

*Н. Н. СЫТИНСКАЯ*

**ПРИРОДА  
ЛУНЫ**

Н. Н. СЫТИНСКАЯ

# ПРИРОДА ЛУНЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1959

*Сытинская Надежда Николаевна*

Природа луны

Редактор *И. Е. Рахлин*.

Техн. редактор *Е. А. Ермакова*. Корректор *З. В. Моисеева*.

Сдано в набор 24/III 1959 г. Подписано к печати 23/VI. Бумага 84×108<sub>32</sub>.  
Физ. печ. л. 5,5+2 вкладки и одна вклейка. Условн. печ. л. 9,52. Уч.-изд. л. 9,91.  
Тираж 20 000 экз. Т-07331. Цена книги 4 р. 25 к. Заказ 2983.

Государственное издательство физико-математической литературы,  
Москва, Б-71, Ленинский проспект, 15.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова  
Московского городского Совнархоза. Москва, Ж-54, Валовая, 28.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Введение . . . . .	5
§ 1. Луна—первая станция на пути в космос . . . . .	5
§ 2. Луна в человеческом обиходе . . . . .	12
Глава II. Луна как небесное тело . . . . .	18
§ 3. Видимое движение Луны по небу. . . . .	18
§ 4. Фазы Луны . . . . .	21
§ 5. Движение Луны и его неравенства . . . . .	29
§ 6. Суточный путь Луны в разные сезоны . . . . .	36
§ 7. Размеры, масса и плотность лунного шара . . . . .	41
§ 8. Вращение Луны и ее либрация . . . . .	48
§ 9. Лунные затмения . . . . .	53
§ 10. Влияние земной атмосферы на картину лунного затмения . . . . .	62
Глава III. Топография Луны . . . . .	70
§ 11. Темные пятна лунных морей . . . . .	70
§ 12. Горные хребты, пики и валы . . . . .	75
§ 13. Кольцевые горы . . . . .	82
§ 14. Борозды, трещины, светлые лучи и нимбы . . . . .	90
§ 15. Высота лунных гор . . . . .	95
§ 16. Карты и атласы лунной поверхности . . . . .	100
§ 17. История поверхности Луны . . . . .	104
Глава IV. Физика лунной поверхности . . . . .	117
§ 18. «Белизна» Луны . . . . .	117
§ 19. Фотометрия отдельных участков на Луне . . . . .	123
§ 20. Отражение света от лунной поверхности и его особенности . . . . .	128
§ 21. Окраска лунных пейзажей . . . . .	137
§ 22. Поляризация лунного света . . . . .	141
§ 23. Люминесценция лунной поверхности . . . . .	146
§ 24. Температура лунной поверхности . . . . .	150
§ 25. Проблема лунной атмосферы . . . . .	156
§ 26. Чем покрыта Луна? . . . . .	160
Заключение . . . . .	167
Приложение . . . . .	172

## ГЛАВА I ВВЕДЕНИЕ

### § 1. Луна — первая станция на пути в космос

Весь мир с восхищением следил за тем выдающимся успехом астронавтики, которым начался 1959 год: 2 января 1959 г. запущенная в СССР космическая ракета успешно вышла за пределы земной атмосферы, менее чем за двое суток — за 34 часа — пролетела расстояние до Луны, пройдя от лунного шара на расстоянии около 5000—6000 км, и отправилась в дальнейшее космическое путешествие. В солнечной системе появилась новая искусственно созданная планета, совершающая оборот вокруг Солнца примерно за 450 суток, или 15 месяцев.

Полет на Луну! О нем мечтали века и даже тысячелетия. Его фантастические описания можно найти уже в произведениях писателей античной древности.

Так, греческий писатель Лукиан, живший более двух тысяч лет назад, описал чудесное путешествие на корабле, который был подхвачен сильной бурей и, в конце концов, выброшен на Луну. Луна оказалась серебряным круглым островом, плавающим в синем небесном океане, и населенным странными обитателями, из которых одни летали, сидя на огромных трехголовых птицах, а другие скакали на гигантских блохах.

Подобным фантазиям и грезам, связанным с достижением Луны и тем воображаемым миром, который находят там попавшие с Земли люди, посвящали свои произведения и многие другие ученые, писатели, поэты. Этим занимался, в частности, Кеплер, который в своем сочинении «Астрономический сон», написанном в 1620 г., наряду с весьма серьезными и вполне научными рассуждениями о виде и дви-

жении небесного свода на Луне, приводит различные забавные выдумки о жителях, гнездящихся в глубоких пещерах и питающихся животными.

По описанию французского поэта XVII в. Сирано де-Бержерака лунные жители ходят вверх ногами, не разговаривают, а поют, питаются запахами и расплачиваются вместо денег стихами.

По мере развития науки — механики, с одной стороны, и астрономии, с другой, — описания путешествий на Луну начинают приобретать уже научный характер, включать в себя элементы реализма, возможных, а не чисто вымышленных явлений и ситуаций. Это относится, например, к роману Уэллса «Первые люди на Луне» и особенно к двум романам Жюль Верна: «С Земли на Луну» и «Вокруг Луны».

Однако все это было лишь отражением в литературе той идеи, которая жила в человеческих умах с незапамятных времен: достигнуть Луны. Практическое же осуществление такой задачи этим вперед, конечно, не продвигалось. Для этого недостаточно было ни остроумной фантастики, ни талантливых, но крайне общих предвидений. Здесь нужна была настоящая наука, наука о передвижении в космическом пространстве, словом, та наука, которую мы теперь называем *астронавтикой* или *звездоплаванием*.

Как известно, конечно, нашим читателям, временем зарождения этой науки был конец XIX и начало XX в., местом зарождения — глухой тогда российский город Калуга. Именно там в 1903 г. вышло в свет первое научное сочинение по теории межпланетного полета, носившее название: «Исследование мировых пространств реактивными приборами» и написанное скромным учителем и вместе с тем гениальным по силе мысли человеком — Константином Эдуардовичем Циолковским. В ней автор предлагал использовать для полета на Луну и другие миры межпланетный корабль, устроенный в виде гигантской управляемой ракеты.

Тогда этот проект многим казался чистой фантастикой: ведь в те времена даже техника полетов в атмосфере еще находилась в зачаточном состоянии. Воздухоплавание ограничивалось полетами на воздушных шарах, переносившихся ветрами в ту или иную сторону независимо от намерений воздухоплавателя. Попытки создать управляемый аэростат с двигателем и винтом были еще мало удачны, а в области самолетостроения имелся только первый

замечательный опыт русского изобретателя А. Ф. Можайского.

Казалось бы, где уж тут мечтать о полетах к иным мирам! Ведь расстояния до них колоссальны и даже ближайшее к нам космическое тело — Луна — отстоит от Земли на 384 000 км. Кроме того, преградой на пути к звездам вставало безвоздушное мировое пространство. В нем нет опоры, а потому, казалось бы, невозможно ни удержаться, ни двинуться вперед.

Полеты в атмосфере основаны на использовании воздуха как опоры. И птицы, и воздушный шар, и самолет удерживаются на соответствующей высоте, как бы «опираясь» на воздух. Не будь его — и самый лучший самолет камнем упадет вниз, на землю. Не ясно ли, говорили скептики, что достижение человеком иных миров — только сказка, увлекательная фантазия, пригодная лишь в качестве темы для приключенческого романа, но отнюдь не для серьезных технических проектов?

Но гениальная прозорливость калужского мечтателя в том и состояла, что он указал единственную возможность овладеть межпланетным пространством, которую дает человечеству принцип реактивного движения. На нем, в частности, работает и давно известная ракета. В течение многих веков ею пользовались и как средством развлечения, и как оружием на войне.

Отчего же движется ракета? Не потому ли, что струей горящих газов она отталкивается сначала от земной поверхности, а потом от воздуха? Нет, это не так! Ракета отталкивается не от земли и не от воздуха, а от своего собственного газа, мощной струей выбрасываемого из ее открытого конца. Это и есть принцип реактивного движения, движения за счет хорошо знакомого каждому стрелку явления отдачи.

Воздух не только не помогает движению ракеты, но, напротив, мешает ему. Создавая сопротивление, он тормозит ракету, снижает ее скорость. Поэтому в безвоздушном пространстве ракета будет двигаться даже более успешно, чем в атмосфере.

Мы знаем, что в царской России Циолковскому было отказано и в признании, и в помощи. Но этот великий мыслитель умел смотреть далеко вперед. Опережая свое время, он писал: «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко

проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет себе все околосолнечное пространство».

Прошли годы, и принцип реактивного движения прочно вошел в обиход техники. Всем знакомы реактивные самолеты, представляющие собою сочетание крылатого аэроплана с ракетой. В грозные годы Великой Отечественной войны наши славные гвардейцы громили врага из реактивных минометов, получивших прозвище «Катюши».

Огромные современные ракеты, вес которых доходит до 12—14 т, регулярно поднимаются в атмосферу до высоты в несколько сотен километров. Много ценных научных наблюдений и исследований было выполнено в связи с этими высотными подъемами, в особенности в период Международного геофизического года.

У ракеты, рассчитанной на достижение таких высот, большую часть веса (80—90%) составляет горючее вещество, которое сгорает очень быстро, за какие-нибудь 1—2 минуты. Это краткое, но мощное извержение газов и обеспечивает ракете тот импульс, который выбрасывает ее в самые верхние разреженные слои земной атмосферы: в стратосферу и ионосферу. Но высота даже в 500 км совершенно ничтожна по сравнению с теми безбрежными далями, которые открывает нам космическое пространство. Как же можно использовать ракету для изучения Луны?

Тут следует обратиться к тем особенностям, которые присущи астронавтике — искусству перелетов с одной планеты на другую. Теоретические расчеты возможных маршрутов межпланетных путешествий сделаны уже давно и потому принципы их разработки вполне ясны.

Всякий снаряд, предназначенный для передвижения в пределах Земли — паровоз, пароход, автомашина, самолет, — идет вперед до тех пор, пока работает его двигатель. Заглох мотор и машина встала. Иначе будут осуществляться космические рейсы. Всякий межпланетный корабль будет прежде всего самостоятельным космическим телом. Он будет с огромной скоростью мчаться в пространстве, двигаясь одновременно по инерции и под воздействием притяжения Земли, Луны, Солнца и других космических тел. Его путь, как правило, не будет прямым. «Дороги» в межпланетном пространстве — это кривые линии: эллипсы, параболы, гиперболы. Словом, это те космические орбиты, по которым движутся планеты, кометы и метеорные тела.

Недолгая работа ракетного двигателя будет служить только для того, чтобы запустить межпланетный корабль по нужной орбите, придав ему нужную скорость и надлежащее направление. Весь дальнейший полет будет происходить при выключенном двигателе, за счет инерции и притяжения различных небесных светил. Включая двигатель ракеты на короткое время, водитель межпланетного корабля сможет переходить с одной орбиты на другую и этим управлять полетом, придерживаясь курса, заранее рассчитанного астрономами.

Началом реализации идей Циолковского на практике был запуск 4 октября 1957 г. первого советского искусственного спутника Земли. Это величайшее научное достижение нашей эпохи стало возможным благодаря тем исключительным высотам, которых одновременно достигли в стране социализма и наука, и техника, и экономика.

Семилетний план развития народного хозяйства СССР — это небывалый еще в истории развития человечества рывок вперед, это достижение новых вершин во всех областях человеческой деятельности. И вполне закономерно, что в тезисах доклада тов. Н. С. Хрущева на XXI съезде КПСС в числе великих проявлений прогресса нашей страны упоминаются и успехи астронавтики:

«Запуском первого советского искусственного спутника Земли открылась новая эра истории человечества — эра освоения космического пространства; запущены второй и третий спутники Земли, проводится подготовка к полетам на небесные тела».

Три советских искусственных спутника — это три ступени вверх на пути к решению проблемы межпланетных перелетов. Они знаменуют собою прежде всего гигантские успехи в деле техники ракетного летания, но попутно было решено громадное количество других задач первостепенной важности. Все это вместе и привело к осуществлению в январе 1959 г. первого настоящего межпланетного полета ракеты, богато снабженной разнообразным научным оборудованием. Таким образом, тысячелетняя мечта стала фактом. Предмет, умно и тонко спроектированный земными конструкторами и построенный на земных заводах, перестал быть частью той планеты, где он был создан. Он гордо и независимо несется в просторах мирового пространства рядом с небесными телами, созданными естественными силами природы миллиарды лет назад.

В чем же основная техническая трудность, которую преодолели советские ученые, инженеры и рабочие?

Как известно из механики, тело, брошенное вверх, под действием силы тяжести возвращается обратно и падает на Землю. Но так будет лишь в том случае, если начальная скорость его движения не слишком велика и не превышает  $8 \text{ км/сек}$ . Этот предел —  $7,9 \text{ км/сек}$  — носит в науке название *первой астронавтической или круговой скорости*. Если он достигнут, то предмет на Землю не упадет, а станет обращаться вокруг земного шара, подобно Луне. Иными словами, он превратится в спутника Земли. Великий триумф, выпавший на долю советской науки и техники 4 октября 1957 г., когда вышел на орбиту первый искусственный спутник Земли, в том и состоял, что этому спутнику была сообщена скорость около  $8 \text{ км/сек}$ .

Но при такой скорости тело, не падая на Землю, все же остается связанным с нашей планетой. Обращаясь вокруг земного шара, оно тем самым подчиняется земному притяжению и потому совсем покинуть Землю не может. Для того чтобы полностью освободиться от земного притяжения и совершить перелет на какую-нибудь другую планету, нужна еще большая скорость, а именно,  $11,2 \text{ км/сек}$ . Такую скорость называют *второй астронавтической скоростью*, «скоростью убегания», «критической скоростью» и еще «параболической скоростью». Ее значение известно давно, и все проекты межпланетных перелетов, начиная с описанного в романе Жюль Верна «С Земли на Луну», были основаны на том, чтобы ее достигнуть. Было выполнено множество математических и астрономических исследований, касающихся возможных маршрутов для путешествий с такими скоростями, было выдвинуто немало остроумных проектов для технического оформления этого дела.

Но реализовать все это на практике человеку удалось только 2 января 1959 г., когда первая настоящая межпланетная ракета, получив начальную скорость более второй астронавтической скорости, вышла на космическую орбиту. Пройдя от Луны на небольшом сравнительно расстоянии, в  $1\frac{1}{2}$  поперечника лунного шара, ракета проследовала дальше в просторы солнечной системы. Сейчас, озаренная солнечными лучами, она мчится где-то очень далеко и от Земли, и от Луны. Освободившись от плена земного притяжения, она осталась, однако, «подданной» Солнца. Теперь наша ракета — это самостоятельная планета,

член солнечной системы, вполне равноправный с земным шаром.

Что же дает науке этот замечательный эксперимент?

Проникнуть за пределы земной атмосферы и вступить в непосредственный контакт с безвоздушным мировым пространством — это давнишняя мечта ученых. Сейчас она осуществилась. По линии Земля — Луна проследовала целая космическая обсерватория. Расположенные на ней приборы позволили с различных точек зрения изучить, как бы «прощупать» пространство, которое и между планетами далеко не является пустым. В нем содержатся отдельные молекулы газа, выбрасываемые Солнцем частички-корпускулы, метеорные тела разных размеров, начиная с громадных глыб и кончая мельчайшими пылинками. Кроме того, пространство всюду пронизано всевозможными лучами, поступающими как от Солнца, так и из глубин нашей звездной системы — Галактики. Сведения обо всем этом были зарегистрированы расположенными на ракете приборами-автоматами и при помощи специальных радиосигналов переданы на Землю. Находясь некоторое время совсем близко от Луны, приборы ракеты смогли получить и передать нам ценную информацию о природе нашего спутника.

