин. 24 сек. гринвичского времени. На борту ракеты находился магнитометр, назначением которого было установить, существует ли вообще магнитное поле. До момента столкновения прибор функционировал нормально. Последние измерения, показания которых автоматически передавались на Землю, были выполнены в то время, когда ракета находилась приблизительно в 50 км от поверхности Луны. Точность измерений была такова, что если бы Луна имела магнитное поле с напряженностью на поверхности выше 0,001 гаусс, то оно было бы обнаружено. Тем не менее ничего не было найдено, и отсутствие показаний прибора привело наших русских коллег С. Ш. Долгинова, Е. Г. Ерошенко, Л. Н. Жузгова, Н. В. Пушкова и Л. О. Тюрмину к заключению что, поскольку его не удалось обнаружить с их оборудованием, напряженность гипотетического магнитного поля на поверхности Луны должна составлять меньше $\frac{1}{400}$ напряженности магнитного поля на поверхности Земли и, таким образом, средняя намагниченность Луны не превосходит 0,25% намагниченности Земли.

Однако, пока все подробности этих измерений не будут опубликованы, останутся некоторые сомнения относительно верхнего предела возможной напряженности поля на поверхности Луны и в ее недрах. В частности, надежно ли проэкстраполировали советские ученые возможную напряженность поля на

поверхности Луны из измерений, закончившихся над ней на высоте приблизительно 50 км? Как недавно показал Нейгебауер, напряженность гипотетического магнитного поля над освещенным Солнцем полушарием Луны непременно должна быстро уменьшаться с высотой из-за «солнечного ветра» заряженных частиц, который постоянно дует в пространстве (и временами порывисто) вдоль лунной поверхности. Если бы лунный шар был полностью лишен магнетизма, то присутствие Луны не оказывало бы влияния на траектории частиц, проходящих вдоль ее поверхности. Любое поле с напряженностью на поверхности порядка 0,001 гаусс отклоняло бы эти частицы от прямолинейного движения, а возникающее при этом электромагнитное поле стремилось бы гасить поле Луны выше поверхности (и усиливать его внизу).

В результате проведенного Нейгебауером более тщательного анализа этой проблемы обнаружилось, что на освещенной Солнцем стороне Луны (т. е. подвергающейся действию «солнечного ветра») напряженность магнитного поля уменьшится на 14% его значения на поверхности уже на высоте 1 км. Поэтому полное отсутствие доступного измерению поля на высоте 50 км над освещенной Солнцем стороной (чего и следовало ожидать), возможно, еще ничего не говорит о напряженности его у поверхности. Неосвещенная сторона Луны (защищенная от солнечного ветра) была бы значительно благоприятнее для исследования магнитных свойств лунного шара, но, к сожалению, пока магнитометр не приближался к ней на достаточно близкое расстояние. Поэтому лучшим доказательством, которым мы пока располагаем относительно верхнего предела напряженности магнитного поля Луны, вероятно, является гашение люминесценции во время захода Солнца, т. е. отсутствие отклонения заряженных частиц на терминаторе, несовместимое с напряженностью поля на поверхности, превосходящей 0,01 гаусс.

Если обратиться к более ранним астрономическим наблюдениям лунной люминесценции, то из работы Козырева можно извлечь второй независимый довод

который приводит к тому же общему заключению. Из наблюдаемого запаздывания по времени между соответствующими солнечными и земными явлениями известно, что выброшенные из Солнца потоки протонов и электронов (содержащие приблизительно 10^3 частиц/см³) движутся в пространстве со средней скоростью 1500 км/сек. Козырев показал, что остановка такого потока лунной поверхностью фактически соответствует расчету наблюдаемой интенсивности люминесценции. В настоящее время известно, что в окрестностях Земли локальное магнитное поле должно ускорять солнечные протоны к концу их длинного пути раза в 2—3. Однако такое ускорение вблизи Луны сделало бы лунную люминесценцию в 4—9 раз ярче наблюдаемой. Если (что весьма вероятно) солнечные протоны достигают Земли и Луны в одинаковых количествах, то их интенсивность приводит снова к выводу, что их ускорение в окрестностях Луны должно быть мало, если оно вообще существует. Это опять-таки свидетельствует, что гипотетическое магнитное поле Луны должно быть незначительным.

Приведенная выше аргументация имеет несколько предварительный характер главным образом потому, что изучение люминесценции видимой части Луны пока далеко не закончено. Кроме того, следует принять во внимание, что методы фотографических наблюдений (как Козырева, так и Дюбуа) не вполне отвечают требованиям столь тонких исследований. Очевидно, при решении задач такого рода лучше всего применять фотоэлектрическую спектроскопию.

Кроме того, не следует полагать, что вся видимая поверхность Луны обладает способностью люминесцировать, так как это характерно главным образом для веществ, содержащих атомы тяжелых элементов, а они, вероятно, так же редки на Луне, как и на Земле. Очевидно, что наблюдаемые характерные признаки люминесцентных спектров могут способствовать отождествлению соответствующих им элементов или их соединений, но дело осложняется тем, что на характер люминесцентных спектров многих веществ сильно

вливают незначительные следы примесей других элементов.

Козырев утверждает, что в спектре лучей, окружающих кратер Аристарх, он отождествил наблюдавшиеся им около $\lambda\lambda$ 3900 и 4300 Å две яркие полосы с полосами обычного кварца. Однако это отождествление носит пока предварительный характер и спорно с точки зрения химии. Вероятно, более достоверно отождествление Дюбуа его результатов наблюдения со спектром люминесценции минерала, известного под названием «виллемит». Виллемиты распространены на Земле в месторождениях цинковой руды, и если бы на поверхности Луны они имелись в достаточном количестве, то Луна сделалась бы в будущем очень привлекательной для разведчиков полезных ископаемых. Однако опять-таки необходимо провести еще большую работу, прежде чем такое отождествление можно будет рассматривать как действительно установленное.

В заключение обратим внимание на одно дополнительное соображение, которое со временем может иметь большое значение для абсолютного датирования событий, вызвавших на протяжении длительной истории Луны образование многих заметных деталей на ее поверхности. Если, как предполагает Козырев, вещество, скопившееся вокруг Аристарха в виде радиальной системы лучей, действительно является кварцем, то его люминесценция может весьма эффективно гаситься (что известно из лабораторных экспериментов) небольшими примесями железа, отложившегося достаточно давно на его поверхности. Действительно, Луна, подобно Земле, на своем пути в межпланетном пространстве «сметает» пыль, содержащую определенную долю металлов. Эта доля может быть установлена экспериментально путем химического анализа образцов морского глубинного ила, добытых при помощи магнита со дна океанов (металлическая компонента которого должна быть космического происхождения). Имеется достаточно оснований допустить также, что Луна захватывает некоторое количество пыли, пропорциональное ее эффектив-

ному поперечному сечению. Тогда на каждый квадратный сантиметр лунной поверхности должно ежедневно откладываться приблизительно 10^{-11} г железа. При такой скорости отложений люминесценция кварца в вакууме должна действительно погаситься приблизительно за 50 млн. лет. Следовательно, как предполагает Козырев, оказалось бы, что кратер Аристарх с системой расходящихся радиально от него лучей не может быть значительно старше 50 млн. лет (а возможно, он еще моложе). Кроме того, подобные лучевые системы вокруг других кратеров (например, кратеров Коперник и Тихо) как будто не показывают заметной люминесценции, что, по-видимому, объясняется их большим возрастом. (Эта точка зрения подтверждается также тем, что они слабее отражают обычный солнечный свет.) Но опять-таки, чтобы надежно обосновать это предположение, придется провести еще дополнительную точную спектрофотометрическую работу.

Итак, сидя в удобном кресле, мы заканчиваем наш воображаемый рейс на Луну, который предстоит совершить в ближайшие десятилетия отважным путешественникам. Мы почти достигли цели: через несколько минут мы совершим посадку и скоро ступим на поверхность нашего ближайшего небесного соседа. Какой же мир ожидает нас после этого длинного и опасного путешествия?

Когда ракета совершит посадку и будут сняты щитки с ее иллюминаторов, вид, открывшийся перед нами, вряд ли будет иметь большое сходство с тем неровным ландшафтом, который мы видели сверху, приближаясь к Луне. Объясняется это просто: большинство островных кратеров и гор, преобладавших в виде сверху, для наблюдателя на поверхности окажутся значительно ниже горизонта. Большая кривизна относительно маленького лунного шара будет в действительности скрывать все, кроме ближайших и самых высоких вершин; так, вершина высотой 3000 м на расстоянии 100 км от наблюдателя полностью исчезает под горизонтом. Только одно это еще не может существенно затруднить ориентацию, но из-за отсутствия воздуха пространство совершенно прозрачно, что будет неизбежно вызывать чрезвычайное завышение расстояний путешественником, который привык к земным условиям.

Какие условия на поверхности Луны мы ожидаем встретить, как только выйдем из-под защиты нашей ракеты? В принципе ответ прост: условия на лунной поверхности определяются обстоятельствами, влияющими на нее в течение длительного времени. Они сложны и относительно хорошо изучены. Следовательно, чтобы попытаться ответить на этот вопрос,

нам нужно только перечислить их и тщательно рассмотреть вытекающие из них следствия.

Из обстоятельств, принимавших участие в формировании богатой деталями структуры лунной поверхности, первостепенное значение имеет отсутствие защитной газовой атмосферы, что уже обсуждалось подробно в гл. 2. Это означает, что поверхность Луны имеет непосредственный контакт с межпланетным пространством и, таким образом, подвергается действию падающего на нее извне излучения и различных частиц материи. Какая же температура будет господствовать на Луне днем или ночью?

В гл. 4 описан метод, который позволяет определять температуру элемента лунной поверхности по количеству тепла, получаемого от него в единицу времени, так что здесь нам остается только привести результаты. Неоднократные и тщательные термоэлектрические измерения показали, что в подсолнечной точке на лунных тропиках, где Солнце стоит прямо над головой, температура ежедневно достигает 110°C . После полудня, по мере увеличения зенитного расстояния Солнца, температура постепенно понижается и ко времени захода Солнца бывает даже ниже температуры замерзания воды. Затем в течение всей ночи она продолжает опускаться еще ниже до минимума перед восходом Солнца, когда наступает ужасный холод (температура -170 или -180°C). Следовательно, амплитуда суточных колебаний температуры на Луне лишь немного меньше 300°C , и температура колеблется от значения выше точки кипения воды (в полдень) до температуры жидкого воздуха (на рассвете). Конечно, это максимальная амплитуда колебаний температуры, встречающаяся только в тропиках. Вблизи полюсов, где Солнце никогда не поднимается высоко над горизонтом и заходит очень ненадолго, колебания температуры становятся соответственно меньше, но даже здесь их амплитуда остается довольно устрашающей и способной охладить энтузиазм неопытных исследователей космоса!

По-видимому, средняя температура лунного шара значительно ниже точки замерзания воды и на много

градусов ниже средней температуры Земли, но именно эти крайности интересуют нас прежде всего. Почему в этом отношении Луна и Земля ведут себя совершенно по-разному? Как для Земли, так и для Луны основным источником тепла является, конечно, солнечный свет, который наша планета и ее спутник получают поровну, поскольку они в среднем одинаково удалены от Солнца. Однако из-за индивидуальных особенностей эта энергия расходуется по-разному. Видимый свет нашего спутника, который есть не что иное, как рассеянный ее каменистой поверхностью солнечный свет, составляет всего несколько процентов полной энергии, полученной от Солнца. Большое количество солнечного света поглощается лунной поверхностью и переизлучается в инфракрасной области спектра, уже совершенно невидимой для человеческого глаза, хотя вполне доступной измерению при помощи термоэлемента. На Земле происходит то же самое, хотя механизм поглощения и защитные свойства полностью отличаются от лунных.

Наиболее важной причиной различия климатических условий, несомненно, является то, что приблизительно $\frac{3}{4}$ поверхности Земли покрыто океанами, а их вода обладает замечательными физическими свойствами. Для земного шара в целом океан является прекрасным регулятором и стабилизатором температуры. Его удачно охарактеризовали как «банк для солнечного излучения, вклады в который поступают в периоды относительного обилия солнечных лучей и возвращаются, когда солнечных лучей не хватает». Благодаря громадной теплоемкости океаны могут поглощать много солнечного тепла, не слишком нагреваясь, и терять много тепла, не слишком охлаждаясь. Кроме того, на Земле морские течения переносят тепло и холод на тысячи километров.

Но это еще не все. Весь земной шар с его континентами и морями окружен газовой оболочкой. Атмосфера почти совершенно прозрачна для «белого света» Солнца; но две из ее незначительных составных частей (выделяемые Землей и океанами водяной пар и углекислый газ), составляющие лишь 1% всей

массы атмосферы, почти полностью непрозрачны для инфракрасного излучения. Основное количество тепла, испускаемого черным телом с абсолютной температурой около 300°K , в значительной степени задерживается в нашей атмосфере благодаря поглощению молекул CO_2 и H_2O , что создает «тепличный эффект», способствующий смягчению крайних значений температуры.

Насколько по-иному все это происходит на Луне! Отсутствие атмосферы препятствует существованию на открытой поверхности любой жидкости — она должна почти немедленно испариться и рассеяться даже в течение холодных ночей. Кроме того, по сравнению с водой горные породы обладают очень малой теплоемкостью. Поэтому в течение дня поверхность Луны может быстро нагреваться, а ночью столь же быстро охлаждаться. А поскольку не происходит никакого накопления тепла, перепады температуры очень велики, хотя средняя температура Луны не слишком отличается от средней температуры Земли.

Однако в одном отношении климатические изменения на Луне не столь резки, как может показаться при первом взгляде на приведенные числовые значения. Хотя крайние значения температуры резко различны, продолжительность лунных суток (27,32 суток, или 656 час земного времени) так велика, что скорость изменения температуры в действительности не столь значительна. Охлаждение от $+110$ до -180° за 13,5 суток, разделяющих лунные полдень и полночь, соответствует среднему температурному градиенту меньше 9° в час. И только большая длительность охлаждения и нагревания создает такой колоссальный перепад температуры.

Изменения температуры происходят значительно быстрее во время относительно непродолжительных лунных затмений, когда в течение нескольких часов Луна проходит сквозь тень Земли. Относительные размеры Земли и Луны и характеристики их орбит таковы, что приблизительно один раз в течение года, т. е. через каждые 12 суток лунного календаря, Луна

проходит сквозь конус земной тени, что занимает всего несколько часов. Термоэлектрические измерения обнаруживают, что в течение этого короткого промежутка времени затмеваемая лунная поверхность испытывает столь же большие колебания температуры, как при смене дня и ночи. В частности, выход Луны из тени вызывает такую огромную «волну тепла», что менее чем за час температура поверхности стремительно поднимается почти на 200°C . Такой температурный градиент фактически достаточен для разрушения горных пород. Вы могли бы даже услышать, как растрескивается поверхность Луны, пока Солнце исчезает и снова появляется из-за края Земли.

Резкий перепад температуры на Луне (из-за отсутствия у нее защитной атмосферы) может вызвать у не очень смелых людей серьезные сомнения в том, стоит ли посещать столь негостеприимные места. Постараемся успокоить их: по-видимому, большие климатические колебания присущи только освещенной Солнцем части Луны и становятся значительно меньше тотчас за ее пределами. Этот факт был установлен радиоастрономами и является еще одним даром, каким наша древняя наука о небе обязана своей младшей ветви, которой исполнилось всего четверть века. Эта новая область астрономии вызывает настолько большой интерес, что мы считаем себя обязанными рассказать о ней несколько подробнее.

В предыдущей главе мы уже упоминали о том, что средняя абсолютная температура лунного шара (изменяющаяся на его поверхности приблизительно от 200 до 400°K) обуславливает то, что большая часть ее собственного теплового излучения заключена в инфракрасной области с максимумом около $\lambda = 10$ мк, и оно ослабевает постепенно по мере уменьшения или увеличения длин волн. Большая часть этого собственного излучения Луны между λ 10 и 1000 мк будет неизбежно поглощаться водяным паром и углекислым газом в земной атмосфере, хотя за пределами 1000 мк (т. е. 1 мм) она становится снова прозрачной и открывает другое окно для обозрения вселенной в новом и удивительном свете.

Прошло лишь около 10 лет с тех пор, как Пиддингтон и Миннет в Австралии впервые уверенно обнаружили достигающее нас в этом диапазоне тепловое излучение Луны на волне 12,5 мм (24 000 Мгц), применив антенну с шириной диаграммы направленности $0^{\circ},75$. С 1949 г. доступная часть лунного радиоспектра была изучена рядом исследователей в диапазоне от 33 см в длинноволновом конце (вне которого лунное излучение становится слишком слабым для измерений) до 1,5 мм (как раз там, где атмосфера снова становится прозрачной). Начиная с 1956 г. эти данные получал молодой американский астрофизик Синтон, который использовал в качестве телескопа 24-дюймовое зеркало прожектора, в качестве приемника — инфракрасный детектор Голея и в виде светового фильтра — лишь лист бумаги.

Эти измерения теплового излучения Луны в сантиметровом диапазоне (на частотах между 3000 и 300 000 Мгц) выявили несколько фактов, имеющих чрезвычайно большое значение для изучения физических свойств лунной поверхности. К ним можно отнести главным образом следующие. Во-первых, амплитуда суточной вариации температуры, выведенная из измерений теплового излучения в радиодиапазоне, оказывается *меньше* измеренной в видимом свете и уменьшается с ростом длины волны. Во-вторых, максимумы или минимумы радиотемператур в сантиметровом диапазоне не совпадают по фазе с высотой Солнца над горизонтом, а *отстают* от значений для поверхности (полученных в инфракрасных лучах) на величины, возрастающие с длиной волны. Например, для $\lambda = 12,5$ мм Пиддингтон и Миннет нашли, что интенсивность теплового излучения должна соответствовать колебанию температуры от -70 до $+30^{\circ}\text{C}$ по сравнению с соответствующими крайними значениями -160 и $+110^{\circ}$, измеренными Петтитом и Никольсоном в инфракрасной области, а максимумы радиотемператур в сантиметровом диапазоне сдвигаются на $1/8$ цикла (т. е. больше чем на трое суток). Для излучения на волне 1—2 мм Синтон нашел, что как днем, так и ночью температура меняется только от -100

до $+30^{\circ}\text{C}$. С другой стороны, Денисс, работая на волне $\lambda = 33 \text{ см}$ (частота 900 Мгц), нашел, что температура Луны приблизительно постоянна и равна $-50^{\circ} \pm \pm 30^{\circ}\text{C}$ как днем, так и ночью. Это удовлетворительно согласуется со средними температурами, определенными всеми другими наблюдателями, и при этом обнаруживается, что средняя температура лунного шара, если ее вывести из совокупности всех существующих наблюдений, составляет $-30^{\circ} \pm 10^{\circ}$, т. е. определенно ниже средней температуры Земли.