Однако главное в том, что эта первая межпланетная ракета проложила дорогу следующим космическим кораблям. Изумительные достижения советской ракетной техники, позволившие создать первую межпланетную ракету, открыли путь к дальнейшему развитию астронавтики. За первой межпланетной ракетой последуют другие, более совершенные. Они позволят изучать Луну с близких расстояний самыми разнообразными способами, вплоть до посадки ракеты на лунную поверхность и передачи на Землю выполненных там наблюдений и измерений при помощи радиосигналов. И, наконец, настанет время, когда на поверхность Луны вступит первая научная экспедиция.

Прямое изучение Луны — это уже не мечта и не фантастика. Это вполне конкретная задача нашей эпохи. Понятно, что в связи с этим и сама Луна привлекает к себе всеобщее внимание, а ее изучение, которое еще не так давно считалось проблемой скорее теоретического, нежели практического профиля, приобрело большую актуальность. Его результатам и будет посвящена эта книга.

## § 2. Луна в человеческом обиходе

Луна — ближайшее к нам небесное тело, и уже невооруженным глазом на ее крупном диске видно довольно много подробностей. Будучи единственным светилом, для которого без помощи телескопа можно наблюдать смену фаз и некоторые детали поверхности, Луна, естественно, привлекала и привлекает к себе внимание каждого человека.

С незапамятных времен люди вглядывались в бледный диск ночного светила, следили за его суточным движением по небу и последовательным перемещением по фону созвездий, дивились изменениям его очертаний, пытались найти этому причины. Но сделать это древним людям не удавалось, и Луна с ее причудливыми переменами оставалась для них загадкой. Можно смело сказать, что ни с каким другим светилом не было связано такого множества легенд, мифов и религиозных суеверий, как с Луной. С ее слабым светом связывали сказки о призраках, привидениях и других ночных чудесах, при нем полагалось выполнять многие формы гаданий и магических действий. Луне приписывали самые невероятные воздействия на природу Земли и дела человечества. Она якобы влияла на разрушение старинных зданий, созревание сыра, рост волос у человека и психику больных так называемым сомнамбулизмом — болезнью, при которой человек в бессознательном состоянии бродит по ночам. Страдающих этой болезнью еще и теперь иногда неправильно называют «лунатиками».

Далеко не последнее место занимала Луна и в официальных государственных религиях. Культ Луны входил во многие верования древности, мусульманство избрало лунный серп своей эмблемой, в христианских религиях по фазам Луны определяется день главного праздника — «воскресения христового», или пасхи.

Столь большая роль Луны в миропонимании народов древности в конечном счете выражает большое значение Луны в практической жизни человека. Лунный свет достаточно ярък, чтобы заметно улучшить видимость предметов окружающего ландшафта по сравнению с темной ночью. Даже в наше время его принимают в расчет при планировании боевых операций в условиях обязательного для военного времени затемнения. Тем больше была роль лунного света в древности, когда к искусственному освещению

почти не прибегали. Возможности ночной охоты и рыбной ловли, ночных переходов по пустыне или внезапного нападения на враждебные племена — все это во многом зависело от появления Луны на небе, поскольку лунный свет помогал осуществлению одних намерений и мешал другим.

В истории культуры очень велика роль Луны как средства счета времени. Заметно меняя свои очертания изо дня в день, лунный диск давал возможность наглядно отмечать счет дней, позволяя тем самым назначать праздники, походы, общие работы и другие коллективные мероприятия на всем понятные дни определенных лунных фаз. Таким образом на протяжении тысячелетий Луна служила первобытному человеку естественным небесным календарем. Понятно, что и первые научно разработанные системы календаря древности и даже средних веков должны были сохранить эту старую традицию и включить в свой обиход в качестве одной из единиц измерения времени лунный месяц. Этот последний служит основой существующего до сих пор в обиходе некоторых народов мусульманского календаря с его лунными годами, составленными из 12 лунных месяцев каждый и потому содержащими 354 или 355 суток вместо 365. Даже тот календарь, которым пользуемся мы в своей жизни теперь, будучи с Луной формально не связан, сохраняет все же в качестве пережитка счет времени по месяцам и семидневную неделю, что является наследием древних лунных календарей.

По мере развития научной астрономии понемногу выяснялась космическая роль Луны как небесного тела и как спутника Земли. Уже геоцентрическая система мира рассматривала Луну как светило, обращающееся вокруг Земли в месячный срок, что в этой ошибочной системе было единственным правильным положением. Вместе с тем становилось ясным большое значение исследования Луны не только для установления ее собственной природы, но и для познания вселенной вообще, а также (и это особенно важно) для изучения Земли.

Еще в эпоху Аристотеля круговая форма земной тени, видимой на диске Луны при лунном затмении, считалась основным аргументом в пользу мнения о шарообразной форме Земли. Необходимость прибегать к наблюдениям лунных затмений для решения вопроса о фигуре Земли давно отошла в прошлое, однако наблюдения лунных



затмений и в наше время остаются важным методом изучения природы нашей планеты. Измерения яркости лунного диска, проходящего через тень или полутень Земли, дают нам возможность изучать условия преломления солнечных лучей в верхних слоях земной атмосферы и на основании этого делать суждения об их физическом состоянии и химическом составе. Точно так же измерения пепельного света на освещенной лучами Земли части лунной поверхности дают возможность находить интенсивность и окраску света, отражаемого Землей в межпланетное пространство.

С давних времен Луна использовалась в геодезии для определения географических долгот по так называемому методу лунных расстояний. Внедрение телеграфа и особенно радио позволило этот неточный метод сдать в архив. Зато в современной геодезии выдвигается проблема измерения расстояний очень удаленных пунктов путем точных фиксаций моментов покрытий звезд Луною, осуществляемых при помощи автоматических фотоэлектрических приборов. Особенно велика роль Луны в тонком деле исследования очень небольшой неравномерности вращения Земли вокруг оси.

Говоря о значении Луны для решения различных задач астрономии, нельзя забывать о солнечных затмениях, во время которых Луна играет роль экрана, заслоняющего ослепительный солнечный диск и позволяющего нам исследовать внешние оболочки Солнца и в том числе солнечную корону. Много неиспользованных возможностей таит в себе и такое явление, как покрытие Луною звезды. Наблюдение этих явлений в принципе может позволить определить диаметры звезд, распределение яркости по диску звезды и многое другое.

Совершенно неожиданные пути использования и исследования Луны открываются в связи с развитием радиоастрономии. Лунная поверхность дает собственное радиоизлучение в области сантиметровых радиоволн, которое, несмотря на его слабость, уже обнаружено и успешно используется советскими и зарубежными исследователями для суждений о природе лунной поверхности. Кроме того, Луна отражает к нам радиоизлучение Солнца, чем можно воспользоваться для регистрации интенсивности солнечного радиоизлучения в ночное время. Наконец, в 1946 г. удалось осуществить замечательный эксперимент, идея которого принадлежит советским ученым Л. И. Ман-

дельштаму и Н. Д. Папалекси, а именно, отправив сигнал мощной радиолокационной установки на Луну, получить на Земле его отражение. Это был первый случай радиолокации другого небесного тела, открывающий в будущем путь для совсем нового метода исследования тел солнечной системы — радиолокационной астрономии.

До сих пор мы говорили о значении Луны как средства научного исследования. Но Луна благодаря своей близости к Земле оказывает на нашу планету целый ряд физических воздействий, исследование которых само по себе составляет серьезную научную проблему.

С незапамятных времен известно явление приливов и отливов в океанах, которое вызывается отчасти притяжением Солнца, но главным образом возмущающим влиянием Луны на поверхность земных океанов. Теория этих явлений, основы которой были даны еще Ньютоном, в настоящее время разработана весьма подробно и позволяет с необходимой точностью предвычислять и публиковать в форме специальных календарей уровень воды на каждый час каждого дня для любого пункта морского побережья. Значение этого дела для практических нужд навигации очевидно.

Деформации, аналогичные морским приливам, происходят и в твердом теле Земли. Их изучение представляет большой интерес для геофизики, в частности, для решения трудной проблемы внутреннего строения земного шара. Конечно, приливы должны происходить и в газовой оболочке Земли. Однако теоретическое исследование вопроса показывает, что их воздействие на происходящие в атмосфере процессы совершенно ничтожно, чем опровергаются как широко распространенные народные приметы о существующем будто бы влиянии фаз Луны на погоду, так и появляющиеся время от времени «научные» теории по этому вопросу.

Техника построила установки, использующие силу морских приливов и отливов для промышленных целей. Поскольку энергия приливов и отливов не может создаваться «из ничего», она, очевидно, черпается из окружающей природы. Легко понять, что ее источником является энергия вращения земного шара вокруг оси, происходящего по инерции. Благодаря приливам и отливам эта энергия расходуется на трение воды морей и океанов о берега, удары волн и тому подобные явления. Непре-

рывный расход энергии должен вести к постепенному замедлению вращения Земли и к увеличению продолжительности суток, которое согласно сделанным подсчетам должно быть около 0,001 секунды в столетие. Здесь мы встречаемся уже с воздействиями Луны, имеющими космогонический характер. Очевидно, что, продолжаясь достаточно долгое время, этот процесс замедления вращения Земли должен привести к тому, что сутки по длительности сравняются с месяцем. Наглядной иллюстрацией такого конечного состояния служит сама Луна; поскольку для нее этот процесс уже завершился, она всегда остается повернутой к Земле одним и тем же полушарием. Правда, нам еще далеко не ясно, в чем состоял механизм торможения для лишенной океанов Луны. Следует также иметь в виду, что в силу своего рода реакции явление приливов увеличивает и продолжительность месяца. Согласно расчетам Джорджа Дарвина конечным итогом приливной эволюции системы Земля — Луна будет такое состояние, при котором земные сутки и лунный месяц станут равными примерно двум теперешним месяцам.

Приливное торможение земного шара представляет собой только одну из ряда космогонических проблем, связанных с Луной. Таких проблем можно назвать много. Сам вопрос о происхождении Луны тесно связан с вопросом об эволюции земного шара. Представляет ли собою Луна часть массы нашей планеты, когда-то отделившуюся в силу тех или иных процессов, как это утверждают некоторые старые космогонические гипотезы? Или же Луна является совсем чуждым телом, при каких-то обстоятельствах встреченным нашей планетой и захваченным ею? Или, наконец, Земля и Луна возникли хотя и независимо, но одновременно и рядом друг с другом из одного общего материала, как это вытекает из новейшей космогонической теории О. Ю. Шмидта? Понятно, что решение всех этих вопросов представляет огромный интерес не только для познания самой Луны, но и для изучения истории нашей собственной планеты.

К числу проявлений гравитационного воздействия Луны на Землю относятся также прецессия и нутация — явления, состоящие в изменении направления оси вращения земного шара и соответствующего перемещения небесного полюса по фону созвездий. Они вызываются возмущающим влиянием притяжения Солнца и Луны на

вращение слегка сплюснутого у полюсов и расширенного у экватора земного сфероида.

Поверхность Луны очень сильно отличается от того, что мы видим на Земле. Громадное количество кольцевых гор — кратеров и цирков, горные хребты и цепи, по-видимому, лишенные складчатой структуры, обширные равнины морей, — все это представляет собой такие особенности, которым трудно подобрать аналогию среди форм земной поверхности. Это значит, что геологическая история Луны, создавшая поверхность последней в ее современных формах, была не такой, как для Земли. Несомненно, что главным источником различий тут является разница в массе и связанное с нею отсутствие на Луне воды и атмосферы. Но является ли этот фактор единственным? Не было ли в истории Луны и каких-либо других обстоятельств, породивших иной, нежели на Земле, ход геологических процессов? В каком направлении и как быстро изменяется лунная поверхность в настоящее время? Каковы те факторы, которыми определяется ход этой эволюции в прошлом, настоящем и будущем? Вот вопросы, над решением которых работает наука, изучающая историю Луны, — *селенология*.

Решение столь глубоких теоретических вопросов, естественно, должно опираться на надежный и обширный фактический материал. Надо зарегистрировать, назвать и занести в каталоги десятки, а то и сотни тысяч разнообразных деталей лунной поверхности, и для каждой из этих деталей нужно измерить селенографические координаты — широту и долготу. Нужно определить высоту и крутизну склонов для огромного количества всяких возвышенностей, а также глубину разных впадин и понижений. Надо изучить яркость и цвет различных частей лунного ландшафта и исследовать, как меняется для них температура на протяжении лунных суток. Для практической работы по изучению лунных образований необходимо иметь глобусы, карты и атласы, изображающие поверхность спутника нашей планеты в разных масштабах и с разной степенью подробности. Все перечисленные задачи разрабатываются разделом астрономии, который называется *селенографией*.

## ГЛАВА II ЛУНА КАК НЕБЕСНОЕ ТЕЛО

### § 3. Видимое движение Луны по небу

Древние астрономы относили Луну к категории «планет», т. е. таких светил, которые не занимают постоянного положения на фоне созвездий, но непрерывно перемещаются от одних звезд к другим, что составляет явление собственного движения светил. Теперь терминология принята иная и планетами, как известно, называются плотные космические тела, обращающиеся вокруг Солнца. Поэтому Луна, обращающаяся вокруг планеты Земли, попадает в категорию спутников планет.

В отношении собственного движения Луна является светилом исключительным, так сказать, рекордным: за сутки она проходит по фону звездного неба дугу в  $13^{\circ}, 2$ . Это значит, что за час она смещается уже на величину своего диаметра. Посмотрев на Луну и отметив ее положение на фоне богатого звездами созвездия в начале вечера и ближе к полуночи, мы сразу на глаз заметим ее значительное смещение. Непрерывное собственное движение Луны можно видеть даже непосредственно, если наблюдать Луну в телескоп с сильным увеличением (500—1000 раз), в поле зрения которого виден крест паутинных нитей. Для этого надо на скрещении нитей поставить какую-нибудь резкую деталь лунной поверхности и следить за ней некоторое время. Суточное вращение небесной сферы будет компенсировано работой часового механизма телескопа, так что звезда при таких условиях неподвижно стояла бы на скрещении нитей. Иное окажется для Луны: деталь ее поверхности будет понемногу сползать с креста, отодвигаясь в правую сторону.

Собственное движение Луны по созвездиям имеет монотонный характер; в отличие от планет с их петлеобразным движением Луна всегда движется в одну и ту же сторону, а именно, справа налево, от запада к востоку, навстречу суточному вращению неба. Такое направление движения, совпадающее с направлением собственного годового движения Солнца, в астрономии называется *прямым*.

Если каждый день наносить положение Луны на звездный глобус, то путь Луны изобразится в виде большого круга, целиком проходящего в поясе зодиакальных созвездий, но наклоненного к плоскости эклиптики под углом в  $5^{\circ}$ . Этот круг представляет собою проекцию действительной орбиты Луны на небесную сферу.

Весь круг, т. е. всю проекцию орбиты, Луна обходит за промежуток времени, составляющий  $27^{\text{д}}7^{\text{ч}}43^{\text{м}}11^{\text{с}},5$  и называемый *звездным*, или *сидерическим* месяцем. Таким образом, звездный месяц представляет собой период времени, по истечении которого Луна возвращается к прежнему видимому положению среди звезд. Что следует понимать под несколько неопределенным выражением «прежнее положение среди звезд», мы подробно выясним в § 5.

С видимым движением Луны по небу связаны некоторые явления, наблюдение которых для астрономов представляет большой интерес. Сюда прежде всего относятся *покрытия звезд*. Проходя между звездой и наблюдателем, Луна заслоняет от нас на некоторое время эту звезду. Наблюдение такого явления весьма поучительно: следя при помощи телескопа или хотя бы полевого бинокля за тем, как край лунного шара понемногу приближается к звезде и, наконец, ее закрывает, убеждаешься в том, что Луна является небесным телом, быстро движущимся в пространстве и наиболее близким к Земле. Явление покрытия протекает очень оригинально в том случае, когда на звезду надвигается темный и потому невидимый край Луны. В этом случае звезда гаснет внезапно и неожиданно для наблюдателя.

Конечно, Луна может покрывать не только звезды, но и другие светила. Покрытия планет очень интересны, но случаются редко, потому что планет мало. Покрытие Луной Солнца составляет всем знакомое явление солнечного затмения.