Какова же причина всех этих различий? Основным ключом к их объяснению служит тот факт, что все волны сантиметрового диапазона возникают на одинаковой глубине, но из-за различного поглощения приходят к нам от слоев, которые в основном тем глубже, чем больше длина волны. Иными словами, поверхность Луны, непрозрачная для видимого и инфракрасного излучения, становится частично прозрачной в области сантиметровых волн, и чем меньше их частота, тем глубже мы проникаем внутрь. Практически такое исследование ограничено тем, что тепловое излучение Луны довольно быстро уменьшается с увеличением длины волны в сантиметровом диапазоне, а лунное излучение на волнах длиннее 1 м едва ли могло бы преодолеть помехи, возникающие в самом инструменте и создаваемые фоном неба. Однако излучение на волнах от миллиметра до дециметра достаточно интенсивно и дает нам возможность проникнуть приблизительно до 1 м под поверхность и проследить поток тепла, вызванный нагреванием за день. Поскольку на Луне нет облаков, заслоняющих солнечный свет, нагревание лунной поверхности происходит ежедневно с регулярностью часового механизма, и поступающее тепло должно проникать внутрь (в соответствии с известными уравнениями переноса).

Если суточные колебания радиотемператур в сантиметровом диапазоне также быстро гасятся с увеличением глубины и продолжают отставать по фазе от инфракрасных (поверхностных) температур, на что как будто указывают наблюдения, то единственной причиной этого может, очевидно, быть только очень

низкая теплопроводность поверхностных слоев. Из наблюдений определенно следует, что суточные колебания температуры на глубине около 30 см составляют уже меньше $1/3$ ее значения на поверхности, а действие суточных тепловых волн становится ощутимым только при запаздывании приблизительно на 80 час . Кроме того, на глубине около 1 м любые суточные колебания полностью отсутствуют и температура бывает постоянной днем и ночью. По этим данным можно было бы оценить коэффициент теплопроводности вещества лунной поверхности, достаточной для того, чтобы задержать поток и ослабить его до наблюдаемого значения.

Исследователи, выполнившие первые расчеты, получили ошеломляющие результаты, так как вычисленный коэффициент теплопроводности оказался всего $3 \cdot 10^{-6}$ (в единицах CGS), что значительно меньше коэффициента теплопроводности любого известного на Земле твердого вещества. Однако эти расчеты относились к сплошным горным породам, в которых тепло распространяется через полное поперечное сечение. Предположим, однако, что мы истолкли такой камень в порошок. Тогда распространяющееся путем теплопроводности тепло сможет проходить только сквозь такие области, где отдельные пылинки действительно соприкасаются друг с другом, и общая площадь этих участков будет значительно меньше первоначального поперечного сечения камня. При первом сравнении рассчитанных для Луны коэффициентов теплопроводности с коэффициентами теплопроводности обычных земных горных пород или вулканической лавы в порошке сначала все же оставалось некоторое несоответствие, но оно полностью исчезло при повторении эксперимента в вакууме (поскольку в земных условиях большое количество тепла может распространяться через воздух между частицами пыли).

Чрезвычайно низкая теплопроводность самых верхних слоев лунной поверхности также вполне подтвердилась наблюдениями в сантиметровом диапазоне, проведенными во время полных затмений Луны. При постепенном погружении Луны в тень Земли

и выходе из нее термоэлектрические измерения лунного излучения в инфракрасной области обнаруживают, что температура на обращенной к Солнцу поверхности меняется почти так же, как при переходе от дня к ночи. Однако для волны 12,5 мм Пиддингтон и Миннет не нашли никакого изменения в интенсивности теплового излучения в часы затмения; не обнаружил его и Гибсон (Вашингтон) для $\lambda = 8,6$ мм. И только на волне 1,5 мм Синтон наблюдал реакцию теплового излучения на надвигающуюся тень опять-таки с запаздыванием по фазе и уменьшенной амплитудой в согласии с измерениями суточных колебаний.

Значение этих наблюдений совершенно очевидно. Они показывают, что большая часть видимой лунной поверхности не может состоять из одних голых скальных пород, а должна быть покрыта тонкой пылью (в среднем размер пылинки порядка нескольких микрон), химический состав которой, вероятно, такой же, как и состав обычных горных пород или вулканического пепла. Это вполне соответствует отражательной способности такого вещества и степени его поляризации при освещении Солнцем под разными углами. Присутствие покрывающего большую часть лунной поверхности порошка или пыли подтверждается столь различными и независимыми способами исследования, что его можно считать доказанным.

Однако, как только мы доходим до оценок глубины этого слоя, нам тотчас приходится исходить из одних лишь предположений. Как установлено наблюдениями в сантиметровом диапазоне, рассмотренными в предыдущем разделе, вследствие малой теплопроводности лунной поверхности глубина этого слоя пыли должна составлять по крайней мере несколько сантиметров; но насколько глубоко простирается этот слой пыли, наблюдениями пока не установлено, так как до сих пор не удалось зарегистрировать излучение, поступающее из более глубоких слоев. Поэтому для оценки общего количества пыли, покрывающей лунную поверхность, нам лучше всего рассмотреть

процессы, которые могут образовывать такую пыль, и оценить их эффективность.

В самом деле, нельзя не предположить, что лунная поверхность должна быть покрыта пылью, так как обнаженные сплошные горные породы не могли бы бесконечно противостоять ежесуточному сильному нагреванию и охлаждению, которым подвергается поверхность, особенно во время затмений, когда температура меняется особенно быстро. При таких условиях скалы должны растрескиваться на все меньшие и меньшие куски, а ультрафиолетовое излучение наряду с солнечными корпускулами и первичными космическими лучами могут вызвать дальнейшее значительное разрушение кристаллической структуры более мелких обломков.

Эта «местная» пыль, образовавшаяся в результате неизбежного постепенного растрескивания лунной поверхности, должна, кроме того, перемешиваться с «космической пылью», захватываемой Луной при ее движении в межпланетном пространстве. Как известно, это пространство не совсем пусто. Оно содержит поразительно большое количество ингредиентов, из которых основными являются водород в газообразном состоянии, свободные протоны и электроны, а также некоторые количества метеоритных осколков и пыли. Газ и заряженные частицы имеют главным образом солнечное происхождение (они могут быть выброшены Солнцем при различных процессах), поскольку мы, по существу, находимся во внешних частях солнечной короны, полная плотность вещества в которой имеет порядок 10^{-20} г/см³ (т. е. почти в 10 000 раз больше, чем в межзвездном пространстве), причем все вещество короны обновляется в течение нескольких лет. С другой стороны, метеоры и межпланетная пыль в общем имеют, вероятно, такой же возраст, как и сама солнечная система, и могут представлять собой оставшееся со времен ее образования вещество. Его сохранилось не так уж много, хотя за продолжительный период астрономического прошлого Земли и Луны тела их размера должны были захватить довольно значительное количество этой материи.

На Земле количество метеоритных отложений можно оценить по химическим пробам вещества (например, отложений ила на дне океанов) в тех районах, где человек не нарушал геохимического равновесия. Разумеется, невозможно отделить космические легкие элементы от земных, потому что они имеют совершенно одинаковый изотопный состав. Однако известно, что метеоритное вещество характеризуется заметно большим количеством определенных тяжелых и химически малоактивных металлов (например, таких, как осмий или палладий), чем их содержится в земной коре. А если так, то избыток извлеченных из ила морских глубин осмия или палладия служит хорошим индикатором общего количества отложившихся здесь с течением времени космических обломков. Кроме того, чем глубже мы берем пробы со дна морей при океанографических изысканиях, тем древнее слои, в которые мы проникаем таким путем.

Извлеченные из глубин Тихого океана самые длинные керны ила переносят нас, таким образом, в далекое прошлое, на несколько миллионов лет назад. В результате выполненного Петтерсоном и Ротчи, Паркином и рядом других исследователей химического анализа ила пришлось прийти к заключению, что общее количество выпадающего ежедневно на всю поверхность Земли космического вещества заключено в пределах от 1 до 10 000 т, так что каждый квадратный сантиметр земной поверхности должен получать за сутки около 10^{-8} г пыли, или 10^{-6} г в год. В итоге за 100 млн. лет накопится слой толщиной в несколько сантиметров, и если учесть, что существующая скорость отложения остается относительно постоянной, то со времени образования солнечной системы толщина слоя пыли не должна превышать 60—90 см.

Поскольку Луна очень близка к Земле, средняя скорость отложения космической пыли на поверхности Луны должна быть такой же, как и на Земле, или, возможно, меньше, так как отсутствие заметного магнитного поля вокруг Луны должно уменьшать количество захватываемых ею металлических частиц. Кроме того, в процессе метеоритных ударов могут

происходить большие потери лунного вещества. На Земле крупные метеориты (весом от килограммов до тонн) достигают поверхности с космической скоростью и зарываются глубоко в почву. Метеоры, вес которых измеряется граммами, будут преимущественно плавиться, нагреваясь из-за трения в атмосфере, и поэтому испаряются в воздухе. В то же время микрометеориты, т. е., по существу, космическая пыль, должны снижать свою скорость в верхних слоях атмосферы после многочисленных столкновений с молекулами воздуха. Поэтому их скорость уменьшится раньше, чем они слишком сильно нагреются, и они опускаются вниз, как бы просеиваясь сквозь сито, достигая поверхности в твердом состоянии.

На Луне все происходит по-иному. Так как отсутствует атмосфера, способная затормозить падение, все сталкивающиеся с Луной тела ударяются об ее поверхность с космической скоростью и, малы они или велики, проникают в грунт на определенное расстояние или испаряются полностью при ударе. Поэтому на Луне в отличие от Земли коллекционеры метеоритов имеют очень мало шансов найти космические образцы с сохранившейся характерной структурой, так как все вещество должно испариться при ударе и улетучиться частично в пространство или затвердеть в новой среде.

Как бы то ни было, из наших рассуждений определенно вытекает одно заключение: толщина слоя пыли, образовавшейся или отложившейся по всей лунной поверхности (каково бы ни было ее происхождение), не должна превышать приблизительно 1 м. Больше количество вряд ли могло выпасть на Луну извне даже на протяжении всей ее длительной истории, хотя в прошлом скорость отложения космической пыли была значительно больше современной. Что касается местной пыли, образовавшейся в результате постепенного разрушения лунных скал, то после образования на вершине слоя толщиной в несколько сантиметров горные породы, расположенные ниже, окажутся вполне защищенными от дальнейшего воздействия температуры и излучения. Следовательно, большего количества пыли не могло образоваться,

исключая, конечно, случай, когда ранее образовавшаяся пыль могла *перемещаться*, открывая тем самым материнские породы для дальнейшего разрушения.

Но каким же образом что-либо может перемещаться по мертвому, неподвижному ландшафту Луны? Там определенно нет газовой атмосферы, достаточной, чтобы вызвать ветер, а раз так, то что могло бы привести в движение пыль? Случайные удары больших метеоритов (как мы уже знаем из гл. 3) могут образовывать на поверхности кратерообразные структуры и одновременно приводить большие массы в движение со скоростью свободного падения. Помимо этого, всегда имеется один физический фактор, обеспечивающий непрерывное перемещение, — температура, вызывающая тепловое хаотическое движение пылинок. По этой же причине земная атмосфера простирается на значительную высоту: стремлению молекул воздуха упасть под действием притяжения Земли препятствуют их взаимные столкновения, отбрасывающие частицы в случайных направлениях. Таким образом, действительная протяженность атмосферы определяется равнодействующей двух сил: силы тяжести, которая тянет воздух вниз, и тепловых столкновений, стремящихся рассеять его. Если бы температура воздуха была значительно ниже, чем на Земле в настоящее время, то газовая атмосфера «опала бы» и со временем превратилась в жидкость. Если бы температура была значительно выше, то сила тяжести могла бы оказаться не в состоянии удерживать ее и весь воздух рассеялся бы в пространстве.

Именно поэтому Луна с ее малой массой и относительно незначительной силой тяжести на поверхности не может постоянно удерживать никакой атмосферы, состоящей из легких газов, подобной земной. Однако из кинетической теории газов следует, что вероятность достигнуть в результате столкновений скорости убегания быстро уменьшается с возрастанием молекулярного веса компонент смешанного газа. Предположим теперь, что мы рассматриваем мелкие частицы пыли как гигантские молекулы очень большого веса. Каковы будут свойства «атмосферы»,

которая может образоваться из пыли в результате ее теплового движения (при отсутствии молекул газа), учитывая господствующие на Луне температуры? Возможен весьма простой ответ: необходимые вычисления показывают, что если при 110°C (температура лунного полудня в тропиках) плотность пылевой атмосферы должна уменьшаться наполовину на высоте 10 см над поверхностью, то средний «молекулярный вес» пылинок должен составлять $\sim 7,8 \cdot 10^{-17}\text{ г}$. Это соответствует (для средней плотности 3 г/см^3) размеру $3,7 \cdot 10^{-6}\text{ см}$. Далее, чтобы шкала высот¹⁾ в этой атмосфере увеличилась в 10 раз (до 1 м), молекулярный вес должен уменьшиться в 10 раз, а средний размер до $1,7 \cdot 10^{-6}\text{ см}$, или 170 \AA , т. е. пыль должна быть чрезвычайно мелкой, чтобы в тепловом движении перемещаться хотя бы до очень небольшой высоты над поверхностью. Неизвестен естественный процесс, при котором пыль растиралась бы в такой мелкий порошок. Кроме того, из измерений поляризации света, рассеянного лунной поверхностью, и коэффициента теплопроводности (по излучению в сантиметровом диапазоне) убедительно следует, что средний размер покрывающих лунную поверхность пылинок оказывается порядка $1\text{—}2\text{ мк}$, т. е. почти в 100 раз больше. Такая пыль не могла бы двигаться под действием температуры так, чтобы образовать атмосферу со шкалой высот более 1 мм . Но при таком ничтожном слое не может быть никакого эффективного способа переноса пыли с одного места на другое в дневное время, не говоря уже о ночи.

Однако эти аргументы придется изменить, если мы будем учитывать электростатические силы (так как почти несомненно, что на пылинках должны накапливаться электростатические заряды). Чтобы оценить значение этого обстоятельства, рассмотрим прежде всего некоторые основные факты лунной электродинамики. Как мы узнали из гл. 2, отсутствие на Луне сумеречного явления показывает, что плотность

¹⁾ Шкала высот (или высота однородной атмосферы) — высота уровня атмосферы, на котором давление уменьшается в e ($2,71828$) раз. — Прим. ред.

какого-либо газа над лунной поверхностью не может превысить 10^{-12} г/см³. В земной атмосфере такая плотность достигается приблизительно на высоте 180 км над уровнем моря, как раз в середине слоя F_1 . Известно, что солнечное излучение на такой высоте должно быть достаточно интенсивным, чтобы вызвать ионизацию с образованием $\sim 10^5$ свободных электронов в 1 см³. Нам не известно, конечно, насколько меньше окажется газа на Луне, чем в нашей атмосфере на этой высоте. Кроме того, сколько бы его ни осталось там, атмосфера Луны, вероятно, состоит из инертных газов, имеющих относительно высокие потенциалы ионизации.

Однако из-за отсутствия у Луны ощутимой газовой оболочки сама ее твердая поверхность подвергается действию полного потока неослабленного солнечного света. Последствия такого воздействия должны быть весьма значительны. Как мы знаем из гл. 4, на поверхность переместится не только «зона полярных сияний», но также и «лунная ионосфера». Кроме того, солнечное ультрафиолетовое и рентгеновское излучения непременно вызовут на поверхности ионизацию не только из основного состояния (которое путем рекомбинации может вызвать видимую люминесценцию), но и со всех атомных уровней. Фактически эта ионизация должна быть значительно более интенсивной, чем в слоях E или F нашей собственной атмосферы, так как на Земле неослабленный солнечный свет встречает только газы с высокими потенциалами ионизации, а на поверхности Луны значительно более обильны элементы, обладающие слабо связанными электронами. В дополнение к перечисленному следует также принять во внимание эффекты ионизации за счет солнечного корпускулярного излучения, подверженного флуктуациям, и непрерывного потока первичных космических лучей, падающих на 1 см² лунной поверхности 1 раз за каждые 10 сек. В результате всех трех процессов: 1) фотоионизации, обусловленной солнечным жестким ультрафиолетовым излучением; 2) ударов солнечного корпускулярного излучения (главным образом протонов);

3) ударов первичных космических лучей (также главным образом протонов) — на поверхности Луны должен накапливаться *положительный* заряд; причем первый источник действует только в дневное время, второй (при отсутствии ощутимого магнитного поля) — также днем, и последний проявляется непрерывно.

Как долго может накапливаться этот заряд? Очевидно, что увеличивающийся положительный заряд поверхности должен задерживать или полностью исключать ускользание электронов с энергией ниже определенного возрастающего порога, таким образом постепенно замедляя рост заряда. Кроме того, заряд поверхности должен также ослабевать вследствие захвата свободных электронов из межпланетного пространства. Плотность таких электронов на среднем расстоянии Луны от Солнца до сих пор точно не установлена. Несомненно, она не больше, чем ~ 500 в 1 см³. Это значение было получено для полной наблюдаемой интенсивности зодиакального света и распространено на рассеяние солнечного света свободными электронами. Однако из последней работы Блэквелла относительно линейчатого спектра зодиакального света, сфотографированного с вершины Чакалтайя в Андах, следует, что действительная плотность свободных электронов в межпланетном пространстве вокруг нас, по-видимому, составляет только 50 в 1 см³ или даже меньше.

Следовательно, плотность и протяженность лунной электронной атмосферы, окружающей поверхность, должны получаться в результате борьбы между ростом положительного заряда поверхности при процессах (1) — (3) (который, однако, сам в конечном счете должен препятствовать дальнейшему электронному ускользанию) и разрядом в пространство с нейтрализацией межпланетных электронов. В результате такого совместного эффекта освещенное Солнцем полушарие Луны должно быть охвачено пространственным зарядом или неустойчивой атмосферой свободных электронов, плотность которой и шкала высот должны колебаться в течение дня. К сожалению, количественный анализ этой атмосферы довольно

трудно выполним в силу многих причин (например, неизвестна электронная плотность в пространстве, или «работа выхода» лунной поверхности); для него до сих пор трудно привести даже порядок величины в допустимых пределах, хотя в существовании такой электронной атмосферы едва ли можно сомневаться.

Можно ли установить непосредственно из наблюдений существование и плотность этого электронного слоя над освещенным Солнцем полушарием Луны? По существу, это не выходит за пределы возможного благодаря поразительному развитию радиолокационной техники за последние двадцать лет, которая уже помогла астрономам установить контакт с нашим спутником несколько раньше эпохи ракетной техники.

В январе 1946 г. (еще одна памятная дата в истории нашей науки) научные сотрудники Корпуса связи армии США в Белмаре (Нью-Джерси) во главе с де Виттом и Стодолой направили на Луну ряд коротких импульсов длительностью 0,25 сек, используя передатчик мощностью 3 квт, работавший на частоте 110 Мгц. Спустя 2,56 сек были зарегистрированы сигналы, прошедшие за этот короткий промежуток времени путь около 0,8 млн. км до Луны и обратно. Усиление отраженных сигналов, достаточное для их обнаружения, явилось поистине триумфом современной радиотехники, поскольку при выходной мощности передатчика 3 квт отраженные сигналы имели мощность лишь немногим более 10^{-17} вт, что соответствует затуханию в $25 \cdot 10^{13}$ раз¹⁾.

В 1950 г. Керр и Шейн в Австралии проявили такое же искусство, устанавливая сверхдальнюю связь на частоте 20 Мгц ($\lambda = 15$ м). С той поры во многих местах земного шара, в частности на радиоастрономической станции Джордэл Бэнк Манчестерского университета, почти ежедневно производилось лоцирование Луны на коротких волнах.

Изучение радиоэха от Луны способствовало решению многих интересных проблем. В наше время

¹⁾ Одновременно успешное радиолоцирование Луны было осуществлено в Венгрии группой ученых под руководством проф. Блая. — Прим. ред.

можно фиксировать момент возвращения эха с помощью стандартных электронных устройств с точностью порядка 10^{-6} . Так как скорость распространения радиоволн в вакууме в настоящее время известна с точностью того же порядка, то измеряемое запаздывание сигналов должно помочь нам определить расстояние отражающего элемента лунной поверхности от передатчика или приемника в пределах ± 100 м, независимо от каких-либо других астрономических наблюдений. Кроме того, доплеровский сдвиг частоты обратных импульсов должен обнаруживать относительную лучевую скорость двух тел (мгновенную) с достаточно высокой точностью. Таким образом, это способствует расширению наших знаний о движении Луны в пространстве и относительно ее центра тяжести.

Далее, изучение поляризации радиоэха открывает много нового о распространении электромагнитных волн в различных слоях земной ионосферы и об отражательных свойствах лунной поверхности. Последним по порядку, но не менее важным будет упоминание о возможности использовать лунный диск как удобный экран, созданный природой в пространстве, для отражения коротких волн, проходящих сквозь ионосферу. Так, в ноябре 1951 г. Национальному бюро стандартов США в сотрудничестве с компанией «Коллинз» удалось передать внятные сигналы радиовещательной станции мощностью 30 квт на частоте 417 Мгц ($\lambda = 72$ см) на расстояние 1200 км (Седар Рэпидс, Айова, и Стерлинг, Вирджиния), используя Луну как отражатель. Таким образом, была начата новая эпоха в радиосвязи на больших расстояниях в диапазоне УКВ. Переданная американскими радиоинженерами через Луну первая фраза умышленно повторяла содержание первой телеграммы, посланной 24 мая 1844 г. Самюэлем Морзе по новой телеграфной линии между Вашингтоном и Балтиморой: «Что сотворил Господь». Это послание, возможно, окажется предвестником будущих передач трансатлантических телевизионных программ.

Однако сейчас нас интересуют радиоэхо от Луны безотносительно к будущим коммерческим возможно-

стям, а скорее в связи с тем, могут ли они пролить какой-нибудь свет на физические свойства отражающей лунной поверхности. В этом отношении одно обстоятельство заслуживает особого внимания, именно то, что поступающие обратно на Землю сигналы воспроизводят настолько точно характеристики первоначальных сигналов, как если бы их отражение от Луны было зеркальным, т. е. если бы отражающая поверхность была гладкой, а не неровной, как мы представляем ее себе. Одним из объяснений этого явления, возможно и правильным, будет то, что сигналы с Земли не проникают до твердой поверхности, а отражаются от внешней части электронного слоя определенной высоты, расположенного над поверхностью Луны. Если так, то следует предположить, что отражение должно быть неодинаковым во время полнолуния, когда плотность электронного слоя должна быть максимальной, и в новолуние, когда этот слой, по существу, исчезает и остается неровная твердая поверхность. Дальнейшие наблюдения, вероятно, покажут, так ли это на самом деле.

Наконец, существует еще один способ, при помощи которого наблюдатель с Земли мог бы обнаружить присутствие электронного слоя вокруг Луны, — явление рефракции. Оно наблюдается во время покрытия «радиозвезд» Луной. Как известно, в последнее время на небе обнаружено много дискретных источников, сильно излучающих в радиодиапазоне. Хотя некоторые из них до сих пор не отождествлены ни с какими определенными видимыми объектами, большинство таких источников нашей Галактики было связано с газовыми туманностями, содержащими турбулентную плазму. Так называемый «источник Телец А», представляющий собой газовую оболочку (Крабовидная туманность) знаменитой сверхновой 1054 г., наблюдавшейся китайскими астрономами, является хорошим примером объектов этого типа. Крабовидная туманность расположена в созвездии Тельца недалеко от небесного экватора и случайно находится в поясе, который проходит Луна во время своего видимого движения по эклиптике.

Когда лунный диск покрывает радиисточник, тогда как раз перед входом в тень радиоволны проходят по касательной к темной лунной поверхности, выходя через некоторое время из-за ее лимба, освещенного Солнцем. Последнее покрытие 24 января 1956 г. наблюдалось в Кэмбридже (Англия) радиоастрономами Костэном, Эйсмором и Уайтфилдом на волне 3,7 м. Эти исследователи отмечают, что радиоволны источника Телец А исчезают и появляются вновь не точно в тот же момент, когда видимый свет Крабовидной туманности закрывается лунным диском или появляется из-за него, но что интервал времени между видимыми входом в тень и выходом из нее несколько укорачивается вследствие рефракции радиоволн, достигающей приблизительно 22" (или меньше). Если в свою очередь эта рефракция вызвана свободными электронами непосредственно над освещенным Солнцем лимбом Луны, ее наблюдаемая величина (значение которой все еще вызывает некоторые сомнения) свидетельствует об электронной плотности порядка 10^4 частиц в 1 см^3 , т. е. в 100 раз больше, чем в межпланетном пространстве вокруг нас. Следовательно, это и есть вероятная плотность электронного газа над освещенной Солнцем поверхностью Луны. В дальнейшем, наблюдая покрытия этого и других известных радиисточников, расположенных вблизи эклиптики, несомненно, удастся точно установить и более надежно обосновать значение электронной плотности.

Однако мы хотим подчеркнуть, что многие из этих свободных электронов могут временно захватываться (или освобождаться) пылинками, лежащими на поверхности или низко нависшими над ней. Возникающее при этом электростатическое отталкивание может привести в движение пыль, преодолевая притяжение значительно более эффективно, чем хаотические тепловые движения, создаваемые господствующей температурой. Если так, то электростатически заряженная пылевая атмосфера смогла бы, возможно, достичь заметной высоты над освещенной Солнцем поверхностью Луны и подвергаться действию некоторого подобия ветра по мере перемещения полуденного

меридиана относительно лунного экватора. Однако даже в таком случае совершенно невероятно, чтобы значительная масса могла переноситься вдоль лунной поверхности в виде наэлектризованной пыли. Большое количество пыли останется, вероятно, там, где она образовалась (или выпала). Если это так, то слой пыли не должен быть нигде настолько глубоким, чтобы оказаться серьезным препятствием для тех, кто когда-нибудь будет вынужден пробираться через нее. Пусть даже цепь наших доказательств этой точки зрения не вполне надежна, но тем не менее их изложение может оказаться не лишним, хотя бы для того, чтобы предупредить этих отважных людей быть осмотрительными и готовыми к любой неожиданности!

Действительно, насколько увлекательно попытаться предвосхитить впечатления путешественника, осторожно идущего сквозь дневное облако наэлектризованной пыли! Солнечный свет должен рассеиваться в ней почти одинаково по всем направлениям, так что здесь не будет теней, как если бы путешественнику пришлось идти в густом тумане, хотя он может простираться не больше чем на несколько метров над поверхностью. А над ним мы видели бы бездонные, черные как смоль глубины пространства и где-то в них сияющее Солнце в виде диска ни с чем не сравнимой яркости, хотя даже его ослепительный блеск несколько не затмевал бы изумительное великолепие несметного числа звезд.

В предшествующих главах мы описали основные характеристики нашего спутника, что позволяет до некоторой степени представить себе таинственный мир, ожидающий будущих путешественников, когда они выйдут из своего космического корабля и ступят на поверхность нашего спутника. Нетрудно, конечно, понять, что, куда бы они потом ни направились, им нужно с первого шага иметь при себе собственный запас воздуха для дыхания и что «доспехи» этих современных рыцарей должны быть снабжены тепловой изоляцией, чтобы защитить их по мере возможности от больших скачков температуры при переходе с освещенного Солнцем места в тень.

Первой задачей путешественников сразу после выхода из ракеты должна быть ориентировка. Где именно они совершили посадку и куда на карте нужно воткнуть флажок, отмечающий место прибытия? Эта задача может оказаться значительно труднее, чем можно себе представить, сидя в удобном кресле на Земле. Если наши путешественники оглянутся вокруг, обозревая окрестности, то большая часть знакомых ориентиров, так заманчиво видневшихся в иллюминаторах ракеты, пока они приближались, вероятно, исчезнет из поля зрения, когда они окажутся на поверхности Луны. Благодаря большой кривизне относительно малого лунного шара скроются из вида все неровности поверхности, кроме ближайших или наиболее высоких. Следовательно, нужно ожидать, что лунный горизонт большей частью будет совершенно плоским, возможно, с немногочисленными (если таковые вообще окажутся) вершинами гор, на которых глаз, ища привычные ориентиры, смог бы остановиться с некоторым доверием. Повсюду, куда бы они ни взглянули, им придется увидеть однообразный, безжизненный, ярко освещенный Солнцем ландшафт, испещренный черными как смоль тенями, сопровождающими каждую неровность почвы.

Поэтому вероятно, что почти всюду на Луне видимых ориентиров немного и они слишком далеки друг от друга, чтобы надежно служить для определения места, где оказались путешественники. Кроме того, поскольку Луна не имеет осязательного магнитного поля, то и от компаса должно быть мало пользы. Вероятно, лучше всего прибегнуть к «небесной навигации», которая в данном случае должна оказаться единственным методом ориентировки, так как при этом положение наблюдателя определяется по виду звездного неба над головой в данный момент. Благодаря астрономической навигации моряки на протяжении истории человечества водили суда по обширным пространствам земных океанов до тех пор, пока на смену ей не пришла современная радиосвязь; астрономические методы, несомненно, будут играть столь же важную роль в будущем и на Луне. Так как на

Луне (при отсутствии ощутимой атмосферы) звезды видны и днем и ночью, этот метод в любом случае поможет ориентироваться всего быстрее и проще.

Предположим, что это удалось сделать, и следующая задача для вновь прибывшей партии состоит в установлении связи с группой, которая могла совершить посадку раньше этой в каком-либо другом месте. От решения этой задачи может зависеть жизнь участников экспедиции. Каким образом установить связь? По радио? Это также связано со специфическими трудностями. Поскольку вокруг Луны нет заметной ионосферы, которая отклоняла бы радиоволны, все они будут распространяться здесь, в сущности, прямолинейно, и поэтому слышимость будет только в пунктах, для которых антенна передатчика остается видимой над горизонтом. Однако кривизна лунной поверхности такова, что антенна высоты Эйфелевой башни или Эмпайр Стейс Билдинг оказалась бы полностью под горизонтом на расстоянии не более 30 км, и сигнал прошел бы над ней. На Луне радиопередача была бы не более эффективна, чем связь посредством световых сигналов. Оба способа ограничены небольшим радиусом действия, так что они не дают возможности послать сообщение очень далеко. Если к тому времени, когда эта проблема будет иметь практическое значение, Луна получит искусственный спутник, то его поверхность можно было бы использовать для отражения радиоволн; или же (при наличии достаточной энергии) сообщение могло бы транслироваться через Землю, которая останется основной базой и надежной гаванью для далеких от нее космонавтов — передовых разведчиков лунного форпоста космоса. Хотя ретрансляция через Землю, вероятно, окажется вполне осуществимой на более поздних стадиях исследования Луны, непосредственная радиосвязь каким бы то ни было способом или методом может оказаться затруднительной.

Дальнюю связь на Луне, вероятно, целесообразнее и технически проще всего осуществить с помощью искусственных сейсмических волн от микровзрывов, производимых в строго определенное время и распро-

страняющихся сквозь твердую кору Луны (ниже пылевого слоя). Такие волны относительно легко создавать и обнаруживать, имея очень простое оборудование и используя их дискретную природу для передачи по азбуке Морзе. Поскольку на Луне нет атмосферы, в которой распространялись бы звуковые волны, или ионосферы, отражающей радиоволны, можно использовать твердую поверхность в качестве среды для распространения сейсмических сигналов.

Легко представить себе, что произойдет на уже оборудованной лунной станции, когда ее обитатели будут ожидать прибытия новой ракеты с Земли. Ракета, сначала наблюдаемая только в телескоп, становится наконец видимой простым глазом как яркий, освещенный Солнцем объект, медленно скользящий по направлению к лунной поверхности. Ее радиосигналы перестают быть слышны как раз перед посадкой, как только ракета исчезнет под горизонтом. Как прошла посадка? Была ли она благополучной или произошла авария? Сейсмические волны в принципе способны передать это известие по всему лунному шару. Поступит ли сообщение в виде волны, указывающей на полное разрушение упавшего космического корабля, или из последовательности сейсмических точек и тире обнаруживается прибытие с Земли новой партии товарищей? В этом случае мы можем лишь предоставить себе перемену, отразившуюся на возбужденных лицах мужественных исследователей! Как только новая группа подаст сигнал о прибытии, самой неотложной задачей станет проблема связи. Каким образом быстро установить связь с вновь прибывшими, возможно очень нуждающимися в помощи, не говоря уже о письмах из дома?

К сожалению, необходимость каким-то способом передвигаться напрямик по пересеченной местности вызовет новые трудности, как и задача ориентировки и связи. Достаточно упомянуть хотя бы о том, что, если лунный транспорт должен включать какие-либо вращающиеся части (оси, колеса и т. д.), их смазка будет весьма трудной задачей, так как известны масло или жир, способные выдержать

достаточно длительное пребывание в вакууме, не говоря уже о больших изменениях температуры, а вездесущая мелкая пыль, перемешиваясь при движении транспорта, будет проникать во все движущиеся части, засоряя и разрушая их.

Очевидно также, что на Луне для транспорта не годится двигатель внутреннего сгорания, так как он не сможет действовать в вакууме. Вероятно, было бы целесообразнее всего использовать реактивные двигатели, хотя проектирование требуемых «реактивных геликоптеров» астрономы с радостью предоставили бы авиаконструкторам: раз уж им удалось создать космические корабли, которые достигли Луны, то транспорт для движения по лунной поверхности с относительно пологими склонами не заставит ждать себя долго.

Однако всюду на поверхности Луны мы увидим картину величественного запустения. Лунные равнины еще бесплоднее, чем любая каменистая пустыня на Земле. Лавовые наслоения земных потухших вулканов радуют глаз больше, чем лунные кратеры. Черные как смоль лунные пещеры хранят вечное молчание. На Луне почти никогда ничего не происходит, а изменения, вызываемые внешними космическими влияниями, о которых мы узнали выше, продолжают, хотя и чрезвычайно медленно, «растирать» лунную поверхность в мелкую пыль. В темном укромном уголке любой трещины в скале какая-нибудь паутина, весьма вероятно, осталась бы непотревоженной в течение миллионов лет. Луна, быть может, не очень привлекательное место для праздничной прогулки, но для ученого это настоящая пещера Аладдина, полная восхитительных чудес и на поверхности и под ней.

ИЗМЕНЕНИЯ НА ЛУНЕ

У читателя, следившего за нашим рассказом о том, как по современным представлениям выглядит лунный ландшафт, возможно, создалось впечатление, что Луна сейчас представляет собой уже мертвое тело, совершенно окаменевшее за долгое время жизни. Читателю может показаться, что если не все, то большинство видимых деталей Луны образовались на ее поверхности в результате ударов других небесных тел — астероидов, метеоров или комет, которые сталкивались с Луной во время ее бесконечного путешествия в космическом пространстве.

До самого последнего времени такая точка зрения была широко распространена среди большинства исследователей Луны. Вероятно, наиболее лаконично ее выразил профессор Юри, ведущий специалист в этой области. Недавно в случайном разговоре он заметил: «Для науки характерно, что разные объективные наблюдатели, изучающие одно и то же явление, приходят к одинаковым заключениям; при этом подавляющее большинство исследователей в основном сходится во взглядах. Когда это случается, мы рассматриваем заключения таких ученых как истину. Я прихожу к выводу, что вулканические гипотезы (происхождения деталей лунной поверхности) ошибочны и верна только гипотеза столкновения». Это было написано в 1956 г. и выражало мнение большинства специалистов в этой области. Однако чуть более двух лет спустя природа столкнула нас с некоторыми несомненными фактами (важнейший из них связан с кратером Альфонс), которые требуют частичного пересмотра прежних взглядов. Мы хотим рассказать об этом во всех деталях, так как в науке процесс непрерывного пересмотра сложившихся ранее взглядов более всего способствует прогрессу.

Прежде чем рассказывать о кратере Альфонс, рассмотрим кратко некоторые варианты ударной теории. Происходит ли на Луне даже в настоящее время что-нибудь, подтверждающее эту теорию? Мы уже упоминали, что одна только видимая часть Луны содержит по меньшей мере 300 000 кратеров с диаметрами свыше 1 км, а более мелкие кратеры могут наблюдаться лишь в самые большие телескопы. Поскольку возраст Луны не меньше 4,5 млрд. лет, образования одного ударного кратера за каждые 15 000 лет достаточно для получения современного их количества, если их формирование происходило с неизменной скоростью (и нужна значительно меньшая скорость образования кратеров, если большинство из них возникло, что возможно в раннюю эпоху истории солнечной системы). Если учесть, что применение телескопов в астрономии началось около трех столетий назад, то сразу станет понятно, как мало шансов пронаблюдать хотя бы один метеоритный удар, способный образовать на Луне заметный кратер.