Положения Луны на небе на каждый день года сообщаются во всех астрономических календарях и ежегод-



долготе Солнца \*). Этот момент называется *новолунием* и принимается за начало всей последовательности фаз. Под термином *возраст Луны* в астрономии понимают промежуток времени, протекший с момента последнего новолуния.

В фазе новолуния увидеть Луну на небе невозможно не только невооруженным глазом, но и в телескоп, поскольку в это время она повернута к Земле своим неосвещенным

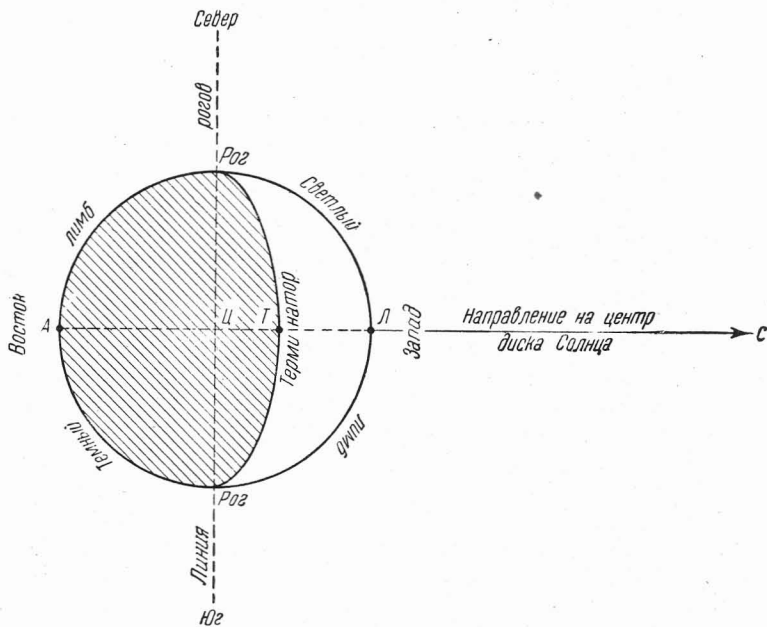


Рис. 2. Фазы Луны.

полушарием и в сторону Земли никаких лучей не отражает. Исключение составляет случай солнечного затмения, всегда приходящегося на новолуние: при затмении диск Луны появляется в виде темного силуэта на фоне яркого диска Солнца.

На следующий после новолуния день Луна располагается на небе на  $13^\circ - 1^\circ = 12^\circ$  к востоку (налево) от солнеч-

\*) Астрономические долготы отсчитываются по кругу эклиптики от точки весеннего равноденствия. В указанный момент Луна пересекает круг широты Солнца, т. е. большой круг, соединяющий центр солнечного диска с полюсом эклиптики.

ного диска и потому в своем суточном движении по небу идет следом за Солнцем. При благоприятных условиях ее удастся даже заметить сразу после заката в виде чрезвычайно узкого серпа, имеющего вид согнутой светящейся линии. С каждым днем Луна отодвигается от Солнца на  $12^\circ$  к востоку (влево) и соответственно этому, будучи видима с вечера, заходит все позже и позже. Вместе с тем увеличивается и ширина лунного серпа. Относительно последнего необходимо помнить следующие термины.

Правый выпуклый край «молодой» Луны (рис. 2), представляющий собою действительный край лунного шара, называется *лимбом*. Внутренний, вогнутый край серпа представляет собою границу между освещенной (дневной) и неосвещенной (ночной) частями лунного шара. Он называется *терминатором*. Кончики серпа, в которых терминатор пересекается с лимбом, называют *рогами* серпа. Линия на небе, проведенная через эти точки, называется *линией рогов*. Дуга большого круга небесной сферы, проведенная из центра лунного диска (погруженного во мрак) к центру диска Солнца, перпендикулярна к линии рогов; она делит терминатор и лимб пополам. Отрезок этой дуги, заключенный между центрами дисков Луны и Солнца и выражающий собою видимое угловое расстояние Луны  $\Theta$  от Солнца, называется *элонгацией Луны*. *Величиной фазы* (или просто *фазой*) Луны  $P$  называют отношение светлого отрезка  $ТЛ$  диаметра лунного диска, совпадающего с дугой большого круга  $ЦС$ , проходящей через центры дисков Луны и Солнца, к длине этого диаметра  $АЛ$ :

$$P = \frac{ТЛ}{АЛ}. \quad (2)$$

Темная часть лунного диска за линией терминатора при тех фазах Луны, о которых сейчас идет речь, хорошо видна на фоне неба. Она светится своеобразным серым, слегка голубоватым светом, который называют *пепельным светом*. Этот свет получается за счет освещения ночной стороны Луны лучами Солнца, отраженными от Земли. По мере увеличения ширины серпа яркость пепельного света убывает, поскольку для наблюдателя, находящегося на поверхности Луны, уменьшается освещенная часть земного диска. При возрасте Луны 7—8 дней пепельный свет исчезает.

Важным этапом в последовательности фаз считается момент, когда разность долгот Луны и Солнца становится равной точно  $90^\circ$ . Этот момент называется *первой четвертью* (подразумевается окончание первой четверти лунного месяца) — фаза, характерная тем, что терминатор имеет вид прямой линии, так что ровно половина лунного диска освещена, а другая половина — темна. Возраст Луны при этом оказывается равным  $7^{\text{д}}10^{\text{ч}}$ . Луна в такой фазе обычно светит всю вечернюю половину ночи, заходя около полуночи.

В дальнейшем терминатор становится выпуклым, и освещенной оказывается более половины лунного диска. Продолжая отходить от Солнца все дальше к востоку, Луна с вечера оказывается уже на восточной стороне небосвода и заходит, как правило, после полуночи. Продолжая увеличиваться в своей освещенной части, лунный диск, наконец, оказывается освещенным целиком, и наступает *полнолуние*. Это соответствует моменту, когда разность долгот Луны и Солнца составляет точно  $180^\circ$ , а возраст Луны равен  $14^{\text{д}}18^{\text{ч}}$ . В фазе полнолуния Луна располагается в части неба, противоположной Солнцу. Поэтому она восходит с вечера, светит всю ночь и заходит к утру.

Продолжая свой путь к востоку, Луна после полнолуния начинает приближаться к Солнцу с другой стороны, т. е. справа. При этом освещенная часть ее диска начинает уменьшаться («Луна на ущербе»), но только теперь лимб располагается слева (к востоку), а терминатор справа (к западу). Луна таких очертаний с вечера не видна и восходит лишь через некоторое время после солнечного заката. При возрасте  $22^{\text{д}}3^{\text{ч}}$  терминатор опять становится прямой линией и наступает фаза, называемая *последней четвертью*, при которой разность долгот Луны и Солнца составляет ровно  $270^\circ$ . При такой фазе Луна восходит около полуночи и светит только утреннюю половину ночи.

В дальнейшем терминатор опять становится вогнутым, и Луна принимает облик серпа, но обращенного выпуклостью влево. С каждым днем ширина серпа убывает, Луна приближается к Солнцу с правой (западной) стороны и появляется на небе все позже и позже, т. е. ближе к предрассветным часам. В это время опять становится видимым и пепельный свет. Наконец, Луна снова обращается в нитевидную дугу, едва видимую на ярком фоне утренней зари, после чего наступает очередное новолуние.

Таблица 1

Последовательность лунных фаз

Название фазы	Возраст в сутках	Разность $d$ долгот Луны и Солнца	Вид Луны	Фаза $P$	Время видимости	Сезон наиболее высокого суточного пути
Новолуние . . . . .	0	$0^\circ$	●	0	Не видна	Лето
Молодая Луна . . . . .	1—6	$0 < d < 90^\circ$	☾	$0 < P < \frac{1}{2}$	Вечером	
Первая четверть . . . . .	7	$90^\circ$	D	$\frac{1}{2}$	Вечерняя половина ночи	Весна
Нарастающая Луна . . . . .	8—13	$90^\circ < d < 180^\circ$	☽	$\frac{1}{2} < P < 1$	Всю ночь, кроме предрассветных часов	
Полнолуние . . . . .	14,7	$180^\circ$	○	1	Всю ночь	Зима
На ущербе . . . . .	16—21	$180^\circ < d < 270^\circ$	☾	$1 > P > \frac{1}{2}$	Всю ночь, кроме вечерних часов	
Последняя четверть . . . . .	22	$270^\circ$	D	$\frac{1}{2}$	Утренняя половина ночи	Осень
Старая Луна . . . . .	23—28	$270^\circ < d < 360^\circ$	☽	$\frac{1}{2} > P > 0$	Перед рассветом	
Новолуние . . . . .	29,5	$360^\circ$	●	0	Не видна	Лето

Весь цикл описанных изменений облика лунного диска занимает всегда одинаковое время, называемое *синодическим месяцем* и равное  $29^{\text{д}} 12^{\text{ч}} 44^{\text{м}} 2^{\text{с}}, 8$ . В табл. 1 дано описание изменения фаз Луны в течение синодического месяца, а также указывается часть года, когда Луна при данной фазе проходит на небе самый высокий суточный путь и, следовательно, наиболее удобна для наблюдений.

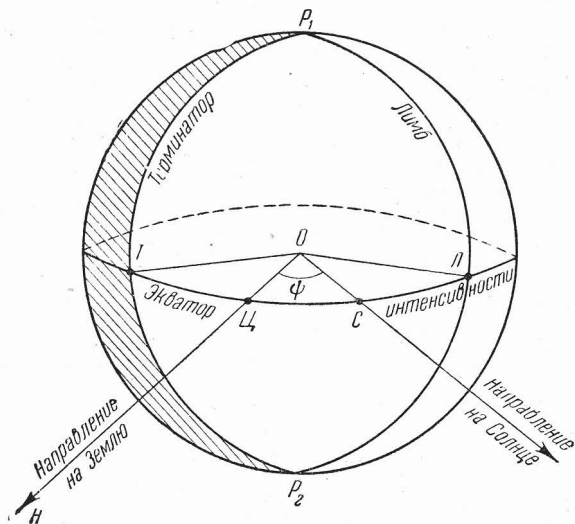


Рис. 3. Определение положения терминатора на диске Луны.

Причина этих сезонных изменений условий видимости различных фаз подробно объясняется в § 6. Легко понять, почему синодический месяц длиннее звездного. Пусть с момента новолуния истек промежуток времени, равный сидерическому месяцу, и Луна вернулась в прежнее положение среди звезд. Новолуния в этот момент еще не будет, потому что за  $27^{\text{д}}, 3$  звездного месяца Солнце подвинулось по эклипке на запад примерно на  $27^{\circ}$ , и Луне тоже надо пройти этот путь, чтобы его догнать. Но мы уже знаем, что за сутки Луна проходит  $13^{\circ}, 2$  и потому дугу в  $27^{\circ}$  она проходит за двое с лишним суток, которые и надо прибавить к длине звездного месяца, чтобы получить длину синодического месяца.

Для более точного уяснения расположения терминатора и лимба на диске Луны рассмотрим рис. 3. На нем  $O$  — центр лунного шара, прямая  $OC$  — направление на Солнце и  $OC$  — направление на наблюдателя. Угол  $\angle COS = \phi$  при центре Луны называется *фазовым углом*. Точка  $C$  представляет собой то место лунной поверхности, для которого Солнце стоит в зените, ее называют *полусом освещения*, или *подсолнечной точкой*. Точка  $\text{Ц}$  соответствует видимому центру лунного диска. Большой круг на поверхности лунного шара, проходящий через точки  $\text{Ц}$  и  $C$ , называется *экватором интенсивности*.

Проведем большой круг  $P_1LP_2$ , плоскость которого перпендикулярна к направлению  $OC$ , так что угол  $\angle OLP$  равен  $90^{\circ}$ . Очевидно, что это будет положение лимба на поверхности лунного шара. Построим еще большой круг  $P_1TP_2$ , перпендикулярный к направлению  $OS$ . Это будет граница дневной и ночной частей лунного шара, т. е. линия терминатора на поверхности Луны. Точки  $P_1$  и  $P_2$  пересечения этих кругов дают положение рогов. Для наблюдателя, который смотрит на Луну по направлению  $HC$ , видимое полушарие проектируется на плоскость  $P_1LP_2$ . Очевидно, что терминатор, будучи проекцией наклоненного к линии зрения полукруга, будет представлять собой полуэллипс, у которого большая полуось равна радиусу лунного диска  $R$ . Для того чтобы найти малую полуось этого эллипса, рассмотрим рис. 4, на котором изображена проекция лунного шара на плоскость экватора интенсивности. На рис. 4  $OC$  и  $OS$  — направления из центра Луны на Землю и на Солнце. Перпендикулярные к ним прямые  $LL'$  и  $TT'$  представляют собою линии пересечения плоскости чертежа с плоскостями лимба и терминатора. Точка  $T$  пересечения терминатора с экватором интенсивности для наблюдателя,

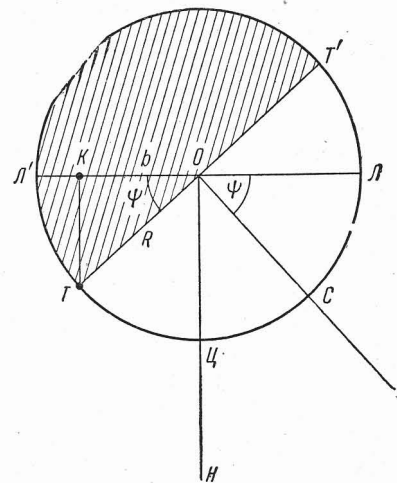


Рис. 4. Определение величины фазы.

будет представлять собой полуэллипс, у которого большая полуось равна радиусу лунного диска  $R$ . Для того чтобы найти малую полуось этого эллипса, рассмотрим рис. 4, на котором изображена проекция лунного шара на плоскость экватора интенсивности. На рис. 4  $OC$  и  $OS$  — направления из центра Луны на Землю и на Солнце. Перпендикулярные к ним прямые  $LL'$  и  $TT'$  представляют собою линии пересечения плоскости чертежа с плоскостями лимба и терминатора. Точка  $T$  пересечения терминатора с экватором интенсивности для наблюдателя,

который смотрит по направлению  $HC$ , проектируется на плоскость видимого диска Луны в точке  $K$ . Следовательно, отрезок  $KO$  и есть малая полуось эллипса  $b$ ; он соответствует также отрезку  $CT$  на рис. 2, но отложен здесь от центра в другую сторону.

Из прямоугольного треугольника  $TKO$  легко получаем

$$b = OK = R \cos \psi. \quad (3)$$

Отсюда получаем также формулу, выражающую зависимость между фазой  $P$  и фазовым углом  $\psi$ :

$$P = \frac{R+b}{2R} = \frac{1}{2}(1 + \cos \psi). \quad (4)$$

Пользуясь этими формулами, мы можем легко проследить ход лунных фаз с изменением угла  $\psi$ .

1. **Полнолуние.** Угол  $\psi$  близок к  $0^\circ$ , однако в точности нулю он равен только в условиях полного лунного затмения. Поэтому иногда говорят, что наблюдать «истинное полнолуние», при котором весь лунный диск был бы полностью и равномерно освещен, мы не можем из-за тени Земли. Если бы последней не было, то в момент истинного полнолуния мы имели:  $\psi = 0$ ,  $\cos \psi = 1$ ,  $b = R$ ,  $P = 1$ . Иными словами, терминатор совпадал бы с лимбом, что и определяло бы полное освещение диска. При обычном полнолунии угол  $\psi$  достигает  $10^\circ$  и больше, так что в телескоп можно заметить, что терминатор находится на лунном диске, располагаясь вдоль северного или южного краев лимба.