Правда, в селенографической литературе содержатся отдельные сообщения о том, что действительно наблюдались небольшие изменения на поверхности Луны. Однако большинство подобных сведений основано на визуальных наблюдениях в эпоху, когда к ним относились недостаточно критически, так что вклад этих данных в науку о Луне не слишком велик и многие астрономы не склонны принимать их всерьез. Они требуют доказательства в виде фотографии, показывающей какое-либо изменение, которое можно проследить и измерить. Визуальные наблюдения подвержены личным и инструментальным ошибкам и зависят от атмосферных условий в значительно большей степени, чем представляет себе сам наблюдатель. Поэтому сообщения о каких-то изменениях на поверхности Луны, наблюдавшихся визуально, редко подтверждаются.

Можно высказать много критических замечаний по этому поводу, в частности, что ранняя селенографическая литература изобилует наблюдениями,

которые вряд ли могли соответствовать действительности. Все же сообщения об изменениях некоторых участков лунной поверхности, например кратера Линней посредине большой равнины, которую мы называем Морем Ясности, или (совсем недавно) в кратере Альфонс вблизи центра видимого лунного диска (ср. фото XIV), слишком убедительны, чтобы ими можно было пренебречь. Более того, на снимках Луны, полученных в последнем десятилетии с различными светофильтрами (Алтером, работающим с 60-дюймовым рефлектором обсерватории Маунт Вилсон), обнаружено независимое подтверждение результатов визуальных наблюдений.

Эти изменения, мысль о которых возникла в результате такого исследования, не были столь значительными, как, например, появление новых гор. Это было скорее временное «помутнение» некоторых деталей, в частности у основания Альфонса, обычно совершенно отчетливого, но иногда словно подернутого легкой дымкой (особенно на снимках, полученных с синим фильтром). Подобное явление хорошо известно земным фотографам. Оно вызывается рассеянием света в атмосфере, благодаря чему все изображения удаленных предметов значительно менее контрастны при фотографировании с синим фильтром, чем с красным.

Могла ли та же причина действовать и на Луне? Едва ли, поскольку из-за своей малой массы Луна не может постоянно удерживать никакой заслуживающей внимания атмосферы, что мы уже объясняли неоднократно и, надеемся, достаточно убедительно. Любой газ, выделяющийся через какую-нибудь трещину на поверхности, выходил бы в вакуум и рассеивался в пространстве так же быстро, как и выделялся. Следовательно, плотность такого газа на любой высоте над поверхностью должна быть слишком малой для того, чтобы вызвать доступное наблюдениям рассеяние света. Однако в двух случаях газы, выделяющиеся из-под поверхностных слоев, могли бы вызывать легкий туман над поверхностью Луны. В первых, они могут привести в движение мелкую

пыль, которая слоем известной толщины должна покрывать большую часть лунной поверхности, а пыль рассеивает свет значительно эффективнее любых газовых молекул. Во-вторых, возможно, что выделяющийся газ под действием солнечного излучения приобретает способность светиться и окутывает окрестности флуоресцирующей вуалью, свечение которой будет затушевывать резкие контрасты на освещенном Солнцем ландшафте.

При условии, что энергия возбуждающего солнечного излучения достаточно велика, второй механизм способен уменьшить контрастность в 10^{10} раз эффективнее, чем рассеяние. Ощутимое «помутнение» может вызываться присутствием газовых молекул (между наблюдателем и поверхностью Луны), причем их требуется не менее 10^{15} на 1 см^2 (т. е. слой газа под давлением 10^{-10} атмосфер). Нет достаточных оснований исключать возможность того, что существует локализованная лунная «атмосфера» указанной плотности. Ее на некоторое время могут образовывать газы, выделяющиеся через трещины поверхности. Так или иначе эта реальная причина временного помутнения некоторых деталей лунного ландшафта (о чем в прошлом сообщалось многими наблюдателями) оставалась в значительной степени гипотетической. Так было вплоть до ночи 3 ноября 1958 г., когда только благодаря счастливой случайности природа обронила ключ к этой загадке Луны, который нашел советский астроном Н. А. Козырев, работавший на Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. События этой ночи представляют собой один из наиболее волнующих и недавних эпизодов в истории исследований Луны и могут некоторое время остаться неповторимыми, поэтому мы расскажем о них в этой главе во всех деталях.

К тому времени Н. А. Козырев не был новичком в исследованиях Луны, что подтверждает его работа о люминесценции лунной поверхности (описанная в гл. 4). Как раз эта работа и результаты фотографирования Луны, полученные Алтером, привлекли его внимание к Альфонсу. Поэтому в октябре и ноябре

1958 г. Козырев пытался обнаружить возможную люминесценцию лунной поверхности. Он работал, как и прежде, с 50-дюймовым рефлектором Крымской астрофизической обсерватории АН СССР, применяя спектрограф, имеющий линейную дисперсию 23 \AA/мм у линии водорода $H\gamma$. Изображение в фокальной плоскости имело следующий масштаб: 1 мм соответствовал приблизительно $18,6 \text{ км}$ на лунной поверхности. Время экспозиции на пластинках Кодак 103а-F колебалось от 10 до 30 мин.

Спектрограммы кратера Альфонс не содержали ничего примечательного вплоть до ночи со 2 на 3 ноября. В эту ночь Козырев и Езерский получили три спектрограммы, располагая щель прибора так, что она проходила через центральную горку кратера (см. фото XV). Крымский 50-дюймовый телескоп не имеет отдельного гидрирующего устройства, и поэтому гидрирование производится по какому-нибудь объекту, видимому сквозь щель спектрографа. В 1 час гринвичского времени, когда Козырев, получая первую спектрограмму, гидрировал по изображению центральной горки, он отметил, что ее очертания становятся неотчетливыми и принимают необычный красноватый оттенок.

После окончания экспозиции Козырев и Езерский перешли к получению спектра Марса (согласно предварительно составленной программе). К Альфонсу они вернулись только между 3 час. — 3 час. 30 мин. гринвичского времени. Сквозь щель была видна только центральная горка, и Козырев был поражен ее необычной яркостью и белым цветом. Однако это длилось недолго, и, наблюдая непрерывно сквозь щель, Козырев отметил, что ослепительный блеск внезапно исчез. Экспозицию немедленно прекратили и начали следующую между 3 час. 30 мин. — 3 час. 40 мин. гринвичского времени, не меняя положения щели.

Как признавался впоследствии сам Козырев, он не придавал особого значения зрительным впечатлениям во время гидрирования при фотографировании этих спектров, полагая, что они были вызваны

изменениями условий наблюдения. Во всяком случае, необычное явление длилось недолго, и, пока оно наблюдалось только визуально, Козырев, не веря своим глазам, мог их протирать сколько угодно.

Однако, когда на следующее утро спектрограммы были проявлены, не осталось и тени сомнения в том, что центральная горка Альфонса, представляющая собой невысокий холм (высотой едва 1 км), в предыдущую ночь стала ареной необычайных событий.

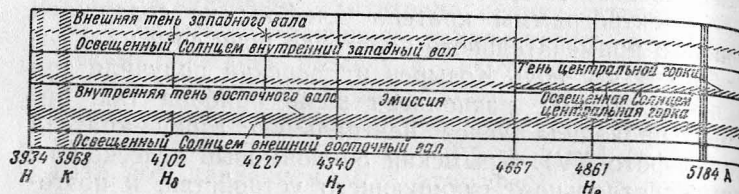


Рис. 11. Схема различных деталей на спектрограмме кратера Альфонс, представленной на фото XV.

На первой спектрограмме, полученной после часа ночи (и не приведенной здесь), изображение центральной горки, снятой с фиолетовым фильтром, было значительно ослаблено по сравнению с окружающими деталями кратера, чего не наблюдалось на более ранних снимках. Измерения фотографии с затемненной центральной горкой показали, что величина поглощения была обратно пропорциональна длине волны и общее потемнение в видимой области составляло около 10—20%.

На второй спектрограмме (см. фото XV, вверху) этого поглощения уже не наблюдалось, хотя в той части пластинки, где щель спектрографа пересекала центральную горку, появился совершенно новый эмиссионный спектр, состоящий из налагающихся серий ярких полос (ср. также рис. 11). Наиболее примечательную особенность этого эмиссионного спектра составляла группа полос, начинающихся от $\lambda 4737$ и довольно быстро оканчивающихся в красной части.

Другие полосы с максимумами около $\lambda 5165$ и 5636 \AA , по-видимому, принадлежат той же системе. Козырев отождествил их предварительно с так называемыми «полосами Свана» молекулы углерода (C_2); отчетливый максимум у $\lambda 4737$ отмечает начало колебательной полосы этой молекулы. Кроме того, дальше в фиолетовой области (между линией водорода $H\delta$ и линией H кальция) Козырев обнаружил более слабую систему полос, принадлежащих, по-видимому, трехатомной молекуле углерода (C_3). Поэтому присутствие углерода в газообразном состоянии над центральной горкой кратера Альфонс в ранние утренние часы 3 ноября 1958 г. почти не вызывает сомнений.

Следующая особенность эмиссионного спектра центральной горки (см. верхний спектр, фото XV) состояла в том, что эмиссия не приходилась непосредственно на горку, а была слегка сдвинута в направлении заходящего Солнца. На поверхности Луны этот сдвиг достигал приблизительно $0''{,}7$, т. е. 1,3 км. Возможно, смещение вызывалось тем, что выброшенное облако газа было оптически толстым по отношению к коротковолновому излучению Солнца, так что оно проникало (и вызывало люминесценцию) только в часть облака, обращенную к Солнцу.

Какова же наиболее вероятная интерпретация этих необычных наблюдений? Козырев утверждает, что утром 3 ноября на Луне в кратере Альфонс произошло настоящее вулканическое извержение. Согласно его наблюдениям в гидрирующий окуляр, все явление началось с выброса (в виде красноватого облака) вулканического пепла из активно действовавшей (хотя и невидимой) трещины в центральной горке. Выброс сопровождался выделением газа, свечение которого имело эмиссионный спектр, сфотографированный Козыревым. Молекулярный углерод мог быть только одной из компонент этого спектра (по-скольку он содержит полосы пока не отождествленных молекул).

Кроме того, зная время, когда были получены спектры, можно заключить, что выделение газа

длилось не более $2\frac{1}{2}$ час и не менее получаса. Во всяком случае, спектр, полученный между 3 час. 30 мин. — 3 час. 40 мин. ночи 3 ноября (и в последующие ночи), не проявлял никаких особенностей, заслуживающих внимания (ср. фото XV, внизу). Однако во время извержения спектр центральной горки Альфонса был очень похож на спектр комет, но не имел характерных для них ультрафиолетовых полос циана (CN), которого, по-видимому, нет на Луне.

Козырев полагает, что выделявшийся из кратера газ обязан своим происхождением расплавленной магме, поднимавшейся из внутренних частей Луны на поверхность. Если бы такая точка зрения оказалась правильной, то можно было бы считать доказанным присутствие в настоящее время хотя бы изолированных источников тепла под корой Луны. Однако такое заключение пока не является неизбежным, так как даже относительно холодный газ, пробивающийся струей из внутренних частей лунного шара сквозь случайную трещину, мог бы поднимать окружающую пыль (не обязательно вулканический пепел). По-видимому, несомненно, что как образование углерода в газообразном состоянии (в результате фотодиссоциации более сложных исходных молекул), так и его свечение вызываются действием солнечного света, или, более точно, солнечного ультрафиолетового излучения, не проникающего к поверхности Земли.

Все же гипотеза выделения холодного газа пока не в состоянии удовлетворительно объяснить одно весьма важное явление: почему пыль не остается в движении в течение всего процесса выделения газа? Поскольку у Луны нет атмосферы, поднимающаяся пыль должна быстро оседать со скоростью свободного падения, но только после того как прекратится ток газа. Если же пыль поднималась не с поверхности, а из самого вулканического кратера, то почему рассеяние света пылью наблюдалось в виде ослабления ультрафиолетовой части спектра только во время начальной фазы, а не на протяжении всего извержения?

Несомненно, солнечный свет на Луне достаточно интенсивен, чтобы возбудить свечение молекул



Фото I. Видимая сторона Луны. Фотография составлена из двух снимков в первой и последней четвертях.

Снимки получены на Ликской обсерватории с 36-дюймовым рефрактором и смонтированы X. К. Юри.

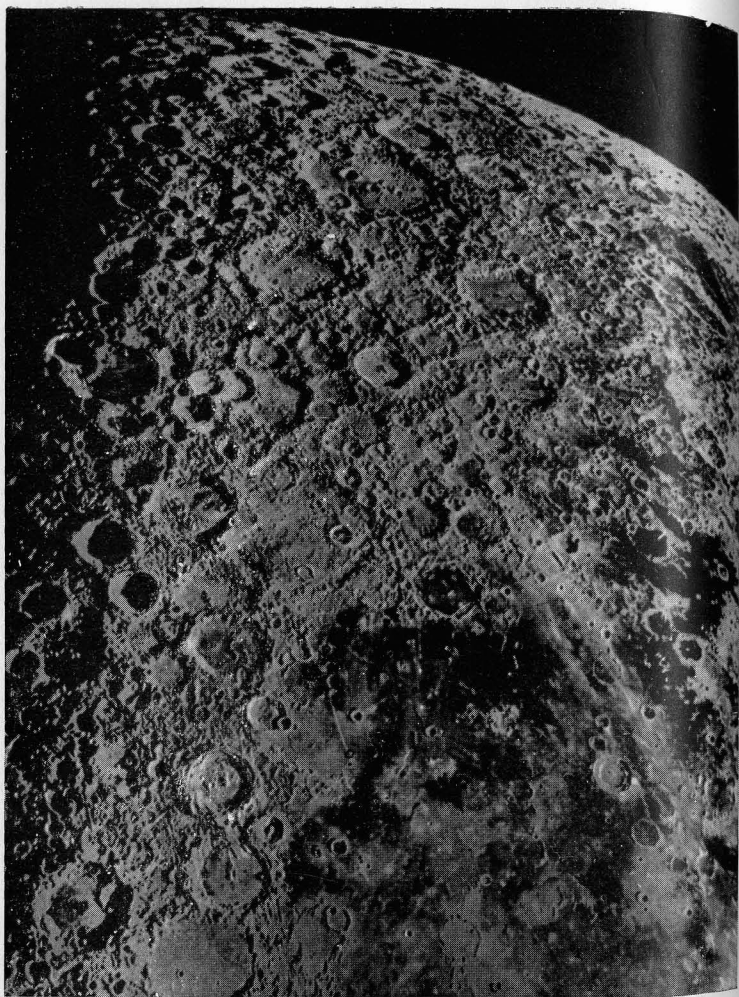


Фото II. Южная часть поверхности Луны во время последней четверти (возраст 21,5 суток), включая область кратеров Клавий и Тихо вместе с их лучевой системой.
Снимок получен на обсерватории Маунт Вилсон со 100-дюймовым рефлектором.

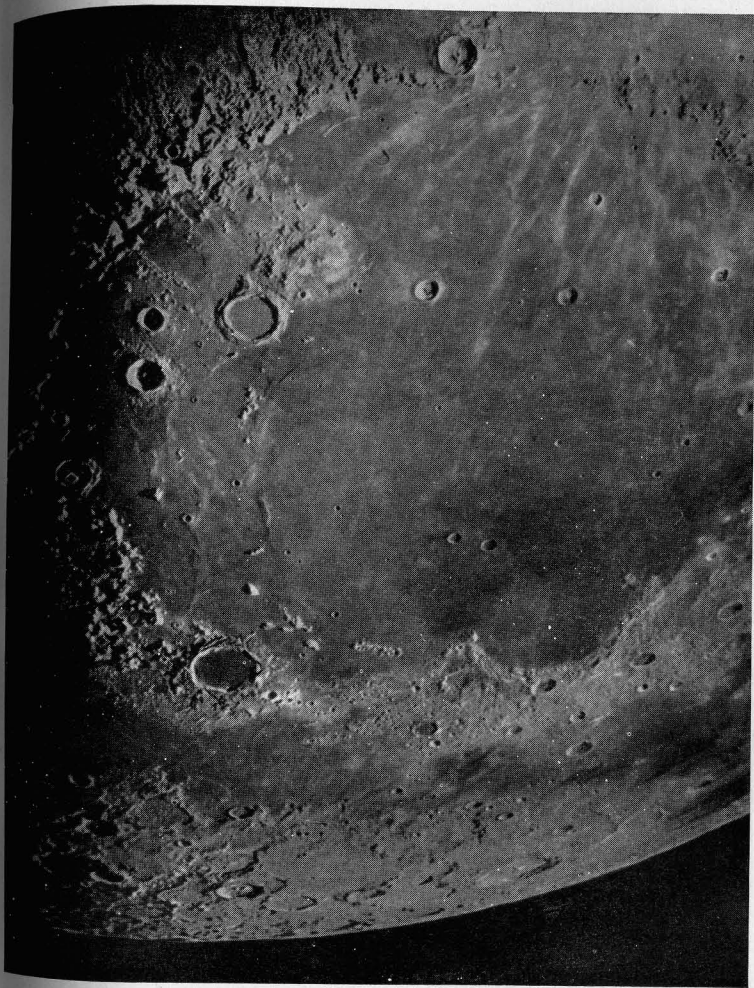


Фото III. Северная часть поверхности Луны во время последней четверти (возраст 21,5 суток), на которой видна вся область Моря Дождей от кратера Коперник (в верхнем правом углу) до северного полюса.
Снимок получен на обсерватории Маунт Вилсон со 100-дюймовым рефлектором.

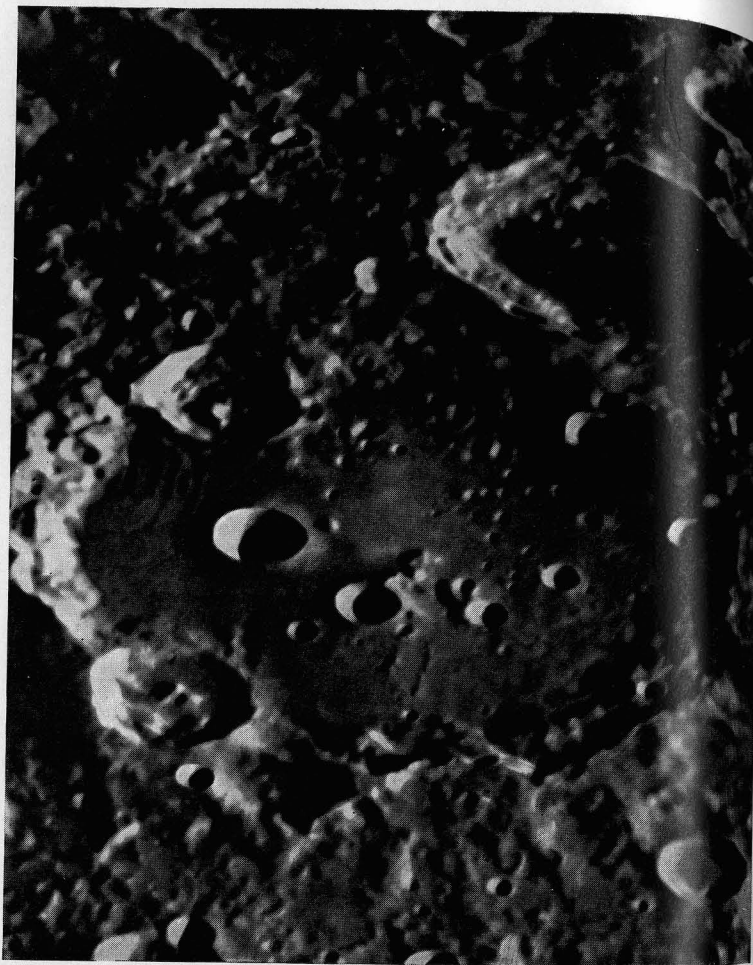


Фото IV. Кратер Клавий вблизи южного полюса Луны во время захода Солнца.

Размеры этой самой большой из кольцевых гор на Луне приблизительно равны расстоянию между Лондоном и Бирмингемом. На снимке впечатление от высоты валов в значительной степени преувеличено благодаря тени. В действительности они возвышаются над окружающим ландшафтом только на 1600 м и оказались бы под горизонтом для наблюдателя, расположенного вблизи центра кратера.

Снимок получен на обсерватории Маунт Паломар с 200-дюймовым рефлектором.



Фото V. Восход Солнца над большой окруженной валом равниной вблизи юго-восточного залива Моря Облаков.

Поперечник самых незначительных деталей, различимых на ее дне, меньше 1 км. Белая стрелка внутри смежного с ним кратера Региомонтан указывает на один из редких на Луне вершинных кратеров, имеющих, вероятно, вулканическое происхождение.

Снимок получен на обсерватории Пик дю Миди с 24-дюймовым рефрактором обсерватории.

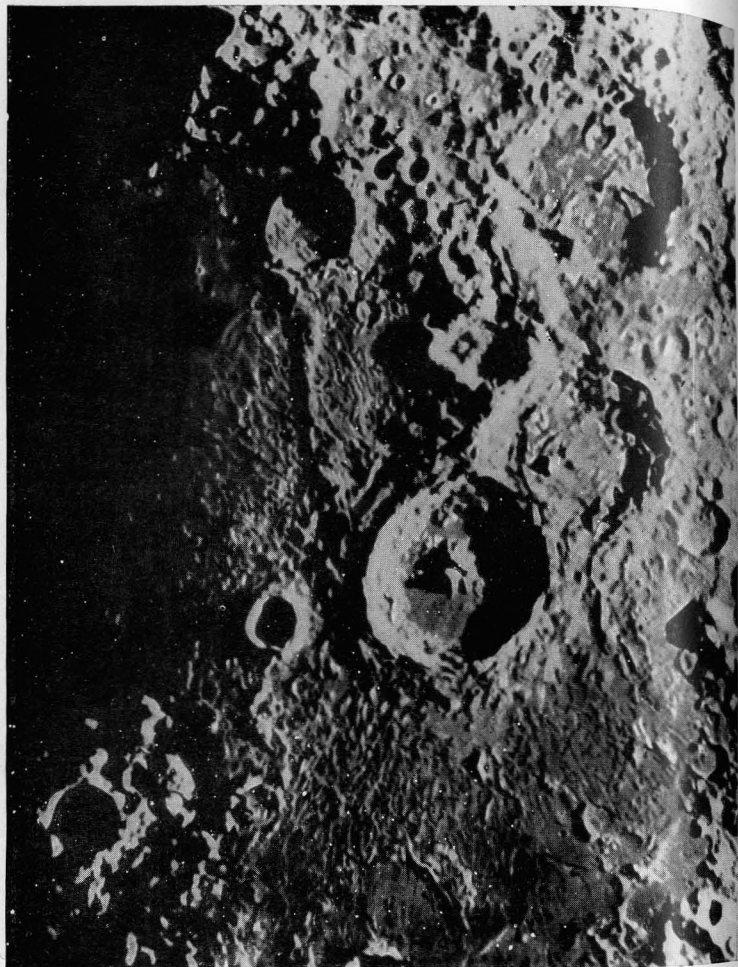


Фото VI. Заход Солнца на Луне для кратера Теофил и его окрестностей (включая соседние кратеры Кирилл и Катарина). Диаметр этого кратера больше 100 км, а валы поднимаются не выше 1200 м над окружающим ландшафтом. Центральная горка возвышается приблизительно на 2200 м над дном кратера.

Снимок получен на Йеркской обсерватории с 40-дюймовым рефрактором.



Фото VII. Область кратера Коперник в Океане Бурь.

Отчетливо видна система ярких лучей, расходящихся из центрального образования. Слева, в оконечности высокой горной цепи Апеннин, расположен кратер Эратосфен.

Снимок получен на обсерватории Маунт Вилсон со 100-дюймовым рефрактором.

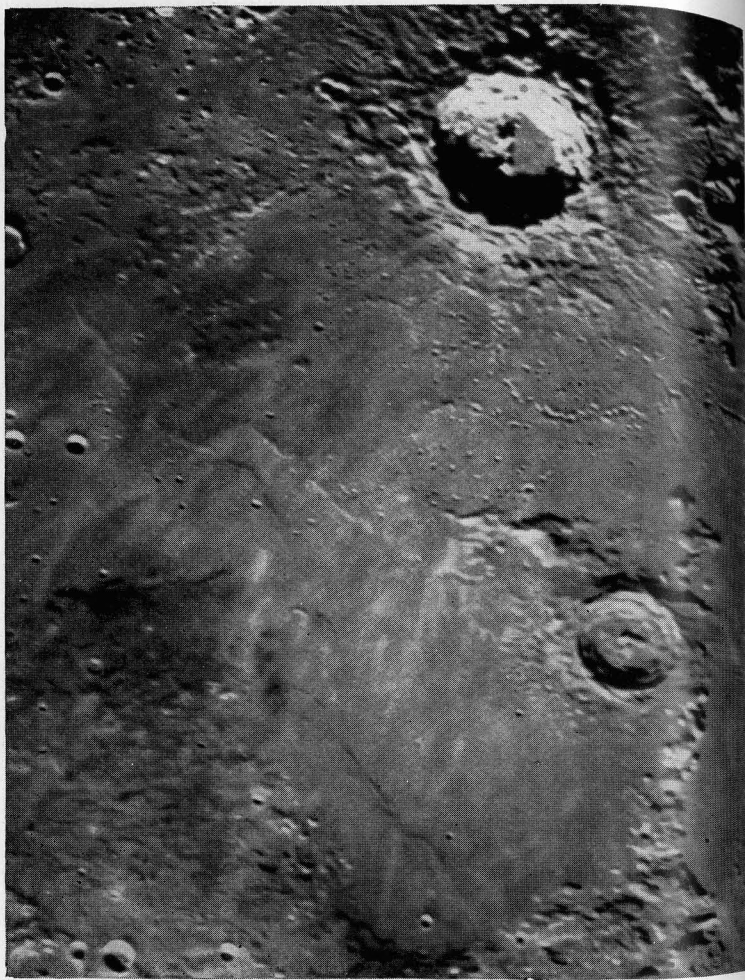


Фото VIII. Восход Солнца над кратерами Коперник (вверху) и Эратосфен (внизу) и Заливом Зноя.

Валы Коперника, имеющего поперечник приблизительно 90 км, поднимаются не больше чем на 1000 м над уровнем окружающих равнин, а высота его центральной горки составляет лишь около 1200 м.

Снимок получен на обсерватории Маунт Паломар с 200-дюймовым рефлектором.

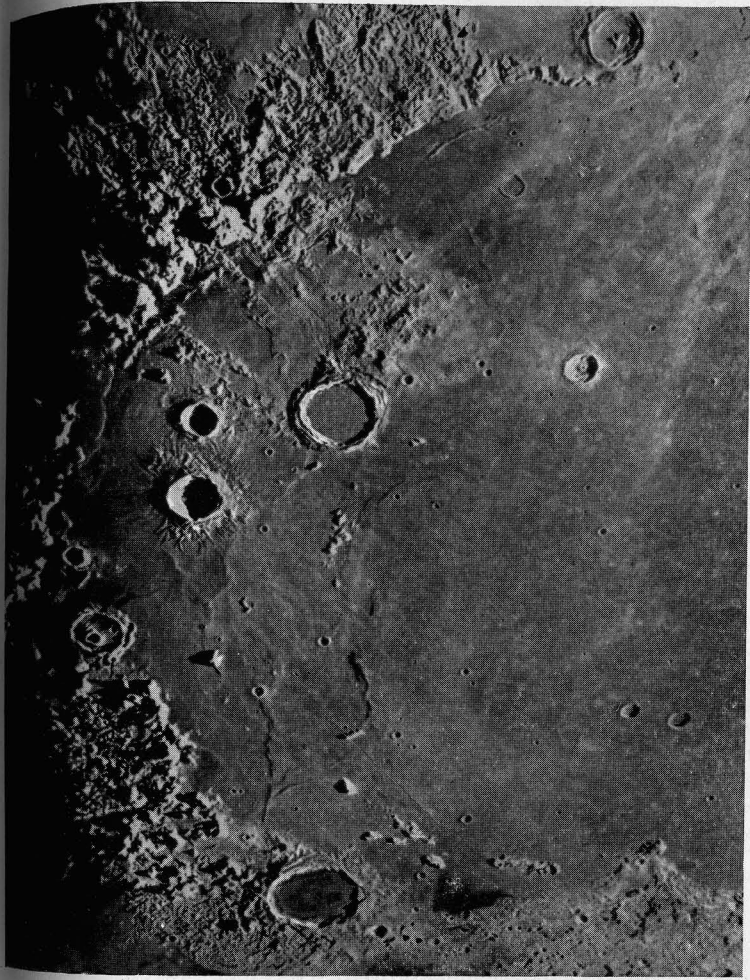


Фото IX. Западная часть Моря Дождей в последней четверти.

В верхнем правом углу кратер Эратосфен завершает горную цепь Апеннин, а кратер Платон (вблизи нижнего края фото) отмечает конец лунных Альп. В центральной части фотографии видны три кратера: Архимед, Аристилл и Автолик. Ниже Аристилла длинная тень показывает положение горы Питон.

Снимок получен на обсерватории Маунт Вилсон со 100-дюймовым рефлектором.

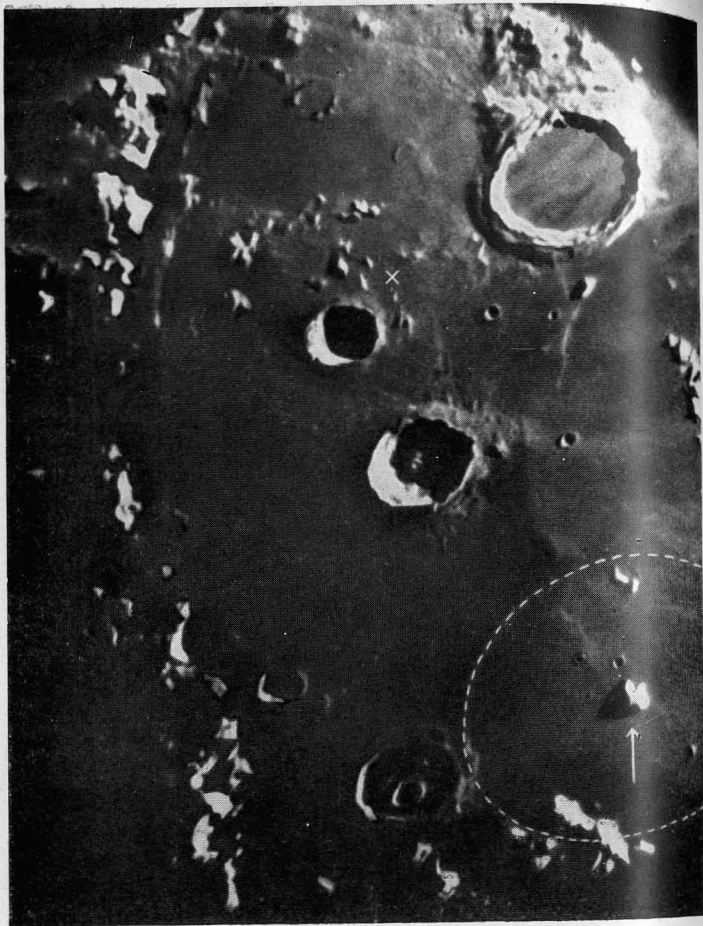


Фото X. Заход Солнца для западного залива Моря Дождей (Гнилое Болото), окаймленного слева горами Апеннины и Кавказ. Хорошо видны кратеры Архимед, Аристилл и Автолик. Вблизи нижнего правого угла одинокая гора Питон поднимается на 2300 м над окружающими равнинами. Из-за кривизны лунной поверхности она видна из любой точки на Луне только в пределах белого круга, обозначенного пунктиром.

Крестик (X) вблизи Автолика обозначает место, где советская космическая ракета достигла Луны 13 сентября 1959 г. в 21 час 2 мин. 24 сек. гринвичского времени. Это был первый посланец Земли, преодолевший расстояние до Луны. Падение не наблюдалось визуально, хотя ученым удалось радиометодами определить приблизительно координаты точки встречи: долгота 0° , широта $+30^\circ$. Целью запуска было достичь центра видимого диска Луны; ракета отклонилась при падении на поверхность Луны всего лишь на 800 км (при расстоянии до цели 384 000 км).

Во время «прилунения» капсула двигалась со скоростью 3,3 км/сек под углом 60° к поверхности Луны. Поскольку капсула весила 390 кг, полная кинетическая энергия была приблизительно $2 \cdot 10^{10}$ эрг, т. е. ее едва хватило для создания при ударе кратера диаметром 15 м (слишком малого, чтобы его видеть с Земли). Несколько позже в этом же месте упала последняя ступень ракеты-носителя, весившая 1121 кг.

Снимок получен с 24-дюймовым рефрактором обсерватории Пик дю Миди.



Фото XI. Восход Солнца над восточной частью Моря Спокойствия.

Обозначенные буквами X и Y точки указывают положения на поверхности Луны, из которых открывался бы вид, изображенный на рис. 3.

Снимок получен с 24-дюймовым рефрактором обсерватории Пик дю-Миди.

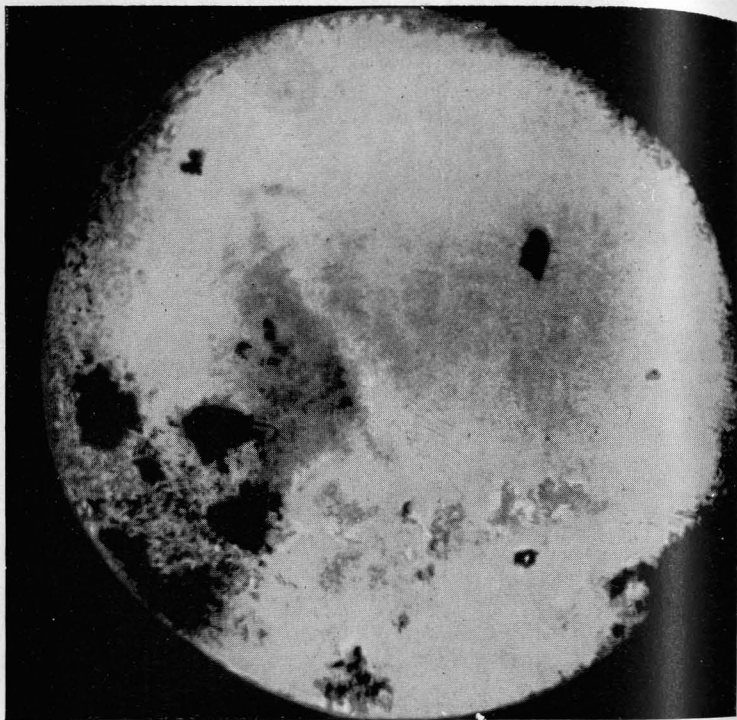


Фото XII. Фотография обратной стороны Луны, полученная с борта советской автоматической межпланетной станции.

Снимок сделан 7 октября 1959 г. на расстоянии 66 тыс. км от Луны. В это время обратная сторона Луны была вблизи «полнолуния», поэтому горы и кратеры не отбрасывали больших теней. Приблизительно 30% территории у западного (левого) лимба видно с Земли. Следовательно, такая же часть лунной поверхности у ее восточного лимба пока не нанесена на карту.



Фото XIII. Восход Солнца над кратером Аристарх (в северо-восточном квадранте видимого полушария Луны, посередине Океана Бурь).

Согласно Козыреву, расходящиеся от этого кратера яркие лучи должны люминесцировать под воздействием солнечного излучения.

Снимок получен с 24-дюймовым рефрактором обсерватории Пик дю Миди.

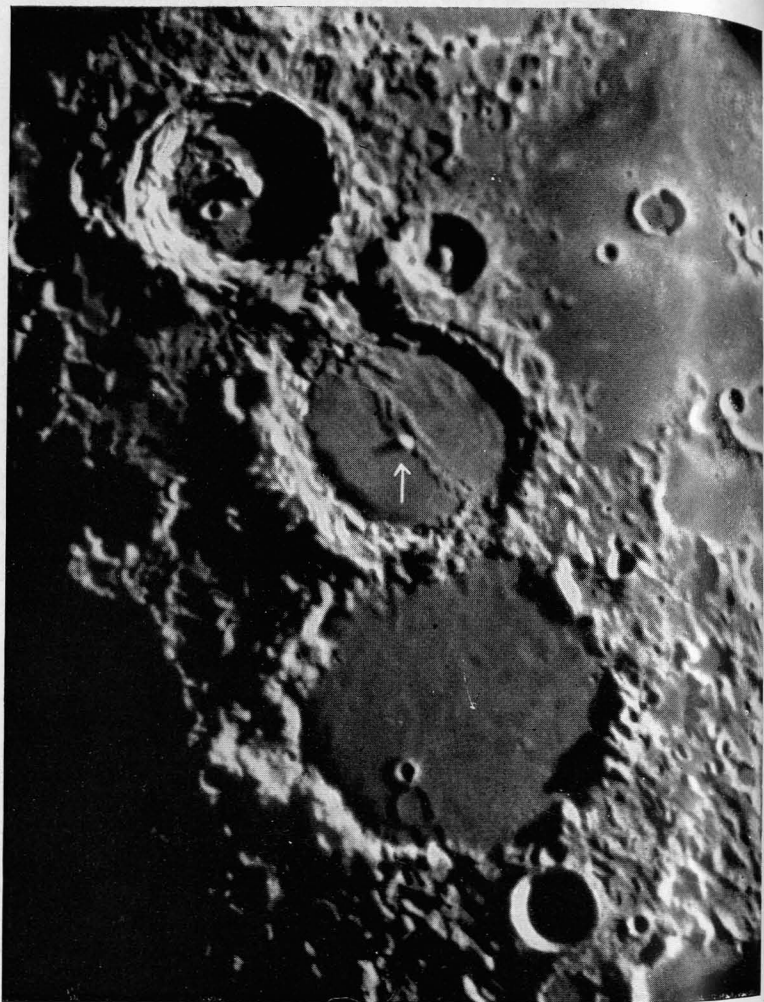


Фото XIV. Заход Солнца для центральной части видимого полушария Луны, включая большие кратеры Птолемей (внизу), Альфонс (в центре) и Арзахель (вверху).