2. **Ущербленная Луна** между полнолунием и четвертями. В этих условиях угол  $\psi$  заключается между  $0$  и  $90^\circ$  и  $\cos \psi$  заключен между  $1$  и  $0$ . Из этого следует, что малая полуось эллипса заключается между  $0$  и  $+R$ , а фаза — между  $1$  и  $\frac{1}{2}$ . Положительный знак при  $b$  указывает, что терминатор и освещенный лимб находятся по разные стороны от центра диска.

3. **Первая и последняя четверти.** Угол  $\psi$  близок к  $90^\circ$ , однако момент, когда он становится равным точно  $90^\circ$ , вообще говоря, с моментом наступления четвертей не совпадает. Очевидно, что  $\cos \psi = 0$  и  $b = 0$ , так что терминатор — прямая линия, а  $P = \frac{1}{2}$ .

4. **Луна в форме серпа,** т. е. между новолунием и четвертями. В это время угол  $\psi$  будет больше  $90^\circ$ , но меньше  $180^\circ$  и потому  $\cos \psi$  оказывается отрицательным. Естественно, значения  $b$  лежат между  $0$  и  $-R$ ,

причем отрицательный знак  $b$  указывает, что терминатор и освещенный лимб лежат по одну сторону от центра диска, что и определяет как фигуру серпа, так и значения фазы между  $\frac{1}{2}$  и  $0$ .

5. **Новолуние.** Угол фазы близок к  $180^\circ$ , но равен точно  $180^\circ$  только в момент полного солнечного затмения. В последнем случае  $\cos \psi = 1$  и  $b = -R$ . Терминатор совпадает со светлым лимбом, и потому весь диск Луны полностью темен, что выражается значением фазы  $P = 0$ .

В схематической форме изложенное выше представлено в табл. 2.

Таблица 2

Ход фаз Луны в зависимости от фазового угла

Название фазы	$\psi$	$\mathcal{E}$	$b$	$P$
Истинное полнолуние . . .	$0^\circ$	$180^\circ$	$+R$	$1$
На ущербе . . .	$0 < \psi < 90^\circ$	$180^\circ > \mathcal{E} > 90^\circ$	$+R > b > 0$	$1 > P > 0,5$
Истинные четверти . . .	$90^\circ$	$90^\circ$ *)	$0$	$0,5$
Серповидная	$90^\circ < \psi < 180^\circ$	$90^\circ > \mathcal{E} > 0^\circ$	$0 > b > -R$	$0,5 > P > 0$
Истинное новолуние . . .	$180^\circ$	$0^\circ$	$-R$	$0$

## § 5. Движение Луны и его неравенства

Двигаясь вокруг Земли под влиянием земного притяжения, Луна описывает эллипс, в фокусе которого находится Земля (рис. 5). Наиболее близкая к Земле вершина  $P$  этого эллипса называется *перигеем*, противоположная вершина  $A$  — *апогеем*. Большая полуось эллипса  $a = PO$  является также средним расстоянием Луны от Земли, потому что она равна среднему арифметическому из минимального расстояния  $PZ$  и максимального расстояния  $ZA$ . Это среднее расстояние составляет  $384\,400$  км или  $60,27$  радиуса земного шара.

\*) Легко понять, что при  $\psi = 90^\circ$  элонгация  $\mathcal{E}$  составляет  $90^\circ - \chi$ , где  $\chi = 7^\circ$  — угол, под которым из центра Солнца виден радиус лунной орбиты.



Форма эллипса определяется соотношением между малой полуосью  $OB$  и большой полуосью  $OA$  и обычно выражается в виде эксцентриситета  $e$ :

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (5)$$

Для орбиты Луны  $e$  в среднем равно 0,0549, или около  $\frac{1}{18}$ .

Положение Луны  $L$  на орбите в некоторый момент времени определяется двумя величинами: расстоянием до Земли или величиной радиуса-вектора  $r = LZ$  и углом  $LZP = v$ , который радиус-вектор образует с большой полуосью. Этот угол называется *истинной аномалией*. Он отсчитывается от точки перигея в сторону движения Луны.

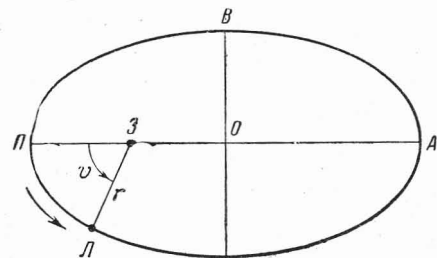


Рис. 5. Орбита Луны.

Когда Луна проходит через перигей, радиус-вектор достигает минимального значения 363 300 км, а экваториальный горизонтальный параллакс — наибольшей

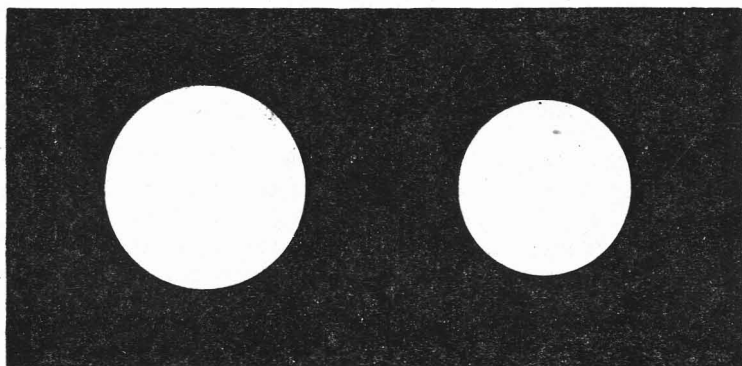


Рис. 6. Сравнительные размеры диска Луны в перигее (слева) и в апогее (справа).

величины  $61'31''$ . В это время лунный диск имеет наибольшие угловые размеры: его видимый радиус доходит до  $16'26''$ . После этого Луна начинает удаляться от Земли,

радиус-вектор растет и видимые размеры Луны убывают. В точке апогея расстояние до Луны достигает максимального значения 405 500 км, а горизонтальный параллакс снижается до  $53'55''$ ; в связи с чем угловой радиус уменьшается до  $14'44''$ . После прохождения через апогей расстояние Луны от Земли снова начинает уменьшаться. На рис. 6 изображены видимые размеры Луны в перигее и апогее. Если держать рисунок на расстоянии 3 м от себя, то видимые размеры изображенной на нем Луны будут соответствовать тому, что имеет место в действительности для невооруженного глаза.

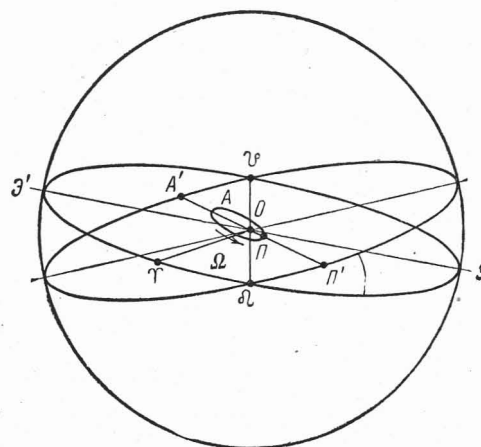


Рис. 7. Элементы орбиты Луны.

Положение плоскости эллипса лунной орбиты в пространстве определяется двумя величинами. Первой из них будет *наклон к эклиптике*, выраженный на рис. 7 углом  $P'\Omega A' = i$ . Он представляет собой двугранный угол, составленный плоскостями орбит Луны и Земли и равный  $5^\circ 09'$ . Вторая величина определяет направление линии пересечения этих плоскостей. На рис. 7  $PA$  — эллипс лунной орбиты,  $EA'$  — эклиптика,  $\gamma$  — точка весеннего равноденствия. Продолжив плоскость лунной орбиты до пересечения с небесной сферой, мы получим большой круг  $P'\Omega A'\zeta$ . Точки  $A'$  и  $P'$ , очевидно, представляют собой проекции перигея и апогея на небесной сфере; прямая  $P'A'$  называется *линией апсид*. Точки пересечения проекции орбиты с эклиптикой называются *точками узлов*, или

*драконическими точками.* Последний термин — старинного происхождения: он отражает первобытные представления о небесном чудовище — драконе, который будто бы подстерегал Луну в этих точках, пытаясь ее поглотить, чем когда-то «объясняли» явление лунных затмений. Та из этих точек, в которой Луна переходит с южной стороны эклиптики на северную, называется *восходящим узлом* и обозначается знаком  $\Omega$ , представляющим собою стилизованное изображение небесного дракона; противоположная точка называется *нисходящим узлом* и обозначается  $\varrho$ . Прямая  $\Omega\varrho$  называется *линией узлов*. Ее положение определяется углом  $\Omega O \gamma$  или дугой эклиптики  $\Omega \gamma$ , называемой *долготой восходящего узла*, которая обозначается через  $\Omega$ .

Ориентировка эллипса орбиты в плоскости последней определяется углом  $P'O\Omega$ , составляемым линией апсид с линией узлов, который называется *расстоянием перигелия от узла*. Этот угол, стягиваемый дугой  $\Omega P'$ , обозначается буквой  $\omega$ .

Время оборота  $T$  Луны вокруг Земли, как мы уже знаем, называется звездным месяцем. Он короче синодического месяца на двое суток с лишним, о чем мы уже говорили выше.

Величины  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$ ,  $e$ ,  $a$  и  $T$  называются *элементами* лунной орбиты. Если бы Земля и Луна составляли систему, удаленную и изолированную от всех остальных небесных тел, то исследование движения Луны по ее орбите составляло бы «задачу двух тел», впервые поставленную и точно решенную великим английским ученым Исааком Ньютоном на основе открытого им закона всемирного тяготения. В этом случае движение Луны строго соответствовало бы трем законам Кеплера (в их обобщенной форме, данной Ньютоном), а перечисленные выше элементы лунной орбиты были бы неизменны. В действительности Луну и Землю притягивают другие планеты солнечной системы, а кроме того, и это главное, Луна и Земля находятся в мощном поле тяготения Солнца. Притяжение Солнца и (в гораздо меньшей степени) планет вызывает в движении Луны сложные «возмущения» или, как говорят в астрономии, «неравенства». Это делает проблему движения Луны самым сложным вопросом небесной механики, над которым трудились и продолжают трудиться крупнейшие представители науки о небе.

Уже древним было известно, что видимая долгота Луны меняется со временем неравномерно. Изучение этого важнейшего для астрономии обстоятельства заняло много

веков. К началу XVIII в. было установлено, что если ограничиваться точностью в  $10'$ , то долгота Луны  $\lambda$  может быть выражена такой формулой:

$$\lambda = l + 377' \sin m + 13' \sin 2m + 76' \sin [2(l - L) - m] + 40' \sin 2(l - L) + 11' \sin M. \quad (6)$$

Здесь  $l$  — средняя долгота Луны, соответствующая равномерному движению по орбите,  $m$  — средняя аномалия Луны, равная  $l - \Omega$ ,  $M$  — средняя аномалия Солнца, а  $L$  — долгота последнего. Второй и третий члены формулы были открыты еще Гиппархом во II в. до н. э. и носят название *уравнения центра*. Они выражают ту неравномерность движения Луны, которая возникает в результате того, что орбита Луны — не круг, а эллипс, что было установлено открытым на 19 веков позднее вторым законом Кеплера; к категории собственно «неравенств» эти члены не относятся. Четвертый член, называемый *эвекцией*, был открыт Птолемеем во II в. н. э. Пятый член составляет так называемую *вариацию*, открытую Тихо Браге в XVI в., в то время как последний член, найденный Кеплером, составляет так называемое *годовое уравнение*.

Влияние тяготения Солнца и других планет, а также сжатия Земли, проявляется в том, что все элементы эллипса лунной орбиты непрерывно изменяются. Эти изменения выражаются следующими четырьмя главными неравенствами.

1. *Регрессия линии узлов.* Линия узлов вращается в плоскости эклиптики в направлении, обратном движению Луны на орбите, откуда и происходит самый термин «регрессия», т. е. «движение назад». Каждый из узлов перемещается по эклиптике на  $19^{\circ},3$  в год, в результате чего за 18,6 года узел делает полный оборот по эклиптике. Это ведет к тому, что Луна каждый месяц проходит среди звезд новый путь (это изображено на рис. 8). В связи с этим мы должны уточнить понятие звездного, или сидерического месяца, который мы выше определили как промежуток времени, по истечении которого Луна возвращается к прежнему положению среди звезд. Поскольку строго одинаковое положение не достигается, точное определение звездного месяца будет таково: звездным, или сидерическим месяцем называется промежуток времени, по истечении которого долгота Луны опять становится равной долготе той же самой звезды.

В связи с явлением регрессии узлов вводят еще одно понятие месяца — *драконический месяц*. Так называется промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Луны через восходящий узел ее орбиты. Поскольку узел движется Луне навстречу, Луна дойдет до него раньше, чем до прежнего положения среди звезд; поэтому драконический месяц короче звездного и составляет  $27^{\text{д}}5^{\text{ч}}5^{\text{м}}35^{\text{с}},8$ .

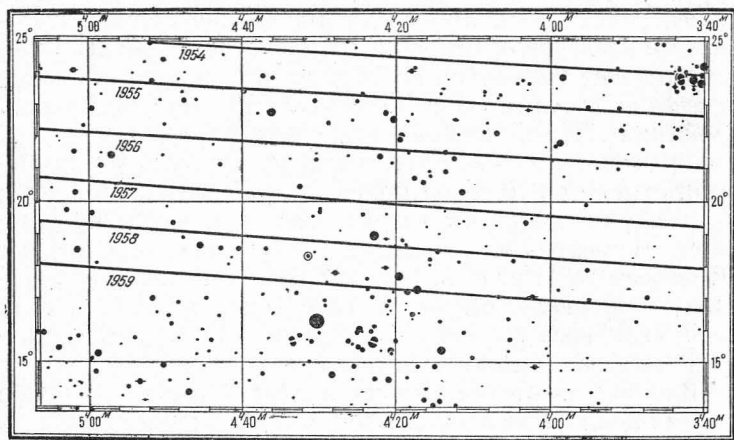


Рис. 8. Видимые пути движения Луны в январе в различные годы.

2. **Прямое движение линии апсид.** Оно состоит в том, что эллипс лунной орбиты вращается в своей плоскости, так что линия перигей — апогей поворачивается в ту же сторону, в какую движется Луна. Точки апогея и перигея смещаются на  $40^{\circ},7$  в год, делая полный оборот за 8,85 года. Благодаря этому промежутку времени между двумя прохождениями Луны через перигей, называемый *аномалистическим месяцем*, дольше звездного месяца и составляет  $27^{\text{д}}13^{\text{ч}}18^{\text{м}},33^{\text{с}},1$ .

3. **Периодические колебания наклона.** Они совершаются с периодом в 18,6 года и ведут к тому, что наклон меняется в пределах от  $4^{\circ}59'$  до  $5^{\circ}17'$ , в среднем составляя  $5^{\circ}9'$ .

4. **Периодические колебания эксцентриситета.** Их период — 8,85 года, пределы изменения  $e$ : 0,0435—0,0715. С тем же периодом происходит изме-

нение большой полуоси эллипса в пределах от 356 400 до 406 730 км.

Все перечисленное составляет лишь малую часть известных в настоящее время неравенств движения Луны. Полная теория лунного движения, разработанная современной небесной механикой, приводит к чрезвычайно сложным выражениям. Так, новейшая теория американского астронома Броуна выражает долготу Луны в виде ряда, содержащего 655 членов; широта Луны представляется рядом, составленным из более 300 членов, а параллакс — из 150 членов. Если вспомнить, что точное положение Луны на небе дается в ежегодниках на каждый час каждого дня, то можно себе представить, как велик труд составления эфемерид Луны, которые помещаются в астрономических ежегодниках и календарях. Вся эта колоссальная работа может осуществляться в достаточно короткие сроки только потому, что прежние способы вычислений вручную, основанные на применении логарифмов, заменены работой на счетных машинах-автоматах, которые вычисляют и суммируют это громадное количество членов.