Центральная горка Альфонса высотой 912 м, ставшая 3 ноября 1958 г. знаменитой, отмечена стрелкой.

Снимок получен с 24-дюймовым рефрактором обсерватории Пик дю Миди.

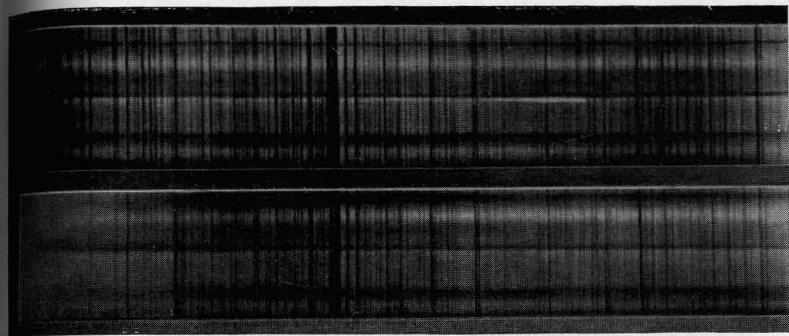


Фото XV. Спектры кратера Альфонс, полученные Н. А. Козыревым и В. И. Езерским 3 ноября 1958 г.

Они служат подтверждением некоторого рода вулканического извержения, которое произошло в то время на Луне. Верхний спектр был получен в 3 час. — 3 час. 30 мин., нижний — 3 час. 30 мин. — 3 час. 40 мин. гринвичского времени.

Щель спектрографа была ориентирована с востока на запад (т. е. горизонтально относительно фото XIV) и пересекала весь кратер, проходя через его центральную горку. На верхней спектрограмме (лучшего качества) следует отметить узкую яркую полосу, проходящую через центр спектра, но не достигающую его правого конца. Эта полоса вызвана светом извержения и имеет признаки раскаленного облака, содержащего углерод, обычно присутствующий в вулканических газах. Верхний спектр получен с экспозицией 3 мин. Немедленно вслед за ним была сделана 10-минутная экспозиция (нижний спектр), которая не подтвердила дальнейшего присутствия светящихся газов. Все остальное на этих двух спектрограммах не что иное, как рассеянный солнечный свет. Детали этих спектров рассмотрены на рис. 11.

Снимок получен на Крымской обсерватории с 50-дюймовым рефлектором.

углерода, но какие же исходные соединения углерода диссоциируют, давая его молекулы? Ацетилен? Или такие углеводороды, которые могут присутствовать в нефти? Конечно, пока слишком рано утверждать, что под корой Луны находится нефть, вопреки широко распространенному мнению о ее органическом происхождении на Земле. Нефть на Земле была найдена только под осадочными породами, возможно, по той причине, что они легко поддаются бурению, и еще никто не искал нефти под вулканическими породами. Однако известно, что солнечная система изобилует углеводородами (например, атмосферы планет-гигантов содержат их в громадном количестве). Во всяком случае, в дальнейшем астрономам следовало бы обратить серьезное внимание на проверку предположения о том, что на Луне углерод образуется в результате разложения углеводородов. Это могло бы привести к коренному пересмотру современных теорий о происхождении нефти на Земле.

Совершенно очевидно, что мы еще далеки от этого этапа, поскольку еще вызывает сомнение даже отождествление Козыревым эмиссионных деталей с полосами Свана молекулы углерода. Так, Койпер показал, что по сравнению с освещенной Солнцем лунной поверхностью полоса Свана у $\lambda 4737$ должна была бы наблюдаться как полоса поглощения, а не излучения, а полоса для $\lambda 5129$ — лишь частично в эмиссии. Однако, согласно Козыреву, разгадку эмиссионного происхождения спектра следует искать в чрезвычайно малой плотности выделяющегося газа (когда столкновения молекул не могут играть существенной роли). Измерения интенсивности наблюдавшейся эмиссии показывают, что для ее объяснения необходимо 10^{14} молекул C_2 на 1 см^2 лунной поверхности, покрытой облаком, занимающим более 100 км^2 . Следовательно, общее количество молекул углерода в облаке в любой момент во время критических стадий извержения должно быть порядка 10^{26} .

Скорость молекул C_2 , образовавшихся в результате диссоциации материнских соединений под действием солнечного света, должна быть порядка

1 км/сек. Следовательно, при остановке процесса выхода газа излучение должно прекратиться приблизительно за 10 сек. Для поддержания свечения было необходимо выделение 10^{25} молекул C_2 в 1 сек, т. е. количество этого газа, содержащееся приблизительно в $1 м^3$ при земном атмосферном давлении. Так как выделение газа длилось не менее получаса, общее количество углерода в газообразном состоянии, выделившегося из центральной горки Альфонса, заполнило бы при нормальном давлении несколько тысяч куб. метров. Кроме того, если считать, что в образовании C_2 путем диссоциации участвует только 1% исходных молекул, то общий объем газа, выделившегося из центральной горки 3 ноября 1958 г., должен был составлять около нескольких сотен тысяч куб. метров при нормальном давлении. Однако на Луне облако газа расширялось (выделяясь в вакуум) и растянулось на многие километры. Вероятно, плотность его при этом составляла 10^{-9} плотности земной атмосферы на уровне моря (т. е. по меньшей мере в тысячу раз больше средней приемлемой плотности любого газа вокруг Луны).

Каковы бы ни были неопределенности некоторых сторон интерпретации явлений свечения, наблюдавшихся только по счастливой случайности спектроскопически в кратере Альфонс 3 ноября 1958 г., одно несомненно: они не были вызваны ударом какого-нибудь космического тела. Помимо того что наблюдавшиеся характеристики этого явления полностью отличны от ожидаемых при гипотезе столкновения, вероятность того, что какому-нибудь столкнувшемуся с Луной телу удалось нанести удар по маленькой центральной горке большого кратера, очень невелика. Поэтому остается предположить, что явление эмиссии вызвано внутренними причинами, и лучше всего назвать их вулканизмом. В связи с этим основная проблема состоит не столько в детальной интерпретации механизма этого явления, сколько в выяснении его распространенности.

Несомненно, что, если бы благодаря необычайной удаче все явление не было зафиксировано спектроско-

пически, оно прошло бы совершенно незамеченным, как, возможно, бывало в прошлом. А какова вероятность того, что при вулканическом извержении такого рода, длящемся короткое время (порядка 1—2 час), большой телескоп со спектрографом будет направлен на вулкан и зарегистрирует это неуловимое явление? Разумеется, вероятность очень мала, и то, что наблюдения Козырева пока не повторились и могут оставаться единственными некоторое время, еще не свидетельствует об исключительности такого рода извержений на Луне.

Даже единственный случай регистрации такого явления представляет чрезвычайную ценность, потому что показывает, чего следует ожидать. Если полученный Козыревым в 1958 г. спектр типичен для газа, внезапно выброшенного при лунном вулканическом извержении, то следует ожидать, что основная эмиссия должна наблюдаться в синей области между 4650—4750 Å. Поэтому при визуальных наблюдениях контрастность свечения при таком извержении значительно увеличится, если наблюдать Луну сквозь узкополосный интерференционный фильтр с максимальным пропусканием в этой области спектра. Чтобы не пропустить возможных извержений на Луне в будущем, было бы желательно наблюдать с таким фильтром весь диск (при небольшом увеличении). Внезапное усиление яркости любого участка в спектральной области, содержащей полосу Свана у $\lambda 4737$, укажет на присутствие выброшенного при вулканическом извержении газа значительно надежнее, чем любое наблюдение в интегральном свете.

Для систематического проведения такой работы, к сожалению, слишком мало специалистов-астрономов. Однако она почти идеально подходит для любителей, которых по крайней мере в 10 раз больше, чем специалистов. Для подобных исследований требуются небольшие телескопы, а необходимые фильтры можно достать без труда. Если при наблюдении с синим фильтром контрастность какого-либо участка возрастает (даже вполне ощутимо), все-таки нужны дополнительные подтверждения, прежде чем

считать, что реальность явления надежно установлена. Наилучшим подтверждением этого явления были бы результаты спектроскопических наблюдений, но их не так просто осуществить, особенно немедленно, поскольку астрономических инструментов требуемой мощности слишком мало и они разбросаны по всему земному шару. Все же вероятность того, что это явление действительно происходило, возрастает, если сообщение о внезапном усилении яркости одного и того же участка в предполагаемой спектральной области будет сделано более чем одним независимым наблюдателем.

Кроме того, визуальные наблюдения такого рода могут оказаться очень ценными для выявления по всему диску Луны таких районов, которые способны проявлять в настоящее время активность в этом отношении. Наблюдение за ними можно поручить астрономам-любителям, наблюдающим Луну.

7

МЕСТО НАЗНАЧЕНИЯ — ЛУНА

С незапамятных времен людей не оставляла надежда побывать на Луне (в мечтах или наяву). Чарующие видения Кеплера «Сна» или (менее компетентные) описания Свифта, Сирано де Бержерака и многих других авторов относятся скорее к области художественной литературы. Однако обратимся к следующему отрывку из письма королевскому астроному Невиллю Маскелайну, написанного 12 июня 1780 г. самим Уильямом Гершелем в начале его великого жизненного пути:

«Сэр, я прошу разрешения обратить Ваше внимание на то, что высказанную мной здесь почти полную уверенность в обитаемости Луны, возможно, следует приписать тому энтузиазму, из-за которого наблюдатель, будучи лишь начинающим в изучении астрономии и видя перед собой столько чудес, едва ли может разобраться в своих впечатлениях. Впрочем, если Вы обещаете не называть меня безумным, то я приведу отрывок... из которого Вы узнаете мое отношение к этому вопросу.

Быть может, сделанные по аналогии заключения окажутся чрезвычайно далекими от истины; тем не менее... исходя из того, что наша Земля обитаема, и сравнивая с ней Луну, мы убеждаемся, что наш спутник обеспечен светом и теплом, имеет почву, возможно даже более благоприятную для жизни, чем земная. Поэтому кто же может отрицать, что нет ничего слишком невероятного, более того, несомненно, что на Луне жизнь должна существовать в той или иной форме.

Как великолепен вид небес на Луне! Какое чудесное разнообразие холмов и долин! Вместо океанов — необъятные равнины, пригодные для пастбищ и т. д.

Непрерывный день на одной половине, а на другой — день и ночь, которые длятся во много раз дольше, чем земные. Если сравнить Землю с Луной, то не окажется ли, что на Луне нет борьбы стихий? Воздух, вода, огонь, облака, бури, вулканы и т. д. — их или совсем нет на Луне, или по крайней мере все они проявляются в значительно меньшей степени, чем на Земле...

Что касается меня, то, если бы мне пришлось выбирать, жить ли на Земле или на Луне, я, не колеблясь ни одной минуты, выбрал бы Луну».

Не известно, что ответил преподобный Маскелайн на это излияние своего корреспондента, но я опасаюсь, что некоторые из его преемников были бы значительно более откровенными. Кроме того, мы осмелимся сказать, что читатель, проследивший за нашим рассказом о современных представлениях относительно условий, существующих на лунной поверхности, вряд ли выразит большое желание перебраться жить на Луну. В частности, нам известно, что там мы не встретимся с жизнью ни в какой форме. Зато «великолепный вид небес» привлекает современных астрономов гораздо сильнее, чем когда-то самого Гершеля.

После того как мы описали основные результаты современных астрономических исследований, у многих читателей может невольно возникнуть вопрос: когда же на самом деле мы отправимся туда, чтоб самим увидеть и узнать, в какой степени представления астрономов о Луне соответствуют действительности? Теперь, 180 лет спустя, с тех пор как Гершель написал свое знаменательное письмо, наступила эпоха покорения космоса, когда полет на Луну становится практически возможным. Наконец, после длившейся 4,5 млрд. лет разобщенности двух космических соседей частицы земного вещества уже перенесены на лунную поверхность. В памятный день 13 сентября 1959 г. в 22 час. 2 мин. 24 сек. всемирного времени первый «лунный разведчик», созданный советским народом, достиг поверхности Луны в районе Моря Дождей, торжественно положив конец этой разобщен-

ности. Вскоре после этого, 4—11 октября 1959 г., другая советская ракета облетела Луну и получила первые снимки ее обратной стороны. Время «путешествий за открытиями» уже наступило, и исследование пространства при помощи современных технических средств, несомненно, будет продолжаться. Осуществится благополучная посадка космических кораблей, несущих на борту приборы, а со временем — и людей. Предсказать точно дату этого последнего достижения пока что трудно, хотя не приходится сомневаться в том, что высадка людей на Луне осуществится в наше время.

Прикинув в общих чертах технические трудности, которые еще придется преодолеть, чтобы осуществить эту давнишнюю мечту, мы убеждаемся, что победа над ними будет недешево стоить (в смысле затраты человеческих усилий и денежных средств). Расходы будут чрезмерно высоки по сравнению со стоимостью современных научных исследований (исключая эксперименты, связанные с ядерной энергией), хотя по сравнению даже с бюджетами наций, не претендующих на роль «великих держав» на нашей планете, они окажутся вполне умеренными. Разумеется, еще до запуска на Луну первой ракеты с людьми много денежных средств будет израсходовано на проведение неизбежных подготовительных работ при относительно незначительной стоимости самих ракет. Однако даже в этом случае общие расходы окажутся настолько большими, что их смогут взять на себя не отдельные научно-исследовательские институты, но только государства великих наций или даже их объединения. Следовательно, необходимые кредиты должны стать предметом голосования в их парламентах. До того как эти кредиты будут утверждены, законодатели и избиратели будут иметь законное право выяснить, имеются ли разумные основания для продолжения столь рискованного эксперимента, и ту выгоду, которую можно было бы получить в случае его успешного завершения. Что сможем мы ответить на это? Почему же все-таки мы так хотим попасть на Луну?

Постараемся ответить на эти вопросы. Насколько реально получение материальных выгод в результате такого рискованного предприятия? Рассмотрим в связи с этим, существует ли теоретически возможность пополнить на Луне наши запасы такого сырья, которое на Земле благодаря интенсивной эксплуатации в конце концов может истощиться. Прежде всего это относится к рудам, содержащим тяжелые элементы (например, драгоценные металлы и, конечно, радиоактивные вещества). Могут ли астрономы помочь нам оценить перспективы такой возможности?

Все, что нам известно (и о чем мы уже рассказывали) о химии космоса и средней плотности лунного шара, не вызывает особой надежды на то, что кора Луны имеет заметно повышенное содержание тяжелых элементов. В частности, это относится к таким дефицитным металлам, как золото или уран, которые редки как на Земле, так и в космосе. Вероятно, в лунном веществе содержится больше всего кислорода, кремния, железа, магния и алюминия или кальция (относительное содержание элементов убывает в порядке перечисления, причем преимущественно они входят в соединения в сопровождении других элементов, как тяжелых, так и легких).

Какова вероятность того, что на Луне (как на Земле) некоторые из редких и ценных элементов могут концентрироваться в отдельных районах в виде рудных месторождений, которые, возможно, имело бы смысл разрабатывать? Вообще, есть ли на Луне полезные ископаемые в таком же или большем обилии, чем на Земле? Геологи считают, что существует четыре или пять видов процессов, вызывающих обогащение руд определенными элементами. Это процессы, включающие дифференциацию по магнитным свойствам, гидротельмальные процессы, выветривание, образование осадочных пород или биологические процессы. Существенно, что большинство из них уже сыграло когда-то большую роль в течение истории Луны и поэтому может не приниматься в расчет (по изложенным в предшествующих главам причинам).

По-видимому, на лунной поверхности или в ее коре относительно обильны только два имеющих важное экономическое значение металла — железо и никель. Поэтому можно предполагать, что разведка месторождений этих металлов и их разработка осуществимы. Однако совершенно независимо от вопросов экономики и проблемы транспорта благодаря физическим условиям на Луне добыча руды, с одной стороны, облегчалась бы (по сравнению с затратой труда на Земле), а с другой — оказалась бы более затруднительной. Нам помогало бы то, что у Луны слабое притяжение и, кроме того, неограниченный запас поступающей от Солнца энергии, если бы мы сумели ее эффективно улавливать и накапливать. Однако любой горный инженер, который занялся бы работами практически, рассказал бы нам, насколько трудно проводить в большом масштабе процессы дробления и добычи руды или выемки ее химическим путем при недостаточном снабжении воздухом и водой (нужных, в частности, как среда, в которой могли бы протекать химические реакции). Работа молотка (перфоратора) или бура в условиях, близких к вакууму, в соединении с низкой теплопроводностью лунных горных пород могла бы привести к перегреву рабочих инструментов.

В настоящее время несомненно, что воды на Луне может быть столько же, сколько ее во всех морях и океанах Земли, но только не в жидком состоянии. Вместо этого молекулы H_2O «вкраплены» в кристаллическую решетку многих минералов (например, силикатов или вулканического стекла), которые мы надеемся обнаружить на Луне. Вероятно, эта вода является первичной (т. е. не перенасыщенной минеральными солями) и ее можно в принципе извлечь путем нагревания. Если бы мы допустили, что на Луне имеются хотя бы следы вулканизма, то нам следовало бы попытаться обнаружить на расстоянии, возможно, имеющиеся там пласты вулканического стекла, например обсидиана или серпентина. По весу обсидиан содержит приблизительно 5% воды, а серпентин (или кимберлит) — до 10%. Кроме того,

известно, что одна группа метеоритов, именно углистые хондриты (вероятно, довольно распространенные на поверхности Луны), содержит от 10 до 20% воды. Их обезвоживание в свою очередь не вызвало бы трудностей: достаточно просто поместить такие камни в печь при температуре приблизительно 500—1000°С, чтобы путем нагревания освободить воду и затем конденсировать выделяющийся пар в жидкую воду. В связи с ее конденсацией могут возникнуть некоторые затруднения. Однако все это можно было бы осуществить в таком масштабе, чтобы организующаяся лунная база смогла самостоятельно обеспечивать себя водой при условии, что в определенном месте можно создать требуемые температуры.