С точки зрения теории, основанной на применении ньютонова закона тяготения, исследования движения Луны можно считать законченными, поскольку тут учтено и предусмотрено все, что можно. Тем не менее сравнение результатов расчета с наблюдаемыми положениями Луны приводит к большим расхождениям, достигающим до  $10''$ . Было потрачено много времени и труда на то, чтобы найти причины таких расхождений, с точки зрения астрономов весьма значительных, поскольку расчеты делаются с точностью до  $0'',01$ . Причину искали в сопротивлении окружающей среды, в тонких эффектах, связанных с теорией относительности, даже в неточности самого закона тяготения Ньютона. И лишь недавно было установлено, что дело тут не в Луне и ее движениях, а в особенностях вращения земного шара. Дело в том, что мы выражаем координаты Луны в функции времени, а время измеряем видимым суточным движением светил, предполагая, что земной шар вращается со строго постоянной скоростью. Но последнее, как выяснилось, не вполне верно: на самом деле «небесные часы» идут не столь точно, как это требуется для современной астрономии.

Оказывается, что скорость вращения Земли со временем меняется. Помимо чрезвычайно медленного векового ее уменьшения, которое должно вызываться приливами в

океанах и другими тормозящими воздействиями, существуют также случайные небольшие колебания этой скорости. Они являются причиной тех невязок между теорией и наблюдением, о которых мы говорили. Это заставило астрономов ввести особое, так называемое *эфемеридное время*, которое течет строго равномерно. Для перехода от несколько неточного времени, получаемого по суточному движению небосвода, к этому безупречному теоретическому времени необходимо иметь соответствующие поправки, для получения которых используются точные наблюдения Луны и теория лунного движения.

## § 6. Суточный путь Луны в разные сезоны

Видимый путь, который Луна проходит по небесному своду в данном месте в ту или иную ночь, зависит от даты и от фазы Луны. Рассмотрим несложные правила, которые определяют условия видимости Луны в разные сезоны.

Сначала для простоты оставим без внимания наклон лунной орбиты и предположим, что Луна всегда находится на эклиптике. В этом случае в день полнолуния Луна обязательно будет находиться в точке эклиптики, диаметрально противоположной Солнцу. Из этого следует, что полная Луна проходит на небе такой же суточный путь, как Солнце за полгода до этого. В декабре видимый суточный путь Солнца короток и низок, а суточный путь полной Луны, напротив, очень высок и близок к суточному пути Солнца в июне. Поэтому полная Луна сияет в небе выше всего именно в зимние ночи. Если к этому добавить, что белый снег сильно отражает лунный свет, то станет понятно, почему в морозные зимние ночи лунное освещение кажется особенно ярким и притом не только в ясную погоду, но и при пасмурном небе. Обратное имеет место в июне, когда полная Луна проходит по небу такой же невысокий путь, как Солнце в декабре, и свет ее оказывается значительно менее ярким. Около дней равноденствий, т. е. в марте и в сентябре, Луна в полнолуние располагается примерно на небесном экваторе, где находится также и Солнце. В это время полная Луна и Солнце проходят одинаковый путь, следуя друг за другом с интервалом в  $12^{\text{ч}}$ . Для всех сезонов справедливо правило, согласно которому момент восхода полной Луны совпадает с закатом Солнца, а ее заход приходится на момент восхода Солнца. На основании этого может пока-

заться, что полную Луну одновременно с Солнцем увидеть вообще невозможно. В действительности это не так, поскольку оба светила несколько приподымаются рефракцией, и их видимое появление и исчезновение на линии горизонта не совпадает с так называемым истинным, т. е. теоретически рассчитанным восходом или заходом. Это ведет к тому, что при благоприятных условиях (исключительно прозрачный воздух на горизонте) удавалось видеть Солнце на одном краю горизонта, а Луну при частной фазе лунного затмения — на противоположном.

Луна в фазе новолуния всегда находится на небе вблизи солнечного диска и потому непосредственно сопровождает дневное светило в его движении по небу. Вытекающие из этого правила появления Луны в разные сезоны понятны сами собой; впрочем, они не представляют никакого интереса, так как Луна в фазе новолуния не видна.

Общеизвестно, что «молодая» Луна, соответствующая возрасту от двух до семи дней, видна лучше всего в весенние вечера, а именно в марте. В это время закат Солнца застает ее на наибольшей (из возможных при данной фазе) высоте над горизонтом, а промежуток времени, протекающий от заката Солнца до захода Луны, наиболее длинен. Напротив, около осеннего равноденствия, т. е. в сентябре, условия видимости Луны в тех же фазах неблагоприятны: в момент заката Солнца Луна оказывается на небе очень низко и заходит очень рано, не выходя из светлой зоны вечерней зари.

Для того чтобы понять различие в условиях видимости молодой Луны весной и осенью, обратимся к рис. 9, слева. На нем изображена часть небесной сферы, как ее видно изнутри. Наблюдатель смотрит на линию горизонта  $ГГ'$ , стоя лицом к точке запада  $W$ . В этом случае он будет видеть экватор  $ЭЭ'$  расположенным косо к горизонту и направленным слева сверху направо вниз. Угол, составляемый экватором с горизонтом, как известно, равен  $90^\circ - \varphi$ , где  $\varphi$  — географическая широта места (на чертеже она принята равной  $60^\circ$ ). Пусть наблюдение производится в день весеннего равноденствия, т. е. 21 марта, когда Солнце пересекает экватор, и в момент заката Солнца. Тогда солнечный диск и точка весеннего равноденствия будут совпадать с точкой запада  $W$ , а так как в точке весеннего равноденствия эклиптика пересекается с экватором, то эклиптика изображится прямой  $ЕЕ'$ , составляющей с экватором угол  $23^\circ,5$ .

Пусть Луна располагается на эклиптике в точке  $L$ . Тогда отрезок  $LW$  будет равен элонгации Луны, а отрезок  $LK$  — высоте Луны над горизонтом в момент солнечного заката. После этого Луна будет двигаться по суточному пути, параллельному экватору  $ЭЭ'$ , и до точки захода  $З$  ей предстоит пройти длинный отрезок  $LЗ$ , отчего она и заходит много времени спустя после Солнца.

На рис. 9, справа та же ситуация изображена для дня осеннего равноденствия — 23 сентября. Горизонт, экватор и точка захода остались на прежнем месте, Солнце опять

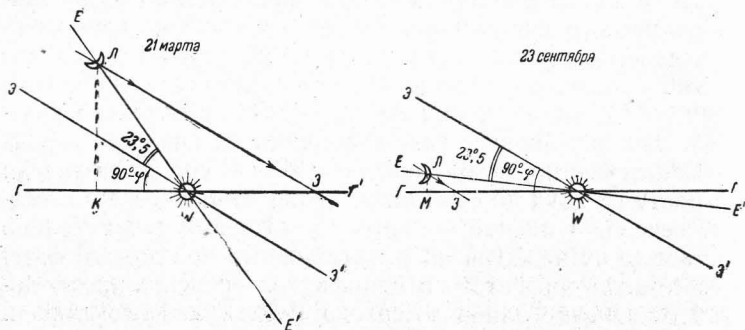


Рис. 9. Условия видимости молодой Луны в периоды весеннего и осеннего равноденствий.

находится на экваторе и потому заходит в точке  $W$ . Но теперь в этой точке с ним совпадает точка осеннего равноденствия и потому эклиптика  $EE'$  проходит ниже экватора  $ЭЭ'$ , составляя с последним тот же угол  $23^{\circ},5$ . Отложим на эклиптике элонгацию  $LW$  такой же величины, как и на рис. 9, слева. Мы видим, что хотя элонгация, а значит, и фаза Луны, остались прежними, высота Луны в момент солнечного заката, изображаемая отрезком  $LM$ , гораздо меньше. Короток и путь  $LЗ$ , который осталось пройти Луне до захода в точке  $З$ , из чего следует, что Луна закатится вскоре вслед за Солнцем.

Условия видимости «старой» Луны, появляющейся в виде узкого серпа перед рассветом, будут противоположны тому, что мы имели для «молодой» Луны. При возрасте свыше 20 дней Луна восходит раньше всего и к моменту восхода Солнца успевает подняться всего выше в сентябре, в то время как в марте она появляется незадолго до Солнца, и потому восход дневного светила застает ее на небе низко.

Геометрические соотношения, из которых это вытекает, ясны из рис. 10, построенного аналогично рис. 9; здесь  $ГГ'$  — опять горизонт, но наблюдатель смотрит на точку востока  $O$  и потому видит экватор  $ЭЭ'$  направленным справа сверху налево вниз. В день весеннего равноденствия (рис. 10, справа) эклиптика в момент восхода Солнца будет занимать положение  $EE'$ , ниже экватора. Это и приводит к тому, что высота Луны  $ЛН$  при данной элонгации  $ЛО$  оказывается небольшой; коротким будет и суточный путь Луны  $ЛВ$  над горизонтом. Рис. 10, слева дает ту же схему,

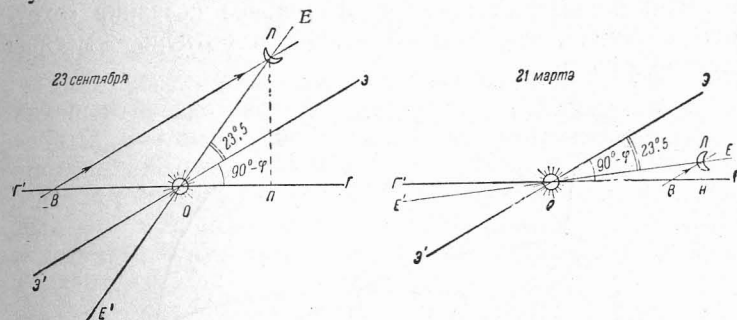


Рис. 10. Условия видимости убывающей Луны на ущербе в периоды осеннего и весеннего равноденствий.

но для дня осеннего равноденствия. Теперь эклиптика  $EE'$  идет выше экватора, и потому Луна появляется над горизонтом в точке  $B$  задолго до Солнца и к моменту восхода последнего успевает подняться на значительную высоту  $ЛП$ .

Изменение склонения Луны сильно влияет на интервал между моментами ее восхода в разные дни. Вследствие быстрого собственного движения Луны в направлении, обратном суточному вращению неба, промежуток времени между двумя верхними кульминациями Луны составляет  $24^{\text{ч}}50^{\text{м}}$ . Однако это будет верно только в среднем. Поскольку проекция орбиты Луны расположена к экватору наклонно, равным перемещениям Луны по орбите соответствуют неравные проекции этих перемещений на экваторе. Это ведет к тому, что указанный интервал может несколько меняться. Еще большее влияние оказывает изменение склонения Луны на моменты восхода и захода. В тех случаях, когда Луна находится около экватора и ее склонение быстро увеличивается, растет и длина суточной дуги над горизон-

том, а также продолжительность времени пребывания Луны над горизонтом. Это почти компенсирует то запаздывание момента восхода Луны, которое вызывается прямым движением к востоку. В результате получается так, что в течение нескольких дней каждого месяца Луна восходит почти в один и тот же час, запаздывая изо дня в день всего на 5 минут. Явление особенно эффектно во время сентябрьского полнолуния, когда в следующие за полнолунием дни постепенно убывающая Луна восходит в одно и то же время, хорошо освещая вечера. У французских крестьян Луна в таком положении носит оригинальное название «охотничьей Луны», поскольку сентябрь и октябрь — месяцы осенней охоты.

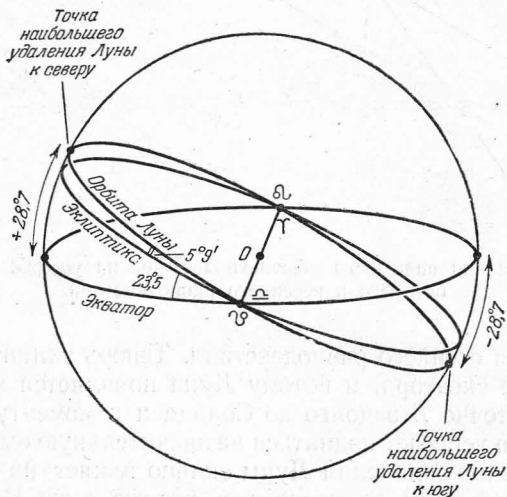


Рис. 11. Крайнее положение лунной орбиты по отношению к экватору и эклиптике.

Обратное наблюдается тогда, когда склонение Луны быстро убывает. В этом случае Луна восходит изо дня в день почти на 1 час 40 минут позже. Это ведет к тому, что в марте Луна после полнолуния быстро исчезает с неба, и вечера сразу становятся темными.

До сих пор мы не принимали во внимание наклона лунной орбиты. Последний в зависимости от положения узлов на орбите может описанные явления либо усиливать, либо ослаблять. Особенно замечательным будет тот случай, когда

восходящий узел орбиты совпадает с точкой весеннего равноденствия, как это показано на рис. 11. В этом случае склонение Луны будет достигать максимальных положительных и отрицательных значений, равных, как это видно по рис. 11,  $\pm 28^{\circ} 44'$ . Легко понять, что при таких условиях Луна может проходить через зенит в местах Земли уже с широтами  $\pm 28^{\circ} 44'$ , т. е. значительно южнее и севернее тропиков. Вместе с тем на широтах  $\pm 61^{\circ} 16'$  она становится в некоторые дни незаходящим светилом, а в другие дни совсем не появляется над горизонтом. Такие исключительные условия видимости Луны имели место в 1950 г. и снова наступят в 1969 г.

Противоположные условия бывают тогда, когда точка весеннего равноденствия совпадает с нисходящим узлом орбиты. В этом случае северная половина лунной орбиты проходит южнее эклиптики, а южная — севернее. Это ведет к тому, что склонение Луны колеблется лишь в пределах  $\pm 18^{\circ}, 5$ , и потому все явления, зависящие от разности склонений, будут ослаблены. Так было в 1941 г. и будет в 1960 г.

## § 7. Размеры, масса и плотность лунного шара

Наши сведения о размерах Луны основаны на измерениях видимого или углового радиуса лунного диска. Измерения эти далеко не так просты, как может показаться с первого взгляда, хотя в распоряжении астрономов имеется довольно много средств для выполнения таких наблюдений.

Во-первых, на многих обсерваториях каждый день определяется момент прохождения центра лунного диска через небесный меридиан. При этом обычно фиксируют моменты прохождения через нить прибора обоих краев диска, если только они оба освещены. Отсюда получается длительность прохождения диска Луны через нить инструмента, а от нее нетрудно перейти и к угловому диаметру диска.

Во-вторых, можно воспользоваться микрометром, прибором, который привинчивается к окулярному концу телескопа и используется для измерений угловых расстояний на небесном своде.

Глядя в окуляр этого прибора, наблюдатель видит в поле зрения паутинную нить, которую можно перемещать по полю зрения, вращая микрометрический винт. Винт этот

снабжен барабанчиком с делениями, при помощи которых можно отсчитывать как целые обороты, так и доли оборота. Наблюдение состоит в том, что телескоп при идущем часовом механизме направляют на Луну. Вращая винт, устанавливают нить касательно к краю лунного диска и записывают соответствующее этому положению деление барабанчика. Затем перемещают нить так, чтобы она оказалась касательной к противоположному краю диска, и опять записывают отсчет барабанчика. Разность полученных отсчетов дает диаметр изображения Луны, выраженный в оборотах винта микрометра. Зная, какому числу угловых секунд соответствует один оборот, легко выразить в секундах и диаметр лунного диска.

Далее, существует прибор, специально предназначенный для измерения дисков небесных светил, называемый *гелиометром*. Он устроен так, что в нем вместо одного изображения светила видно сразу два, и они при вращении винта удаляются одно от другого. Первую установку винта делают так, чтобы оба изображения лунного диска совпали между собою, а при второй установке добиваются того, чтобы оба изображения касались друг друга. Разность отсчетов дает диаметр лунного диска.

Четвертый метод основан на применении фотографии. Он состоит в том, что измеряют диаметр изображения Луны на снимке и затем, зная масштаб этого снимка (т. е. число угловых секунд в миллиметре), переходят от линейного диаметра к угловому.

Несмотря на такое разнообразие средств для измерения лунного поперечника, последний нам известен с точностью, которая заставляет желать лучшего. Причина этого заключается в том, что измерение видимых поперечников небесных светил вообще представляет собою тонкое и трудное дело, и его результаты искажаются многочисленными погрешностями. Во-первых, из-за волнения земной атмосферы, сквозь толщу которой мы смотрим на небесные светила, края диска обычно несколько волнуются или дрожат. Естественно, что это очень затрудняет наведение нити измерительного прибора. Во-вторых, край Луны сам по себе является далеко не гладким. Благодаря наличию на Луне гор и всяких возвышенностей он представляется наблюдателю, работающему с сильным увеличением, несколько волнистым или даже зубчатым. Это ведет к тому, что результат измерений зависит от того, на какую именно точку лунного лимба де-

ляется установка нити. Наконец, — и это, может быть, самое главное, — самому зрению наблюдателя присущ порок, называемый *иррадиацией*. Он состоит в том, что яркий объект всегда кажется нам несколько крупнее, чем он есть на самом деле. Наглядной иллюстрацией этого эффекта может служить кажущийся облик Луны в фазе узкого серпа, при которой виден пепельный свет. Радиус части диска, освещенный последним, всегда кажется значительно меньшим, чем у светлого серпа, что создает характерное впечатление «старой Луны в объятиях молодой».

Вследствие иррадиации результаты измерений сильно меняются с условиями наблюдений. Когда измеряют диск полной Луны на темном ночном небе, то получают преувеличенные значения радиуса, если же наблюдают Луну во время солнечного затмения, когда она проектируется на яркий солнечный диск в виде резкого черного силуэта, то значения радиуса, наоборот, получаются преуменьшенными. Насколько велико это различие, показывают следующие числа:

Условия наблюдения	Угловой радиус при среднем расстоянии Луны
Полнолуние; яркий лунный диск на фоне ночного неба . . .	932", 58
Новолуние; черный силуэт Луны на фоне солнечного диска	931", 92
Разность . . . . .	0", 66

В линейной мере это различие достигает примерно 1 км. В технике астрономических вычислений нашли формальный выход из этого затруднения в том, что при вычислениях видимых размеров Луны на небе пользуются верхним числом, а при предвычислениях солнечных затмений — нижним.

Измерив угловой радиус, или, как чаще говорят, диаметр лунного диска  $\delta$  и зная соответствующее расстояние до Луны  $\Delta$ , легко получить истинный, т. е. линейный радиус лунного шара. Для этого рассмотрим треугольник *ЛКН* (рис. 12). В нем *Н* — точка наблюдения, *Л* — центр Луны, *НЛ* =  $\Delta$ , *К* — точка касания, определяющая видимый лимб для наблюдателя *Н*, так что угол *НКЛ* будет прямым как составляемый касательной с радиусом *ЛК* =  $R$ . Наконец, угол *КНЛ* есть измеренный угловой радиус  $\delta$ . Из треугольника *ЛКН* получаем

$$\sin \delta = \frac{R}{\Delta},$$

откуда

$$R = \Delta \sin \delta. \quad (7)$$

Используя среднее значение  $\delta = 15'32'',15$  и вспоминая, что оно отнесено к среднему расстоянию до Луны  $\Delta = 384\,400$  км, мы, выполняя расчет, находим

$$R = 1738 \text{ км.}$$

По отношению к экваториальному радиусу Земли это составляет 0,2725 радиуса Земли. Площадь поверхности лунного шара, выражаемая формулой

$$S = 4\pi R^2,$$

оказывается равной  $3796 \cdot 10^4$  км<sup>2</sup>, или 0,07442 площади земной поверхности.

Объем Луны, вычисляемый по известной формуле

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3,$$

равен  $2199 \cdot 10^7$  км<sup>3</sup>, или 0,02030 объема земного шара.

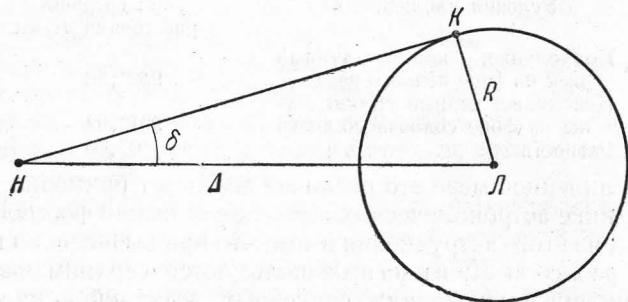


Рис. 12. Определение линейного радиуса Луны.

Для всякого небесного тела крайне важно определить его массу. В отношении планет, имеющих спутников, это делается просто и точно путем применения третьего закона Кеплера в его точной формулировке. В отношении Луны, которая сама является спутником Земли, такой способ пока неприменим. Правда, А. А. Яковкин предложил воспользоваться для этой цели возможностью создания искусственного спутника Луны. Наблюдая с Земли за его движением, можно было бы не только надежно определить массу Луны, но и изучить внутреннее строение лунного

шара. Поскольку это только проект, для определения массы Луны приходится обращаться к более трудным и менее точным косвенным методам. Они сводятся к следующему.

1. Влияние притяжения Луны на движение Земли. Согласно первому закону Кеплера Земля и Луна движутся вокруг общего центра тяжести составленной ими системы. Рассуждая строго, мы должны сказать, что по эллипсу земной орбиты вокруг Солнца движется не Земля, а центр

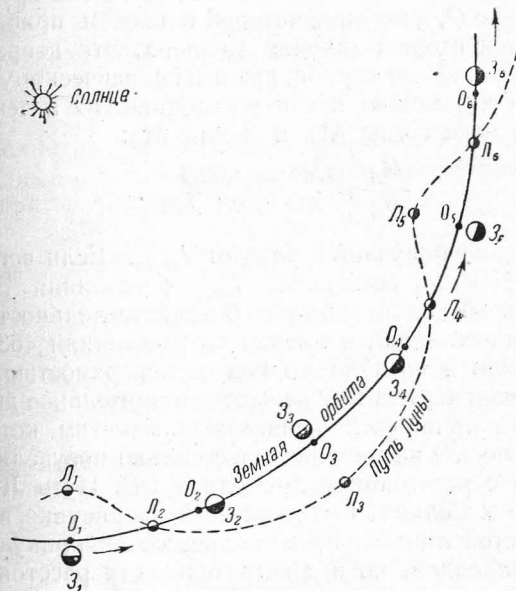


Рис. 13. Совместное обращение системы Земля — Луна вокруг Солнца.

тяжести  $O$  системы Земля — Луна. К чему это ведет, схематически показано на рис. 13. В положении 1, которое соответствует новолунию, Земля  $Z_1$  сдвинута с орбиты несколько в сторону от Солнца и располагается дальше центра тяжести  $O_1$ . Во время первой четверти Земля располагается в точке  $Z_2$ , которая лежит на самой орбите, но несколько впереди по отношению к центру тяжести  $O_2$ . Следующее положение соответствует полнолуннию. Теперь Земля  $Z_3$  смещена в сторону Солнца. В положении  $Z_4$ , т. е. при последней четверти, Земля опять располагается на орбите,



но несколько позади центра тяжести  $O_4$ . Наконец, положение  $Z_3$  опять соответствует новолунию, т. е. исходному положению Земли и Луны. Описанное обращение Земли вокруг центра тяжести системы Земля — Луна может быть обнаружено наблюдениями. Именно благодаря тому, что Земля оказывается то впереди, то позади точки  $O$ , в видимом годичном движении Солнца по эклиптике появляется некоторая дополнительная неправильность по сравнению с тем, что было бы, если бы наблюдатель все время оставался в точке  $O$ , движение которой в первом приближении определяется вторым законом Кеплера. Эти неправильности, очевидно, имеют период, равный синодическому месяцу. Определяя их, можно найти расстояние  $ZO$  и тем самым отношение масс Луны  $M_L$  и Земли  $M_3$ :

$$\frac{M_L}{M_3} = \frac{ZO}{LO} = \frac{ZO}{LZ - ZO}.$$

Это отношение получается равным  $1/81,56$ . Если вспомнить, что радиус Земли составляет  $1/60,3$  расстояния Земля — Луна, то мы убедимся, что точка  $O$  в действительности лежит внутри земного шара, а именно на расстоянии 4635 км от центра Земли и на 1743 км под ее поверхностью. Следовательно, наш чертеж изображает действительное движение Земли в сильно преувеличенном виде. Заметим, кстати, что и расстояние  $LO$  на рисунке тоже сильно преувеличено по сравнению с расстоянием до Солнца  $OS$ . Путь Луны по отношению к Солнцу, изображенный на рисунке пунктирной волнистой линией, представляет собой кривую, называемую циклоидой, но в действительности расстояние  $LO$  по сравнению с расстоянием до Солнца  $OS$  настолько мало, что кривая эта во всех своих точках вогнута в сторону Солнца.

Величину расстояния  $ZO$  можно определить также из наблюдений видимого перемещения планет, которое складывается из собственного движения планеты и движения земного шара. По ряду причин такой способ определения массы Луны оказывается даже более точным, чем по Солнцу.

2. Во введении к этой книге мы уже упоминали особые движения земной оси, называемые прецессией и нутацией, происходящие под влиянием притяжения Луны и Солнца на несколько сплюснутую фигуру земного сфероида. Характер этих движений зависит от силы притяжения, а последняя определяется массой Луны. Это позволяет на основании

сложного математического анализа указанных явлений получить значение массы Луны.

Применение перечисленных выше методов дает следующие числа:

	$M_3/M_L$
наблюдения Солнца . . . . .	81,48
анализ прецессии и нутации . . . . .	81,62
наблюдения малых планет . . . . .	81,76
наблюдения малой планеты Эрос . . . . .	81,53
весовое среднее . . . . .	81,56

Зная массу Земли, которая составляет  $5,98 \cdot 10^{27}$  г, мы можем выразить в граммах массу Луны:

$$M_L = 7,33 \cdot 10^{25} \text{ г.}$$

Разделив полученное число на объем  $V$  лунного шара, выраженный в  $см^3$ , мы получим среднюю плотность  $d$  лунного шара:

$$d = \frac{M_L}{V_L} = \frac{7,33 \cdot 10^{25}}{2,20 \cdot 10^{25}} = 3,33 \text{ г/см}^3.$$

Таким образом, плотность Луны в среднем значительно меньше плотности Земли, которая, как известно, составляет  $5,52 \text{ г/см}^3$ ; она приближается к плотности тяжелых горных пород земной коры, как, например, базальта, дунита и др.

Зная массу и радиус небесного тела, мы можем рассчитать ускорение силы тяжести на поверхности этого тела. Для Луны это дает:

$$g = \frac{GM_L}{R^2} = 161,55 \text{ см/сек}^2,$$

где  $G$  — постоянная тяготения. Если вспомнить, что на Земле  $g = 981 \text{ см/сек}^2$ , то мы приходим к заключению, что ускорение силы тяжести, а вместе с тем и вес всякого предмета на Луне, в шесть раз меньше, чем на Земле.

С массой связана еще одна очень важная величина, а именно критическая скорость  $v_k$ , или скорость убегания у поверхности тела. Так называется скорость, при которой путь движущегося тела имеет форму параболы — кривой линии с бесконечно расходящимися ветвями. Поэтому тело, движущееся со скоростью, равной или большей  $v_k$ , навсегда покидает данное небесное тело и улетает в мировое пространство, в то время как при движении со скоростью,

меньшей  $v_k$ , тело либо падает на поверхность обратно, либо становится спутником этого небесного тела. Скорость  $v_k$  вычисляется по формуле

$$v_k = \sqrt{2gR} \quad (8)$$

и для Луны получается равной 2,4 км/сек; напомним, что для Земли она составляет 11,2 км/сек.

## § 8. Вращение Луны и ее либрация

С незапамятных времен человек, глядя на Луну, видел на ее лике один и тот же узор темных пятен. Движение Луны среди звезд, изменение ее фазы, видимое перемещение по небу в силу суточного движения как будто совсем не сказываются на сероватом рисунке, ясно выступающем на более светлом фоне лунного диска. Это обстоятельство требовало объяснения. В средние века по этому поводу были высказаны предположения, столь же странные, сколь и неверные. Например, утверждали, что Луна представляет собою нечто вроде зеркала, в котором всегда отражается одна и та же картина земной поверхности.

Победа гелиоцентрической системы мира Коперника и распространение правильных взглядов на строение солнечной системы в целом принесли и решение вопроса о лунном лике. Обсуждая причины постоянства его вида, Галилей в начале XVII в. делает вывод, что лунный шар, двигаясь вокруг Земли, поворачивается вместе с тем так, что всегда оказывается обращенным к нам одной и той же стороной. А это означает, что продолжительность оборота Луны вокруг Земли в точности равна продолжительности ее оборота вокруг оси.

Разумеется, точное совпадение периодов двух независимых явлений не может быть делом случая. Объяснение этому факту надо искать в самой истории возникновения и последующего развития Луны. По-видимому, причина заключается в тормозящем действии приливного трения, на что мы указывали во введении.

Поскольку лунный шар вращается, встает вопрос о детальном изучении особенностей этого своеобразного вращения, которые становятся весьма любопытными в связи со сложностью лунного движения, порождаемой неравенствами.

Луна, как и всякое небесное тело, вращается вследствие инерции, а потому естественно ожидать, что это вращение происходит равномерно, т. е. с постоянной угловой скоростью. Это предположение оправдывается наблюдениями в пределах весьма высокой точности, хотя и не абсолютно, о чем речь будет ниже. Но как направлена в пространстве ось вращения Луны?

Этот вопрос был детально исследован французским астрономом Домиником Кассини в XVIII в., который и установил три основных закона вращения Луны:

1. Луна вращается вокруг неизменной оси; причем время оборота вокруг последней точно равно времени оборота вокруг Земли.

2. Наклон лунного экватора к эклиптике — величина постоянная и равная  $1^\circ 32'$ .

3. Восходящий узел лунного экватора на эклиптике всегда совпадает с нисходящим узлом лунной орбиты.

Восходящим узлом лунного экватора называется точка небесной сферы, в которой проекция этого экватора пересекается с большим кругом эклиптики. Поскольку узлы орбиты перемещаются вследствие явления регрессии, с ними вместе движется и узел экватора, обходя эклиптику за 18,6 года. Благодаря этому небесный полюс для расположенного на Луне наблюдателя сравнительно быстро перемещается по небу, описывая на небесной сфере малый круг с центром в полюсе эклиптики и угловым радиусом  $1^\circ 32'$ . Одновременно ось вращения Луны описывает круговой конус, ось которого совпадает с осью эклиптики, а угол между осью конуса и образующей равен  $1^\circ 32'$ . Это явление вполне аналогично земной прецессии.

Расположение пятен на лунном диске кажется неизменным лишь при наблюдениях Луны невооруженным глазом. Более детальное изучение показывает, что вся система пятен и других подробностей непрерывно сдвигается то к западу, то к востоку, то к северу, то к югу по отношению к краям лунного диска. Это особенно хорошо заметно для деталей, расположенных близко от края, например для Моря Кризисов на западе и для цирка Гримальди на востоке. Просто на глаз, без всяких измерений, в телескоп видно, что в некоторые дни Гримальди приближается к краю, а Море Кризисов отходит дальше от края диска, в то время как в другие дни бывает наоборот. В связи с этим горы и пятна, расположенные у самого лимба, то скрываются

за краем диска, то выходят на обращенное к нам полушарие. Все это происходит так, как если бы лунный шар медленно покачивался относительно некоторого среднего положения. Описанное явление получило название *либрации*, что происходит от латинского слова *libra* — весы, качели, и в переводе значит качание, покачивание.

Причина либрации в основном чисто геометрическая и заключается в том, что Луна вращается равномерно, в то время как ее движение по орбите, согласно второму закону Кеплера, происходит неравномерно, а наблюдатель занимает по отношению к орбите эксцентрическое положение. Для более детального изучения явление *геометрической либрации* удобно разделить на три составляющие и рассматривать каждую из них отдельно.