Единственным источником энергии, пригодным для этой цели, несомненно, является солнечное излучение. Количество этой энергии поистине колоссально: когда Солнце стоит в зените, каждый кв. км лунной поверхности должен получать в минуту $2 \cdot 10^{10}$ кал тепла, т. е. $4,18 \cdot 2 \cdot 10^{17}$ эрг/мин. Эта энергия, превращенная в электричество, соответствует $5,0 \cdot 10^7$ квт·час. Сравните с ней электрическую энергию, вырабатываемую самыми большими земными гидростанциями: например, Гуверовская плотина в США вырабатывает $1,25 \cdot 10^6$, а ДнепрогЭС в СССР — $9 \cdot 10^5$ квт·час.

Поэтому для получения высоких температур в печах любого размера на освещенном Солнцем полушарии Луны, безусловно, было бы достаточно энергии, причем ее использованию не мешала бы атмосфера в отличие от земных условий (хотя наша планета получает примерно столько же энергии). Для ее улавливания в принципе можно предложить четыре типа устройств: линзу, параболическое зеркало, плоско-пластинчатый коллектор и солнечную батарею.

На Луне действие первых трех устройств значительно облегчалось бы малой силой тяжести (уменьшающей прогиб больших конструкций) и отсутствием ветров или облачности. Соответствующие земные конструкции испытывают, в частности, ветровые нагрузки, что сильно удорожает солнечные

установки. Поскольку на Луне абсолютно отсутствуют ветры и нет подвижной пыли, способной загрязнять поверхность зеркал и линз, всю конструкцию можно сделать очень легкой.

Одна из целей получения таким путем тепла состоит в плавлении двуокиси кремния SiO_2 . Кремний находится всюду широко применение и мог бы использоваться на Луне для кремниевых солнечных батарей и для термопар.

Мы уже отмечали, что другим распространенным металлом на Луне, вероятно, должно быть железо. Предположим, что нам пришлось конструировать термопару, одним из элементов которой является железо, а другим — кремний (для большей эффективности смешанный приблизительно с 6% алюминия), имеющую высоту около 10 м, ширину 1 м и толщину 1 см. Нагревание ее контакта до 1000° дало бы постоянный ток мощностью приблизительно 1 квт, т. е. разность потенциалов около 50 в. Постоянный ток при таком напряжении можно было бы использовать, например, для электролиза окиси магния и получать кислород в газообразном состоянии.

Разумеется, все эти установки смогут работать, только пока Солнце находится над горизонтом. Для того чтобы производственный процесс не прекращался в течение продолжительных лунных ночей, пришлось бы изобретать специальные аккумуляторы тепла. Возможно, для этой цели можно было бы использовать соответствующим образом изолированные плоско-пластинчатые коллекторы или скрытую теплоту твердых материалов, нагреваемых за день до высокой температуры, чему способствовало бы то обстоятельство, что потеря тепла телом, находящимся в вакууме, происходит практически только за счет излучения, большая часть энергии которого может быть возвращена соответствующими отражателями. Разумеется, проблема накопления энергии не возникла бы на полюсах Луны или вблизи них, где Солнце постоянно находится над горизонтом и никогда полностью не заходит.

Что касается жилищ для сотрудников лунной научно-исследовательской станции, то колебания температуры внутри любого сооружения (например, межпланетной ракеты), оказавшегося на Луне в условиях космического пространства, сильно зависят от отражательных и поглощающих свойств его поверхности. Несмотря на низкую температуру межпланетного пространства, солнечное излучение в дневное время даже на расстоянии 149 млн. км достаточно сильно, чтобы раскалить любое твердое тело, поглощающее энергию Солнца и не переизлучающее ее достаточно быстро. Обычно применяющиеся материалы могут вести себя совершенно по-разному. Например, алюминий хорошо поглощает и слабо излучает в инфракрасной части спектра. Так, ракета или космический корабль с оболочкой из алюминия под длительным воздействием солнечного света нагрелись бы до 350—400°. Космический корабль, покрытый белым лаком, напротив, отражал бы излучение настолько хорошо, что его температура стабилизировалась бы около 50°С ниже нуля. Разумеется, было бы возможно подобрать материал (или комбинацию материалов) таким образом, чтобы в дневное время поддерживалось удобное равновесие температур. Однако это равновесие может и нарушиться благодаря стремительному падению температуры ночью или если по какой-то причине сойдет слой белой краски и окажется незащищенной полированная поверхность алюминия. В этом случае обитатели космического корабля могли бы оказаться в печи.

Однако существует способ оградить людей от всякого риска, связанного с колебаниями температуры в течение дня или ночи. Для этого нужно поместить ракету (а лучше специально организованную лунную исследовательскую станцию) под верхний слой грунта или по крайней мере покрыть ее сверху приблизительно на 30 см лунной пылью или обломками поверхностных пород. Такое мероприятие служило бы двум чрезвычайно полезным целям. Оно защищало бы «подземные» помещения от случайных ударов небольших метеоритов и, кроме того, создало бы

почти идеальную тепловую изоляцию. Как уже отмечалось, теплопроводность лунной пыли достаточно мала, чтобы на глубине около 30 см обеспечить днем и ночью постоянную температуру. Господствующая там температура оказалась бы, пожалуй, слишком низкой (около —30°С), так что для нашего комфорта потребовалось бы отопление. Поэтому, помещая между нами и открытым пространством самое большее около 1 м пыли с высокими изоляционными свойствами, мы почти полностью избежали бы пагубного влияния жары в течение дня и смертельного холода лунных ночей. Однако эти меры следует принять почти немедленно после прибытия первой партии. Перспектива иметь дело с пылью, а не с камнем обрадовала бы тех, кому не по душе физические упражнения в непривычной среде, а слабое притяжение облегчило бы труд.

Кроме того, может быть, удастся использовать для строительства лунных баз некоторые свойства, присущие лунной поверхности. В данном случае наиболее привлекательны те из них, которые допускают существование лавовых течений. Действительно, имеются доказательства существования этих течений на Луне, а при помощи лучших фотографий их можно было бы обнаружить и больше. Так, базальтовые течения на Земле характеризуются так называемыми «лавовыми трубами». Эти трубы могут превращаться в длинные подземные пещеры, иногда с очень высокими стенками. По-видимому, если бы они оказались на Луне, то не требовалось бы слишком тонкого инженерного искусства, чтобы разделить их перегородками, превратив в жилые и рабочие помещения для исследовательской базы.

Если после всего сказанного у читателя не пропадет желание составить нам компанию и поселиться на воображаемой лунной базе, несмотря на все опасности и превратности судьбы, ожидающие ее обитателей, продолжим рассмотрение менее бескорыстных перспектив и возможного использования такой станции для обнаружения залежей полезных ископаемых. Мы уже упоминали о том, что лунная кора вряд ли

может содержать существенно более высокий процент таких дефицитных тяжелых элементов, как золото или уран, которые редки на Земле (и в космосе). Эти перспективы должны быть несколько более обнадеживающими в отношении легких металлов, например лития или бериллия, имеющих большое промышленное значение в металлургии и особенно в авиастроении. Однако эти надежды оправдываются только в том случае, если правильна точка зрения Юри, что Луна образовалась раньше Земли, и если в эпоху, относящуюся к предыстории Луны, лунное вещество меньше подвергалось воздействию господствующих в недрах звезд высоких температур, чем вещество, входящее в состав земной коры. Однако для реальной оценки планов на будущее следует надеяться, что на Луне как легкие, так и тяжелые элементы имеют почти то же относительное обилие, что и на Земле.

При таких перспективах будут ли космические разведчики полезных ископаемых непоколебимо пытаться отыскивать способы (хотя бы приблизительные) обнаружения лунных месторождений ценных руд по возможности до непосредственной экспедиции? Разумеется, при поверхностном залегании полезных ископаемых некоторые указания на их присутствие можно было бы получить, используя их специфические отражательные свойства или (как описано в предыдущей главе) изучая спектры люминесценции под действием солнечного корпускулярного излучения. Отметим, что теоретически рудные месторождения даже на некоторой глубине под лунной поверхностью можно было бы обнаружить с Земли с помощью радиотелескопов, работающих на достаточно длинных волнах. Чтобы «проникнуть» вглубь под поверхность, потребовались бы длинные волны, но, к сожалению, при этом происходит такая потеря разрешающей способности, что (пока не удастся разработать совершенно иные методы) для разведки на расстоянии 380 000 км потребовались бы радиотелескопы настолько больших размеров, что практически их невозможно создать.

Таким образом, если хотя бы часть таких изысканий на расстоянии и окажется выполнимой, то несомненно, что непосредственная практическая добыча руды и ее доставка потребовали бы присутствия на месте людей, управляющих механизмами. В свою очередь это потребовало бы создания и содержания на Луне укомплектованных людьми баз немалого размера. Предположим, что со временем это было бы выполнено. Но как быть с доставкой руды на Землю? По-видимому, на Луне связанные с этим вопросом трудности могут оказаться меньше, чем кажется на первый взгляд, поскольку относительно небольшие масса и размер Луны позволяют поднять груз с лунной поверхности до «уровня нулевой тяжести» между Луной и Землей. Для этого потребовалась бы энергия, чуть большая 3% того количества, которое требуется для доставки той же массы с Земли на Луну, так как фактически на протяжении почти 99% пути от Луны до Земли движение представляло бы собой свободное падение.

Разумеется, свободное падение с этого уровня означало бы «посадочную» скорость около 11 км/сек на границе земной атмосферы, но можно было бы полагать, что сопротивление воздуха на последнем этапе пути способно сильно замедлить движение. Как известно, сопротивление воздуха зависит главным образом от размера и массы падающих частиц, а также от их скорости. Большие камни проходили бы сквозь всю атмосферу, почти не уменьшая скорости, а их внезапная остановка при ударе образовала бы достаточно тепла, чтобы вся глыба полностью испарилась. С другой стороны, мелкая пыль может фактически задерживаться атмосферой до того, как она достигнет поверхности, и, прежде чем постепенно осесть на значительной части земного шара, она может довольно долго держаться в воздухе, подобно вулканической пыли после больших извержений.

Следовательно, при практической доставке лунного вещества на Землю его следует прежде всего распылить в порошок до оптимального размера, чтобы

сделать возможным достаточное атмосферное торможение перед ударом во избежание испарения при нагревании, хотя при этом следует учесть слишком большое рассеяние вещества. Измельченное таким образом вещество следует отправить (или «прослить») на Землю по «гравитационным трубопроводам», которые подчиняются неумолимым и точным законам небесной механики и поддерживаются (без надобности в ремонте) совместным притяжением Земли, Луны и Солнца. Траекторию движения вещества нужно рассчитывать так, чтобы его приземление произошло преимущественно в таких районах, как пустыни Сахара или Гоби (где ошибка попадания в цель, составляющая несколько километров, не причинила бы больших неудобств). Фактически весь этот процесс можно было бы рассматривать как гравитационный перенос залежей лунных руд к избранным районам Земли, где они могли бы разрабатываться технически более выгодными способами.

Однако будет ли этот способ когда-нибудь применен на практике? Против говорит то, что на Земле запасы любого элемента или сырья до сих пор огромны. Конечно, закон уменьшающегося восстановления в минералогических процессах имеет силу на всем земном шаре, и, поскольку залежи высокопроцентной руды уже использованы, приходится прибегать к эксплуатации менее выгодных месторождений. Оказывается, что покрывающие земной шар воды океанов содержат немного больше золота или урана в чрезвычайно слабом растворе, чем добывалось до сих пор где-либо на Земле из-под ее поверхности. Извлечение же этих (или других) редких элементов из морской воды, несмотря на дороговизну и нерентабельность, в настоящее время может оказаться гораздо более экономичным процессом, чем ввоз полезных ископаемых с Луны. Поэтому, если в один прекрасный день вы соблазнитесь акциями компании, организуемой для эксплуатации природных богатств Луны, вам следовало бы сначала обратиться за советом к хорошему специалисту, прежде чем вкладывать семейные сбережения в такое предприятие.

Конечно, помимо этих гипотетических возможностей, существуют другие, более реальные задачи космического путешествия, которые сделали бы попытку создания обитаемой базы на Луне не только желательной, но и чрезвычайно полезной, что мы постараемся показать. Нам представляется, что главной целью будет создание на Луне постоянной базы для наблюдательной *обсерватории* в космосе, которой не будет мешать никакая атмосфера. Чтобы ознакомиться с преимуществами, которые дала бы такая обсерватория, задержимся сначала на вопросе о том, что могли бы мы увидеть на Земле с Луны при помощи современных телескопов. Если посмотреть на Луну с Земли, в лучшем случае мы различаем объекты, линейные размеры которых не меньше 247—366 м. Этот предел создается не оптическими качествами наших телескопов, а определяется скорее атмосферными возмущениями. Эти так называемые «условия видимости» определяются главным образом турбулентным слоем воздуха на высоте нескольких километров над нашими головами. Рассматривая Землю с Луны, мы будем видеть ее сквозь этот же возмущающий слой. Однако в этом случае турбулентный воздух гораздо ближе к объекту наблюдения, а не к телескопу, в чем и состоит вся разница. Таким образом, с Луны при обычных условиях на Земле можно было бы увидеть объекты примерно в 4—5 раз меньшие, чем с Земли на Луне.

Экономическая польза такой базы могла бы заключаться, например, в том, что непрерывные наблюдения с постоянной лунной обсерватории помогли бы нам проследить многие важные стороны развития погоды над большими недоступными пространствами земного шара, такими, как Тихий океан или Антарктида, где отдельные метеорологические станции дают лишь отрывочные сведения. Здесь уместно упомянуть процесс развития и движения «теплых фронтов», так как их образование легко прослеживается по движению облаков. Только помощь в предсказании погоды вдоль западного побережья Тихого океана с его обширными плантациями от Британской Колумбии до

Южной Калифорнии, так часто попадающими во власть неожиданных холодных воздушных течений, имела бы большое экономическое значение.

Переведя свой взгляд (или объектив телескопа) от Земли к Солнцу и звездам, мы убедились бы, что лунная обсерватория для астрономов — поистине райское сновидение. Чтобы понять это, согласимся, что атмосферный океан, на дне которого нам почастливилось жить на Земле, хотя и выполняет многочисленные полезные функции и действительно необходим для нашей жизни, но для астрономов оказывается досадной помехой не столько потому, что он портит нам «видимость», сколько из-за того, что лишает нас большей части света, приходящего из внешнего пространства. Выражаясь точнее, наша атмосфера довольно прозрачна только в двух относительно узких (и совершенно разделенных) областях длин волн. Одна из них находится в оптической части спектра ($\lambda\lambda$ 2900—11 000 Å), ограниченной в ультрафиолетовом конце поглощением озона в верхней атмосфере (в основном на высоте 30—70 км над уровнем моря), а в инфракрасной области наложением полос поглощения водяного пара и углекислого газа, представляющих собой почти столь же эффективную преграду для света в интервале длин волн от нескольких мк и почти до 1 мм. Небесные тела снова становятся видимыми (или слышимыми) на радиоволнах от 300 000 до 300 Мгц. Но более низкие частоты опять-таки оказываются запрещенными благодаря отражению снаружи от земной ионосферы. За исключением этих двух довольно узких «окон», через которые мы видим внешнее пространство, одного — в оптической части спектра, а другого — в радиодиапазоне, все остальное излучение (т. е. его большая часть) со всеми заключенными в нем сведениями неизбежно «пожирается» нашей атмосферой. Кроме того, рассеяние солнечного света молекулами воздуха (и пылью) ограничивает эффективную видимость всех небесных тел только несколькими часами ночного времени.

Насколько иначе все было бы на Луне! У нашего спутника нет ощутимой атмосферы, поэтому звезды

были бы превосходно видны постоянно, независимо от того, находится Солнце выше или ниже горизонта, и, таким образом, ночи для астрономов длились бы непрерывно. Но самым существенным было бы то, что спектры всех небесных тел наблюдались бы без разрывов на всем протяжении от рентгеновских лучей до самых длинных радиоволн. В частности, в области спектра с высокой энергией (которую скрывает от нас поглощение озона) обнаружилась бы информация, представляющая огромный интерес астрономов и физиков. Невидимые с Земли различные процессы на Солнце, проявляющиеся в коротковолновом излучении, в значительной степени ответственны за те земные явления, которые объясняются влиянием Солнца. Сюда относятся явления такого практического значения, как условия прохождения через ионосферу и замирание радиоволн. Поэтому информация о многих небесных телах, которая могла бы поступать с лунной обсерватории, за короткое время произвела бы коренную ломку всех основ астрономической науки. В результате наши более счастливые коллеги в будущем могли бы рассматривать все знания, добросовестно собиравшиеся на Земле бесчисленными предыдущими поколениями, как предысторию своей науки!

Для физиков и инженеров поверхность Луны, кроме того, представляла бы собой лабораторию непревзойденных размеров с высоким вакуумом. Чтобы упомянуть хотя бы одно из наиболее важных приложений, для которых такая лаборатория оказалась бы неоценимой, рассмотрим мощные ускорители элементарных частиц и их роль в современной физике. Большая часть наших сведений о структуре и свойствах атомного ядра была получена в результате экспериментов с ускорителями, где производилась бомбардировка атомных ядер частицами высоких энергий и исследовались столкновения этих ядер с другими. Однако для проведения таких экспериментов во всей установке должен быть высокий вакуум, чтобы приоблетающие требуемую скорость частицы не теряли ее снова при столкновениях с атомами воздуха.

Трудности, возникающие при этом, можно оценить хотя бы по тому, что самые большие ядерные ускорители такого типа, недавно построенные вблизи Москвы, Женева и Брукхэвена, содержат высоковакуумные каналы, образующие кольцо диаметром около 1 км. Необходимость строгой герметичности установки и удаления из нее почти всех частиц представляет собой задачу трудную настолько, что она становится одним из основных факторов, ограничивающих возможность создания еще больших сооружений (например, способных сообщить частицам энергии выше 100 Бэв).

На Луне любую установку для расщепления атомного ядра можно было бы построить и запустить прямо под открытым небом. Кроме того, малое значение силы тяжести на поверхности облегчило бы монтаж сооружения и установку на место тяжелых частей, вес которых на Земле сильно затрудняет задачу. Например, магнит, весящий на Земле 50 000 т (его надо вмонтировать в установку особенно тщательно), на Луне весил бы только около 8000 т, т. е. оказался бы грузом, который значительно легче перемещать. Разве слишком невероятно предположение, что лунная научно-исследовательская лаборатория когда-нибудь будет располагать ускорителями, по сравнению с которыми покажутся карликами самые большие конструкции такого типа, осуществимые «у нас внизу»? И можем ли мы надеяться, что мощность подобных установок будет получена путем накопления и преобразования самого распространенного в природе вида энергии — солнечного света, который, не задерживаясь атмосферой, беспрепятственно достигает поверхности Луны в течение всего ее долгого дня?

Исследования частиц при помощи гигантских ускорителей являются всего только одним видом научной работы, которая могла бы когда-нибудь с успехом развиваться в лунных лабораториях. Другим видом научной работы могло бы стать изучение природы и свойств первичных космических лучей, происхождение которых представляет одну из самых больших

среди еще не разрешенных загадок вселенной, о которых на поверхности Земли можно получить лишь косвенную информацию (содержащуюся в основном во вторичном излучении, возникающем в результате столкновений между частицами первичных космических лучей и атомами нашей верхней атмосферы). Какова максимальная энергия первичных космических лучей и каков их химический состав? Являются ли в них тяжелые ядра более обильными в настоящее время, чем в звездах или межзвездной материи? Делаются попытки ответить на эти вопросы при помощи высотных ракет, оборудованных соответствующими приборами. Однако насколько полнее (и не сказать ли — надежнее?) были бы ответы, поступающие из лунных лабораторий, где физикам не пришлось бы считать драгоценные минуты, в течение которых их маленькие станции, движущиеся с большими скоростями, находятся над атмосферой.

Рассмотрим и те удобства, которые получили бы на Луне инженеры, работающие в области высоковакуумной электроники. Если в земных лабораториях необходимо провести опыт с вакуумной установкой, экспериментатору придется поместить прибор под стекло, герметически закрыть его и откачать воздух, затем в течение всей работы следить за показаниями барометра. Если же приходится что-либо изменять, то каждый раз нужно разбирать футляр, производить соответствующее изменение, затем прибор снова герметически закрывать и откачивать воздух. На Луне же высокий вакуум имеется в распоряжении повсюду (практически неограниченного порядка), и все эксперименты, требующие высокого вакуума, могли бы проводиться под открытым небом. Зато самого экспериментатора пришлось бы поместить в скафандр с постоянным давлением воздуха. Иначе нужен какой-то манипулятор с дистанционным управлением из «подземных» лабораторий.

Окажутся ли все эти возможности, а также многие другие мыслимые перспективы достаточно заманчивыми и стоят ли они затраты сил на их реализацию? К счастью, собственный ответ каждого из нас

потомкам, по-видимому, уже предрешен: крышка с нового ящика Пандоры снята, и возврата назад быть уже не может. Последние заявления правительств Соединенных Штатов Америки и Советского Союза убедили нас в том, что лунные ракеты, способные обеспечить благополучную посадку на Луне, находятся уже в стадии если не производства, то проектирования. Судя по тому, что осуществление этих проектов поддерживается всеми крупными специалистами, не ограниченными финансовыми средствами и национальным престижем двух великих держав нашей планеты, ракеты, несомненно, достигнут Луны уже в наше время. Наверное, первый человек, который ступит на ее поверхность, уже учился в начальной школе.

Некоторые считают, что выделяемые для этой цели большие денежные средства можно было бы затратить с большей пользой на развитие науки, в частности астрономии, на земных базах, чем на довольно рискованные попытки создания новых. Однако такая точка зрения едва ли может противостоять более детальному изучению этого вопроса. Она отражает лишь мнение отсталых людей. Разумеется, были времена, когда наша наука угасала из-за недостатка материальной поддержки, и открытия исторического значения нередко делали посвятившие себя науке любители, которые проводили исследования своими силами. Хотя новые идеи и результаты, от кого бы они ни исходили, вообще принимаются с энтузиазмом, но справедливо и то, что большинству действительно ценных исследований сейчас оказывается достаточная поддержка из тех или иных источников. Кроме того, значительно изменились сами потребности, так как развитие современной науки главным образом страдает не от недостатка денежных средств, а скорее от недостатка научного персонала и талантливых людей. Стихийно возникшая программа космических полетов, развивающаяся на наших глазах во многих направлениях, вряд ли является незамеченным благодеянием, поскольку постоянно требует так много научных сил, что другие разделы обширного фронта научного прогресса могут прийти к временному

застою. Хотя из истории науки известно много таких случаев, не имевших, впрочем, длительных неблагоприятных последствий, тем не менее ученым придется сделать собственный выбор той области науки, в которую они хотели бы внести свой основной научный вклад, тем более что в этом отношении им предоставляется полная свобода.

Подавляющее большинство ученых уже сделало свой выбор. Весьма вероятно, что в ближайшие десятилетия проблемы космических полетов и их романтика окажут огромное влияние на человеческое сознание и воображение, сравнимое, быть может, с тем влиянием, которое оказало за последнее двадцатилетие получение ядерной энергии. По-видимому, это сравнение уместно, так как начиная приблизительно с 1940 г. великие державы израсходовали огромные средства на выделение ядерной энергии, что не имеет прецедента в истории науки. Они сделали это весьма охотно, несмотря на то что эти огромные затраты принесли пока лишь весьма ограниченную материальную выгоду: атомные электростанции, вырабатывающие пока лишь ничтожную долю потребляемой человечеством энергии, и ядерное оружие, разрушительная сила которого ни у кого не вызывает сомнения (но даже его создатели открыто заявляют, что оно никогда не должно применяться).

Теперь приблизительно такие же суммы расходуются на исследование, связанные с подготовкой к межпланетному путешествию, и народы Земли будут охотно содействовать этому. Луна будет целью нашего первого путешествия, когда мы вырвемся из оков земного притяжения. В настоящее время расходы на исследование космоса равноценны стоимости продукции, вырабатываемой приблизительно в течение двадцати минут каждой американской рабочей недели, и, прежде чем мы достигнем Луны, они могут возрасти в 3—4 раза. При современной конъюнктуре человеческой истории как американский, так и советский народ стремятся осуществить свой рейс на Луну и за ее пределы, не считая нужным объединиться в этой работе. На вопрос о том, можно ли

предпочсть осуществление планов космических полетов спокойной жизни, пусть отвечают социологи, а не астрономы. Что же касается такого государства, как Соединенные Штаты Америки, то, по-видимому, оно находит более выгодным расходовать часть своих богатств на космос, а не увлекаться социальными экспериментами по проведению четырех- или трехдневной недели, возможно по некоторым, уже упоминавшимся в этой главе причинам. Однако сознание, что *существует Луна*, само по себе является вызовом и заставляет стремиться к беспримерному подвигу, в настоящее время для нас технически осуществимому. Такой подвиг может объединить все человечество в общем чувстве гордости, чему будет способствовать хотя бы временное ослабление разногласий, разъединяющих два главных на Земле союза проповедников космических полетов.

В свою очередь ученые приобретут более конкретные идеи и планы, которыми они охотно поделятся со всеми своими коллегами, живущими на Земле. Можно еще спорить о влиянии, которое окажет на прогресс науки организация на Луне научно-исследовательских станций. Однако один из наиболее поучительных уроков в истории науки состоит в том, что все значительные достижения чистой науки приобретают прикладное значение и все технические революции, неоднократно совершавшие переворот в развитии человеческой цивилизации, возникали в результате новых побед в области чистой науки. Действительно, вряд ли можно сомневаться в том, что подлинное золото новых знаний, постоянно поступающих из лунных лабораторий и наблюдательных пунктов, в силу его возможного влияния на технику с избытком перевесило бы все то вещественное золото, которое некогда увидели в Америке конквистадоры Нового Света, пришедшие с берегов Испании.

Если мы попытаемся заглянуть дальше в более отдаленное будущее, когда люди, возможно, смогут на некоторое время основать на Луне колонии, то какое чудо будет открыто? Возможно, это более чем праздный вопрос, потому что разве кому-нибудь

известно, можно ли в будущем (не обязательно слишком далеким) сделать Луну обитаемой, и сможет ли сохраниться жизнь в этой части солнечной системы.

Предположим, что кое-кому из людей будет суждено отправиться на Луну и жить на ней на протяжении смены нескольких поколений. Начнут ли они со временем отличаться в каком-либо отношении от оставшихся на Земле собратьев? Такая возможность была бы весьма любопытной, и хотя здесь не место распространяться по вопросу, который прежде всего относится к области биологии, по-видимому, об одной его стороне можно сказать с некоторой уверенностью — продолжительность жизни человека возрастает.

Оглядываясь назад на длительную эволюцию жизни на Земле от ее скромного зарождения полмиллиарда лет назад до современного уровня развития, мы не можем ни на одно мгновение сомневаться в том, что вершиной этого процесса является человеческий мозг. Поэтому все остальное имеет второстепенное значение. Все наши органы чувств — зрение, слух, обоняние и т. д. — легко уступают соответствующим органам чувств многих животных, находящихся на более низкой ступени эволюционной лестницы; эти органы безнадежно уступают и тем инструментам, которые мы сами можем создавать и совершенствовать. Наши руки и ноги сильно уступают конечностям многих животных, и их возможности ничтожны по сравнению с тем, что могут выполнять сделанные человеком машины. И все же одна часть нашего тела — мозг является подлинным чудом, единственно ответственным за доминирующее положение рода человеческого и за все наши достижения. Работа наших рук, скорость наших ног совершенно ничтожны по сравнению с машинами, придуманными человеческим мозгом, хотя все изобретенные до сих пор «механические мозги» безнадежно отстают от природы.

Человеческий мозг, заключенный в тесные границы нашего черепа, функционирует вследствие постоянного притока содержащей кислород крови, подающейся туда непрерывно благодаря деятельности сердца.

Без этого питания наш мозг не мог бы функционировать даже в течение нескольких секунд. Следовательно, циркуляция крови, которую день и ночь накачивает сердце, необходима для того, чтобы поддерживать деятельность мозга, но мало кто из нас знает, какое огромное напряжение требуется для этого. Человеческое сердце пропускает кровь со скоростью почти 1 литра в минуту. Это означает, что за время человеческой жизни средней продолжительности сердце накачивает свыше 4 млн. л жидкости, т. е. количество, достаточное для того, чтобы заполнить небольшое озеро. Постоянный подъем крови до высоты среднего роста стоящего человека представляет собой непрерывную борьбу с силой тяжести.

Нет ничего удивительного в том, что каждое человеческое сердце устает и отказывается от этой неравной борьбы. Наряду с большинством инфекционных болезней, с которыми в настоящее время ведется успешная борьба, болезни сердца являются (не считая неразгаданной тайны рака) главными убийцами людей, живущих под нависшей над ними угрозой смерти, несмотря на то что их умственные силы могут быть еще далеки от угасания. Еще хуже то, что задолго до конца нашей жизни постепенное ослабление утомленного сердца может приговорить многих из нас к полуинвалидности.

Этот процесс не только мучителен, но, даже с совершенно беспристрастной точки зрения, он приводит к явной убыли человечества и представляет собой одно из тех ограничений, которые заставляют природу продолжать постепенное совершенствование человеческого рода. В этом частном случае главный виновник установлен совершенно определенно — это сила тяжести Земли. К сожалению, на Земле мы не можем ничего предпринять против нее, но как будет на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше?

Возможно, мало кто задумывался над тем, насколько благоприятными стали бы условия жизни на Луне для тех, кто отправился бы туда после организации на ней первых поселений. Можно быть уверенным, что интенсивное солнечное излучение сделало

бы эти условия такими стерильными, о каких мог бы мечтать каждый врач. Ввиду того что весь необходимый для дыхания воздух пришлось бы создавать искусственным путем, кондиционирование воздуха могло бы достигнуть той степени совершенства, какую невозможно осуществить на Земле. Пища, защитная одежда и т. д. должны планироваться в соответствии с требованиями науки для того, чтобы сделать все необходимое для сохранения жизни, обставив ее всеми необходимыми удобствами. Но самое главное состоит в том, что значительное уменьшение силы тяжести сильно уменьшило бы физическое напряжение любой части нашего тела, включая сердце, и тем самым способствовало бы долголетию.

Если бы такие условия привели, что весьма вероятно, к увеличению средней продолжительности человеческой жизни, то мысль о проведении в жизни общества такой перемены могла бы заслужить большего внимания. Чтобы выяснить это, сравним лунные условия с основными особенностями нашего обычного земного существования. На достижение умственной зрелости нормальный человек тратит почти двадцать лет своей жизни. Последующие 30—40 лет можно назвать наиболее производительными, и после этого человек стареет в результате постепенного расстройства органов, обеспечивающих мозгу нормальные рабочие условия. В среднем производительный период человеческой жизни длится почти столько же лет, сколько их уходит на молодость вместе со старостью.

Однако предположим, что после достижения зрелости процесс старения мог бы замедлиться, например из-за уменьшения силы тяжести, вследствие чего производительный период увеличился бы, возможно, в 2—3 раза. Какое огромное значение это имело бы для каждого человека и каких вершин умственной деятельности можно было бы достичь путем медленного и непрерывного накопления опыта и мудрости! Не случится ли так, что такая долговечная раса в своем развитии обгонит нас, недолговечных земных тружеников, в период расцвета умственной деятельности страдающих под постоянным игом тяжести,

создающей ускорение $9,8 \text{ м/сек}$, и не поступят ли они поэтому со временем с нами так же, как поступаем мы в отношении других земных существ, стоящих на более низком уровне развития?

Многие из вас, может быть, помнят рассказ «Потерянный горизонт», где покойный Джемс Хилтон описывает общество долговечной расы мудрецов в Шангри-Ла — уединенном возвышенном уголке земного шара. Разве невероятно, что его предвидение со временем, быть может, станет реальностью, если не на Земле, то на поверхности нашего ближайшего космического соседа? Разумеется, ответ пока скрыт в отдаленном будущем, а любая попытка предвидеть его была бы связана с не открытым еще чудом, уже упоминавшимся в этой главе, который теряется пока в тумане неизвестного.

Итак, мы заканчиваем наше повествование и эту книгу. Мы прощаемся с ее содержанием, потому что пора подумать снова о Земле и приготовиться к нашим обыденным земным заботам. Вероятно, восхитившая в начале нашего рассказа Луна уже зашла и мрак опустился на ледяное озеро звезд. Как только первые проблески зари возвестят о наступлении нового дня и задолго до этого появятся благодатные лучи Солнца, пробуждая погруженный в сон мир, высоко над нашими головами сверкающие струи, возможно, уже начнут чертить на темно-голубом небе планы будущего. Это следы реактивных самолетов — предвестников космических кораблей, которые, быть может, в один прекрасный день доставят нас на Луну. Они символизируют наступление иной эпохи для работы и мышления, и это поможет нам постепенно приблизиться к намеченным целям. Как долго нам придется ждать, покажет только будущее. Некоторые из исходных предположений последнего раздела нашего повествования могут оказаться ошибочными, хотя совершенно невероятно, чтобы все они были беспочвенными.

Книга З. Копала вышла в свет в 1960 г. И хотя Луна — один из наименее изменчивых объектов, известных астрономам, в наших знаниях о Луне произошли за это время значительные перемены.

Прежде всего необходимо отметить, что данные радиоастрономии, полученные за последние годы (и особенно группой В. С. Троицкого), заставляют считать, что поверхность Луны покрыта не пылью, как пишет З. Копал, но скорее некой пемзообразной породой с плотностью, гораздо меньшей плотности воды, и теплопроводностью, в десятки раз меньшей теплопроводности плотных земных пород. Возможно, эта пористая структура простирается до глубины 10—20 м. Наличие на Луне такого шлаковидного порога уже давно предсказывалось на основании фотометрических исследований лунной поверхности. В частности, гипотеза о шлаковом покрове была выдвинута Н. Н. Сытинской и активно поддержана проф. В. В. Шароновым и акад. АН УССР Н. П. Бабашовым.

Нужно, однако, сказать, что радиоастрономические данные, в силу малой разрешающей способности радиотелескопов, относятся к крупным участкам поверхности Луны, порядка десятой доли ее поперечника. Таким образом, это «средние величины», мало что говорящие о разнообразии условий, с которыми придется столкнуться человеку на поверхности Луны.

В последние годы появились также существенные работы о природе недр Луны (отметим среди них работы самого З. Копала, д-ра физ.-мат. наук Б. Ю. Лена с сотрудниками и д-ра физ.-мат. наук В. С. Троицкого с сотрудниками). Вкратце дело сводится к тому, о чем вопрос перестал быть столь простым и ясным, каким он был в 1959 г., когда писалась эта книга, однозначного решения его в настоящее время, пожалуй, нет.

Проведенные в Советском Союзе расчеты движения автоматической межпланетной станции, сфотографировавшей Луну 7 октября 1959 г., показали, что под влиянием гравитационного воздействия Земли и

Солнца станция должна была сравнительно быстро войти в плотные слои земной атмосферы (см. сб. «Станции в космосе», Изд. АН СССР, 1960) и погибнуть в них задолго до 1967 г., о котором пишет З. Копал.

Следует, вероятно, сделать еще два замечания. Обсуждая возможные источники появления паров углерода на Луне, Копал пишет, что предположение об образовании углерода в результате разложения углеводородов может привести к коренному пересмотру теорий происхождения нефти на Земле. При этом имеется в виду органическая теория происхождения нефти. В настоящее время среди «земных» геологов получила значительное распространение неорганическая теория происхождения нефти, не связывающая образование нефти с деятельностью микроорганизмов. В то же время в свете новых данных биологии, указывающих на чрезвычайно широкое распространение живых существ, способных переносить, казалось бы, совершенно непригодные для жизни условия, представляется излишне определенным высказывание З. Копала об абсолютном отсутствии жизни на Луне. Скорее следовало бы говорить о малой ее вероятности и бедности форм.

Очень интересна последняя глава книги З. Копала о высадке человека на Луне. Не совсем здесь можно легко согласиться (например, кажутся сомнительными соображения о долговечной лунной человеческой расе), однако мысли, высказываемые автором, свежи и ярко рисуют перспективы, открывающиеся перед человечеством.

Разумеется, прогресс в освоении Луны и космического пространства значительно ускорится, если будут созданы условия для объединения усилий различных государств, и в первую очередь СССР и США.

Г. Добряков

Июль 1963 г.

З. Копал

ЛУНА

Редактор В. С. Бассоло

Художник Б. И. Фомин

Художественный редактор

Е. И. Подмарькова

Технический редактор Л. М. Харьковская

Корректор В. С. Соколов

Сдано в производство 7/V 1963 г.

Подписано к печати 23/X 1963 г.

Бумага 84×108¹/₃₂=2,5 бум. л.

8,0 печ. л., в т/ч. вкл. 9

Уч.-изд. л. 7,5 Изд. № 27/1607

Цена 29 к. Зак. 1399

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва, 1-й Рижский пер., 2

Типография № 2 им. Евг. Соколовой
УЦБ и ПП Ленсовнархоза Ленинград,
Измайловский пр., 29.