1. **Л и б р а ц и я п о д о л г о т е.** Это явление поясняется рис. 14, на котором  $Z$  — центр Земли, а  $O$  — центр эллипса лунной орбиты. В положении  $L_1$  Луна находится

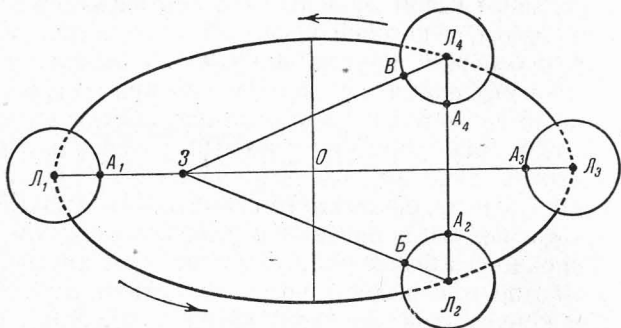


Рис. 14. Либрация Луны по долготе.

в перигее; к центру Земли будет обращен радиус Луны  $L_1A_1$ , так что точка  $A_1$  совпадает с видимым центром диска. Через четверть аномалистического месяца, поскольку движение в перигее быстрее среднего, Луна пройдет по орбите больше четверти эллипса, и ее центр окажется в точке  $L_2$ . Но поскольку вращение Луны равномерно, то за то же время она повернется вокруг оси ровно на четверть оборота, и радиус  $L_1A_1$  займет положение  $L_2A_2$ , перпендикулярное к большой оси эллипса. Как видно из рисунка, теперь к Земле направлен радиус  $L_2B$ , и в центре диска окажется точка  $B$ . В связи с этим наблюдателю будет казаться, что лунный шар повер-

нул на угол  $BL_2A_2$ , который и выражает либрацию по долготе.

По истечении половины аномалистического месяца центр Луны окажется в точке апогея  $L_3$ , пройдя ровно половину эллипса; в то же время шар Луны и вокруг оси завершит ровно половину оборота. Поэтому радиус  $L_2A_2$  займет положение  $L_3A_3$  и будет снова обращен к Земле, так что точка  $A$  вернется в центр диска, как это было полмесяца назад.

Около апогея Луна движется медленно, и потому за следующую четверть аномалистического месяца она пройдет меньше четверти эллипса, и ее центр займет положение  $L_4$ . Радиус  $L_3A_3$  займет положение  $L_4A_4$ , а к Земле будет направлен радиус  $L_4B$ . Наблюдателю будет казаться, что Луна повернулась на угол  $BL_4A_4$  в сторону, противоположную тому, что было в положении  $L_2$ . По истечении месяца восстановится исходное положение, и в центре диска снова окажется точка  $A$ .

Наибольшее значение либрации по долготе составляет  $\pm 7^\circ 45'$ .

2. **Л и б р а ц и я п о ш и р о т е.** Плоскость лунного экватора, как мы говорили выше, составляет с плоскостью эклиптики угол в  $1^\circ, 5'$ , а лунная орбита наклонена к эклиптике примерно на  $5^\circ$ . Поэтому наклон лунного экватора к лунной орбите составляет более  $6^\circ$ . Двигаясь вокруг Земли, Луна обращает к нам то северный полюс, то южный, что аналогично изменению времен года на Земле. Это пояснено на рис. 15. В положении  $L_1$  к Земле обращен северный полюс Луны  $N$ , и потому в центре диска оказывается точка  $A$ ,

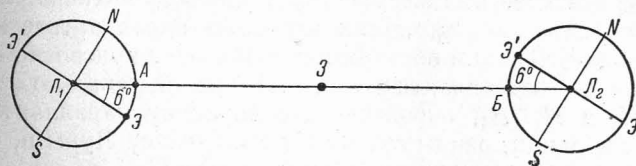


Рис. 15. Либрация Луны по широте.

широта которой, считаемая от экватора Луны, выражается углом  $AL_1Z$ , равным  $6^\circ$ . В положении  $L_2$  к Земле обращен южный полюс  $S$ , и в центре диска окажется точка  $B$  с широтой  $-6^\circ$ .

Углы  $AL_1Z$  и  $BL_2Z$  выражают либрацию по широте, крайние значения которой достигают  $\pm 6^\circ 41'$ .

3. Параллактическая либрация. Все сказанное выше относилось к центру Земли, в действительности же наблюдатель находится на поверхности земного шара. На рис. 16  $Z$  — центр Земли,  $H_1H_2H_3$  — земной экватор; центр Луны  $L$  для простоты помещен в плоскости последнего. Для наблюдателя, находящегося в точке  $H_1$ , Луна восходит, и в центре лунного диска видна точка  $A_1$ . Через шесть часов наблюдатель переместится в точку  $H_2$

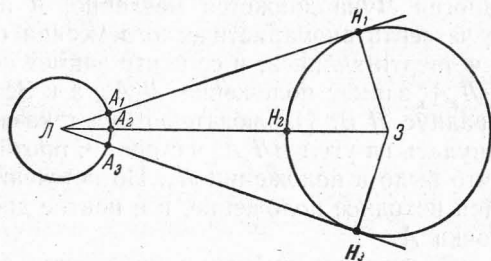


Рис. 16. Параллактическая либрация Луны.

и будет видеть в центре лунного диска точку  $A_2$ , совпадающую с той, которую было бы видно из центра Земли  $Z$ . Еще через шесть часов наблюдатель окажется в точке  $H_3$ , и центр диска заходящей Луны для него придется на точку лунного шара  $A_3$ .

Таким образом, если бы Луна относительно центра Земли была совершенно неподвижной, то из-за вращения земного шара наблюдателю казалось бы, что лунный шар поворачивается на угол  $A_1LA_3$ . Поскольку всякое видимое движение светила, вызываемое перемещением наблюдателя в пространстве, в астрономии называют параллактическим, возникающей таким образом либрации тоже присвоено наименование «параллактической». Легко видеть, что углы  $H_1LN_2$  и  $H_2LN_3$ , определяющие величину параллактической либрации, равны суточному параллаксу Луны и, следовательно, составляют каждый около  $1^\circ$ .

Все три вида либрации совместно вызывают перемещение видимого центра диска по лунной поверхности в пределах малого круга с угловым радиусом примерно в  $10^\circ$ . Это обстоятельство значительно расширяет наши возможности изучения Луны, так как позволяет обозреть до 60% поверхности лунного шара.

Для подробного изучения сложного явления либрации выбирают какое-нибудь хорошо заметное образование

в центральной части лунного диска и каждый день точно измеряют его расстояние от четырех точек лимба — северной, южной, восточной и западной. Обычно для наблюдений такого рода берут кратер Местинг, резко выделяющийся в центре Луны в виде яркой точки. Многолетние тщательно проведенные серии наблюдений этого кратера были сделаны А. А. Яковкиным на Энгельгардтовской обсерватории под Казанью при помощи гелиометра. Наблюдения такого рода позволили обнаружить еще один вид либрации, который называют *физической либрацией*. Последняя отражает некоторую действительную неравномерность вращения Луны вокруг оси, правда, очень незначительную. Смещение видимого центра Луны, вызываемое этим обстоятельством, составляет всего несколько минут дуги. Однако его существование имеет очень важное значение для проблемы строения Луны. Оно указывает, что Луна не является телом строго шарообразной формы, но слегка вытянута по направлению к Земле. Это ведет к тому, что при увеличении угла либрации по долготе выступ лунной поверхности отходит от линии Луна — Земля. Земное притяжение стремится вернуть его на эту линию и этим в одних положениях тормозит, а в других ускоряет вращение Луны. По исследованиям А. А. Яковкина направленный к Земле радиус Луны превосходит перпендикулярные к нему радиусы всего на несколько километров.

## § 9. Лунные затмения

В связи с изучением природы Луны интерес представляет явление лунного затмения, которое, как известно, состоит в прохождении земной тени по лунному диску. Эффектная картина этого явления привлекала внимание человека с незапамятных времен. Напомним кратко ее течение.

Диск совершенно полной Луны начинает слегка темнеть где-то с левой стороны. Это потемнение — полутень, сквозь которую проходит Луна перед началом настоящего, или, как выражаются в астрономии, теневого затмения. Для наблюдателя, находящегося на лунной поверхности, в это время происходит частное солнечное затмение: большой темный диск Земли понемногу надвигается на диск Солнца, заслоняя его все больше и больше. Освещение лунной поверхности, а с ним и яркость

соответствующего участка лунного диска, наблюдаемого с Земли, убывает соразмерно площади солнечного диска, оставшейся еще не закрытой. Все это составляет фазу полутеневого лунного затмения.

Самый момент вступления Луны в полутень вообще проходит совсем незаметно. Легкое потемнение, о котором мы говорили выше, появляется лишь позднее, и то его может заметить лишь тот, кто заранее знает о наступающем явлении и специально сравнивает левый и правый края Луны. Но с течением времени различие в яркости между последними усиливается, его становится видно все лучше и лучше и, наконец, левый край темнеет настолько, что это бросается в глаза с первого взгляда. Вскоре вслед за тем на Луну вступает собственно тень. Момент первого появления тени называют первым контактом, т. е. первым соприкосновением между краем Луны и краем тени. Этот момент стараются возможно точнее заметить по выверенным часам. Однако сделать это не так просто, потому что край тени всегда бывает размыт и переходит в потемнение полутени плавно и постепенно, через узкую зону промежуточной яркости, называемую *каймой тени*.

С момента первого контакта для земного зрителя начинается частная фаза теневого лунного затмения, а на части поверхности Луны, погруженной в земную тень, наступает полное затмение Солнца.

Луна перемещается по небу справа налево, и потому тень быстро надвигается на лунный диск с восточной стороны, покрывая один за другим кратеры, цирки, пики, извилины контуров морей. На первых порах покрытая тенью часть лунной поверхности кажется совершенно черной. Но так получается из-за того, что оставшаяся не закрытой часть Луны слишком сильно слепит зрение наблюдателя. Когда тень покроет  $\frac{1}{4}$  или  $\frac{1}{3}$  диаметра Луны, становится заметным слабое освещение погруженной в тень лунной поверхности. Чем дальше подвигается тень, тем лучше видно этот своеобразный свет. В соответствии с этим в зоне тени начинают появляться контуры морей, отдельные яркие кратеры и другие детали лунной поверхности. Вместе с тем начинает распознаваться и знаменитая красная окраска зоны тени. Чаще всего бывает, что наружная зона тени оказывается менее темной и чистосерой, в то время как внутренние ее части темны

и красиво окрашены в густые оттенки вишнево-красного, грязно-кирпичного или бурого цвета.

Во многих случаях Луна проходит через тень с краю и лунное затмение оказывается только частным: тень, покрыв ту или иную часть площади лунного диска, начинает сходить, понемногу освобождая ночное светило. Но не составляют редкости и полные затмения Луны. В этом случае земная тень подвигается все время вперед, оставляя открытой все меньшую площадь лунного диска. Наступает момент второго контакта, когда край тени касается края лунного диска изнутри, что является моментом начала полного лунного затмения. Этот момент также стараются заметить с возможно большей точностью.

Во время полного затмения, которое может длиться свыше часа, диск Луны обычно остается виден. Хотя он весь темен, но благодаря отсутствию слепящей полутеневой части диска нюансы расцветки воспринимаются зрением особенно резко. Обычно край Луны, обращенный к центру тени, наиболее темен и его окраска в красные цвета наиболее насыщена. Противоположный край Луны, обращенный к внешней границе тени, бывает значительно светлее; его серый в действительности цвет благодаря физиологическому явлению одновременного цветового контраста с красными тонами внутренней части тени кажется наблюдателю зеленоватым или голубым, а при более глубоком погружении в тень — желтоватым. Иногда во внутренней части тени намечается особенно темная и густо окрашенная зона тени, называемая ядром тени.

По мере того, как лунный диск пересекает земную тень, его светлые и темные края перемещаются и, наконец, меняются местами: светлым оказывается уже левый, передний по движению Луны край, которым Луна приближается к границе тени. Лунный диск понемногу светлеет и, наконец, на левом краю вспыхивает яркая золотая полоска освободившейся от тени поверхности. Этот момент, составляющий конец полного затмения, называют третьим контактом. Вслед за тем в обратном порядке повторяется последовательность частных фаз теневого затмения. Тень постепенно сдвигается, уступая место полутени. Наступает четвертый контакт — момент, когда тень полностью покидает лунный диск. На Луне остается только полутень, которая исчезает плавно и незаметно.

Степень погружения Луны в тень выражают величиной фазы затмения. Так называется закрытая тенью доля диаметра Луны, т. е. отношение отрезка  $BB'$  к диаметру  $AB$  лунного диска; центр последнего находится в точке  $Л$ , в то время как дуга  $K_1K_2$  представляет собой край тени. Для частного затмения фаза будет правильной дробью, при полном затмении она становится больше единицы (рис. 17).

В табл. 3 мы приводим средние значения фазы, при которых происходят наиболее существенные изменения картины лунного затмения. Таблица составлена по многолетним наблюдениям В. В. Шаронова. Данные таблицы соответствуют только некоторой средней картине затмения; реальная картина от затмения к затмению довольно сильно меняется. Так, случаются очень светлые затмения, когда даже в центральных частях тени отчетливо видны сравнительно мелкие детали лунной поверхности; цвет тени в этом случае бывает не

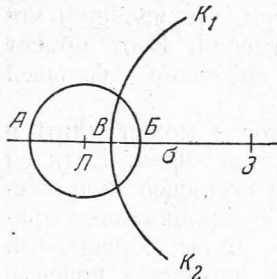


Рис. 17. Фаза лунного затмения.

столько красным, сколько оранжевым. Бывают и аномально темные затмения, когда уже в краевых частях тени Луна едва видна, а в центральных становится вовсе невидимой. Это разнообразие яркости и расцветки Луны во время разных затмений делает наблюдение затмений особенно привлекательным, а вместе с тем и полезным для науки. При этом важно отличать реальные различия от того, что определяется разницей в условиях наблюдения.

Какое значение для науки имеет наблюдение лунных затмений? В чем интерес такого простого и давно известного явления, как прохождение Луны сквозь земную тень?

Прежде всего явление затмения представляет интерес с точки зрения изучения природы самой поверхности Луны. Далее мы покажем, что измерения температуры во время затмения позволили сделать весьма важное заключение о пористости вещества, составляющего наружный покров Луны. Далее, некоторые наблюдатели утверждали, что им удавалось замечать изменение размеров и формы некоторых пятен лунного диска при их погружении в тень; появлялись также сообщения о случаях люминесценции, т. е. собст-

Явление	Среднее значение фазы
<b>Полутеневое затмение</b>	
Полутень на глаз не заметна . . . . .	для полутени 0,6
Появление и исчезновение первых признаков потемнения . . . . .	0,71
Потемнение видно ясно . . . . .	0,83
Край Луны в области контакта очень темн . . . . .	0,9
<b>Частные фазы теневого затмения</b>	
Теневой край всегда невидим . . . . .	для тени 0,00—0,03
Появление и исчезновение теневого края на фоне неба . . . . .	0,13
Теневой край ясно видим . . . . .	0,22
Первые и последние признаки красной окраски тени . . . . .	0,39
Красноватый цвет тени ясен . . . . .	0,43
Появление и исчезновение контуров морей в тени . . . . .	0,40
Моря видны ясно . . . . .	0,46
Моря видны со всеми деталями (различаются заливы Радуги, Росы и другие) . . . . .	0,76
Тень ясно разделяется на две зоны: внешнюю, серую, светлую и среднюю, окрашенную, темную . . . . .	0,73
Окраска средней зоны становится насыщенной . . . . .	0,78
Появляется «ядро», т. е. внутренняя темная часть тени . . . . .	0,82
Хорошая видимость главнейших кратеров . . . . .	0,84
<b>Полное затмение</b>	
Светлый край диска кажется зеленым . . . . .	1,04
» » » » золотисто-желтым . . . . .	1,20
» » » » оранжевым . . . . .	1,33
Весь диск имеет одинаковый цветовой тон . . . . .	1,5

венного свечения различных участков лунной поверхности во время затмения. Реальность таких явлений в настоящее время не может считаться доказанной, но тем интереснее проверять их при каждом затмении. Некоторые авторы придают большое значение тому быстрому изменению температуры, которое сопровождает солнечное затмение на Луне. Ему приписывается способность вызывать растрескивание и «шелушение» наружного покрова горных

пород. Сторонники таких взглядов считают, что полушарие Луны, повернутое прочь от Земли, по природе покрова должно существенно отличаться от наблюдаемого нами, поскольку на него земная тень никогда не попадает и поэтому оно не подвергается разрушающему действию колебаний температуры. Правда, на это возражали, что еще более быстрые колебания температуры вызывает прохождение теней одних деталей рельефа по другим.

Еще больший интерес явление лунного затмения представляет для изучения земного шара. Древняя и средневековая наука приводила круговую форму земной тени как одно из главных и бесспорных доказательств шарообразной формы Земли. Конечно, в наше время фигура Земли изучается гораздо более точными геодезическими методами, так что пользоваться лунными затмениями в этой проблеме нет надобности. Но зато широкое развитие получили методы исследования земной атмосферы, основанные на материалах лунных затмений. Со времени Кеплера известно, что красное освещение погруженного в тень диска Луны происходит от преломления солнечных лучей в газовой оболочке земного шара. Те своеобразные изменения яркости и цвета этого освещения, которые мы наблюдаем на лунном диске при каждом затмении, отражают перемены в преломляющей и поглощающей способности различных слоев воздуха. Поэтому их надлежащее выполненное исследование дает ценный для теории и практики материал для изучения строения атмосферы нашей планеты.

Рассмотрим явление лунных затмений сначала с астрономической стороны. Для этого вспомним, как строится тень, отбрасываемая земным шаром.

Пусть  $Z$  (рис. 18) — центр Земли,  $C$  — центр Солнца. Прямая  $CZ$ , представляющая собой радиус-вектор Земли, служит в то же время и осью конуса земной тени. Для того чтобы построить этот конус, проводим семейство прямых  $K_1B_1$ ,  $K_2B_2$  и т. д., касательных к поверхности Солнца и Земли одновременно. Они все пересекаются в общей точке  $B$ , которая является вершиной конуса полной тени. Легко понять, что внутрь этого конуса прямые лучи Солнца вообще не должны попадать. Обозначим линейный радиус Земли через  $R_3$ , радиус Солнца —  $R_л$ , расстояние от Солнца до Земли —  $\Delta$ . Длина тени изображена на рис. 18 отрезком  $ZB=L$ . Для того чтобы

определить  $L$ , проведем через точку  $K_1$  прямую  $K_1A$ , параллельную оси тени. Очевидно, что отрезок  $AB_1$  равен разности радиусов Солнца и Земли  $R_л - R_3$ . Из подобия треугольников  $ZK_1B$  и  $AB_1K_1$  следует:

$$\frac{ZB}{AK_1} = \frac{R_л}{R_л - R_3}. \quad (9)$$

Замечая, что  $AK_1 = \Delta$ , получаем:

$$L = \frac{R_л}{R_л - R_3} \Delta = 0,009251 \Delta. \quad (10)$$

Принимая за единицу радиус земного экватора  $R_3$ , мы получим, что при среднем значении  $\Delta$  будет  $L = 216,9$ .

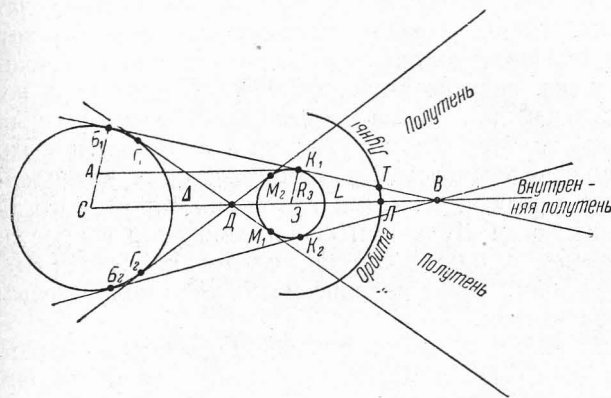


Рис. 18. Тень и полутень Земли.

В то же время среднее расстояние Луны от Земли в тех же единицах составляет 59,8. Таким образом, конус земной тени простирается далеко за орбиту Луны, и потому Луна может целиком погружаться в тень и находиться там довольно долго. Действительно, радиус конуса тени на расстоянии Луны, на рис. 18 выраженный отрезком  $LT$ , может быть найден из пропорции:

$$\frac{LT}{ZK_1} = \frac{VL}{BZ} = \frac{BZ - ZL}{BZ}. \quad (11)$$

Делая расчет, находим, что радиус тени  $LT$  будет равен 0,724 земного радиуса, в то время как радиус Луны  $R_л$  составляет только 0,272. Следовательно, при средних рас-

стояниях радиус тени превосходит радиус Луны в 2,66 раза. Вследствие эксцентриситетов орбит Земли и Луны это отношение может меняться в пределах от 2,57 до 2,74. Принимая в расчет скорость движения Луны по орбите, легко найти, что при центральном прохождении через тень Луна целиком может находиться в последней до 1 часа 45 минут. Вместе с частными фазами лунное затмение может длиться до 3 часов 45 минут.

На рис. 18 проведены также касательные  $\Gamma_1 M_1$  и  $\Gamma_2 M_2$  к противоположным краям Солнца и Земли. Они ограничивают конус полутени, вершина  $D$  которого лежит между Землей и Солнцем. В области полутени диск Земли закрывает лишь часть диска Солнца и потому расположенный там наблюдатель увидел бы частное затмение Солнца. Перед началом частных фаз лунного затмения Луна обязательно проходит через земную полутень, что, как было сказано выше, сопровождается лишь незначительным и для глаза почти незаметным уменьшением ее яркости. Моменты вступления в полутень и выхода из нее всегда сообщаются в астрономических календарях наряду с прочими данными о затмении. Кроме того, бывают случаи, когда Луна при своем движении в пространстве пересекает только полутень, совсем не заходя в конус полной тени. Такое явление называется полутеневым лунным затмением.

При каких условиях случается лунное затмение и как часто оно бывает? Поскольку тень Земли направлена в сторону, противоположную Солнцу, очевидно, что лунное затмение совпадает с фазой полнолуния. Однако далеко не каждое полнолуние сопровождается затмением, хотя бы полутеневым. Отчего это получается, показано на рис. 19.

Видимый путь Луны на небесной сфере, представляя собою проекцию лунной орбиты, составляет с эклиптикой угол немного более  $5^\circ$ . В силу этого Луна, будучи в фазе полнолуния, вообще говоря, будет проходить на небе либо севернее границы полутени (как это показано на рис. 19, IV), либо южнее ее. Точное совмещение лунного диска с центром тени возможно только в тот момент, когда Луна пересекает эклиптику, т. е. находится в одном из узлов своей орбиты (рис. 19, I). Таким образом, общее условие для наступления лунного затмения состоит в том, что полнолуние должно совпасть с прохождением Луны через узел.

Поскольку земная тень и лунный диск имеют известное протяжение, затмение того или иного типа может произойти и на некотором расстоянии от узла. Легко понять, что пределом для возможности частного лунного затмения будет такое расстояние от узла, на котором расстояние между орбитой и эклиптикой и орбитой Луны равно сумме угловых радиусов  $r_{\text{т}} + r_{\text{л}}$  тени и лунного диска, как это изображено на рис. 19, II. Равным образом полное лунное затмение возможно лишь в той зоне, где расстояние между орбитой и эклиптикой не превосходит разность  $r_{\text{т}} - r_{\text{л}}$ . Аналогично, граница полутеневого затмения вообще

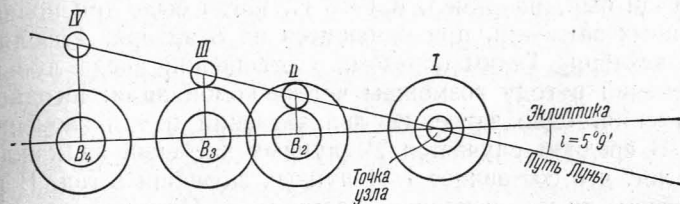


Рис. 19. Условия наступления лунных затмений.

определяется точкой эклиптики  $B_2$  (рис. 19, III), для которой расстояние между орбитой и эклиптикой равно  $r_{\text{п}} + r_{\text{л}}$ , где  $r_{\text{п}}$  — угловой радиус полутени.

Несложный расчет показывает, что расстояние от узла до точки эклиптики  $B_2$ , определяющей границу частного лунного затмения, не превосходит  $12^\circ$ . Поскольку вправо (к западу) от узла вдоль эклиптики лежит такая же зона, общая дуга эклиптики, в которой возможны затмения, составляет  $24^\circ$ . Солнце, а вместе с ним и точка  $B$  перемещаются по эклиптике примерно на  $1^\circ$  в день. Следовательно, точка  $B$  остается в том интервале, где затмения возможны, в течение 24 дней. Если на этот промежуток времени приходится полнолуние, то случается и лунное затмение. Но поскольку синодический месяц составляет 29,5 дня, этого может и не произойти.

Через полгода (точнее, через шесть драконических месяцев, т. е. через 173 дня) точка  $B$  проходит через противоположный узел лунной орбиты, по обе стороны от которого лежит точно такая же зона возможности лунных затмений. В связи с этим опять наступает период в 24 дня, когда возможны лунные затмения.



Из сказанного следует, что, вообще говоря, возможны два лунных затмения в году, разделенные промежутком в шесть синодических месяцев. Двух лунных затмений подряд, т. е. при двух последовательных полнолуниях, быть не может. Но в некоторые годы при особом стечении обстоятельств возможны три лунных затмения. Это связано с явлением регрессии лунных узлов, описанным в § 5. Если точка *B* попадает в зону возможных затмений в начале января, то у другого узла она будет в июне — июле. Далее, поскольку узел движется ей навстречу, она снова встретится с первым узлом в конце декабря. Такой случай был, например, в 1918 г., когда было три полных лунных затмения, приходившиеся на 8 января, 4 июля и 28 декабря. Таким образом, в отношении числа лунных затмений в году возможны четыре комбинации: ни одного затмения, одно затмение, два затмения и три затмения.

В среднем случается 29 лунных затмений за каждые 18 лет, что составляет 1,54 лунных затмения в год. В известном труде немецкого астронома Оппольцера, приближенно предвычислившего солнечные и лунные затмения для трех тысячелетий, на протяжении эпохи от 1206 г. до н. э. до 2163 г. н. э., оказалось 5200 лунных затмений. В это число входят все частные и полные затмения, но не входят полутеневые.

### § 10. Влияние земной атмосферы на картину лунного затмения

Если бы Земля была лишена газовой оболочки, то ее тень была бы совершенно черная, и расчет как тени, так и полутени выполнялся бы весьма просто на основании тех геометрических соображений, которые были изложены в § 9. Атмосфера нашей планеты значительно изменяет эту картину. Как мы уже говорили, ее влияние сводится к двум эффектам. Во-первых, благодаря явлению преломления или рефракции солнечные лучи загибаются и проникают внутрь конуса полной тени, где при отсутствии атмосферы господствовал бы полный мрак. Известно, что рефракция для светила, находящегося на самом горизонте, составляет примерно 35'. Из этого следует, что солнечный луч, следующий касательно к поверхности земного шара и потому проходящий всю толщу земной атмосферы дважды (на пути от Солнца к точке

касания и от точки касания в мировое пространство), отклоняется от первоначального направления на  $2 \times 35' = 70'$ , т. е. более, чем на  $1^\circ$ . Нетрудно рассчитать, что преломленные лучи, огибая земной шар с разных сторон, образуют конус, вершина которого лежит на оси тени на расстоянии от Земли, равном  $\frac{2}{3}$  радиуса лунной орбиты. Благодаря этому зона конуса тени, пересекаемая Луной во время затмения, оказывается везде освещенной этими преломленными лучами. Проходя на пути к Луне сквозь очень большую толщу воздуха, этот световой поток теряет в результате рассеяния почти всю свою коротковолновую часть, так что к Луне проходят в основном красные лучи. Это и придает лунной поверхности то красное вишнево-красное освещение, которым мы любуемся во время затмения.

Во-вторых, сама атмосфера дает тень и этим увеличивает радиус земной тени. Это увеличение составляет 2%, из чего следует, что толщина слоя воздуха, дающая густую темную тень, составляет 125 км. На первый взгляд это может показаться очень странным: дело в том, что высотам в 125 км соответствуют слои ионосферы, где плотность воздуха ничтожна, где никогда не бывает ни облаков, ни туманов и потому ослабление лучей за счет рассеяния и поглощения исчезающе мало. Как же могут давать тень прозрачные слои чистых газов ионосферы?

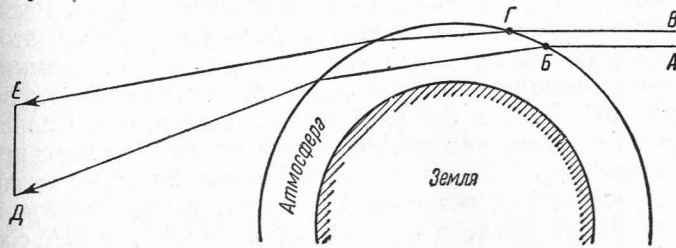


Рис. 20. Схема, объясняющая ослабление пучка солнечных лучей за счет разности в преломлении лучей слоями атмосферы Земли.

Ответ на этот вопрос был получен еще в прошлом столетии. Причина тут лежит в рефракции, точнее, в изменении величины последней с высотой над земной поверхностью. Для того чтобы понять, в чем здесь дело, рассмотрим лучи *AB* и *BГ* (рис. 20), которые до вступления

в земную атмосферу можно считать параллельными. После прохождения атмосферы их пути оказываются различными вследствие того, что луч *АВ* проходит сквозь более низкие слои воздуха и потому отклоняется на больший угол, чем луч *ВГ*. В силу этого пучок параллельных лучей превращается в пучок расходящихся лучей, в результате чего энергия, заключенная в пучке, распределится на большую площадь *ДЕ*, и потому создаваемая им освещенность будет сильно ослаблена. Так возникает рефракционная тень вполне прозрачных воздушных слоев.

Рефракционную тень легко можно наблюдать при помощи двояковогнутой линзы такого типа, какие ставятся в очках для близоруких. Рассматриваемая на просвет, такая линза кажется прозрачной, поскольку ослабление света в ней незначительно. Но если поместить линзу на пути солнечных лучей и поставить сзади белый экран, то на нем появится круглая темная тень, как если бы линза была сделана из малопрозрачного материала. Эта тень возникает оттого, что вогнутая линза отклоняет, или, как говорят в оптике, рассеивает лучи наружу (рис. 21).

Для того чтобы ясно понять особенности лунного затмения, нужно вспомнить, что в то время, когда мы с Земли любимся явлением лунного затмения, для лунной поверхности происходит солнечное затмение, состоящее в том, что большой диск Земли закрывает диск Солнца. Расчет позволяет довольно подробно нарисовать картину этого весьма своеобразного явления. Прежде всего напомним, что диск Земли имеет с поверхности Луны видимый угловой радиус  $57'$ , т. е. в 3,6 раза превосходит радиус Солнца, который с Луны, как и с Земли, равен  $16'$ . По мере приближения диска Земли к диску Солнца начинает сказываться рефракция в земной атмосфере. Когда расстояние между краем Земли и краем Солнца составляет  $27''$ , солнечный диск начинает понемногу сплющиваться, его край как бы отступает перед надвигающимся краем нашей планеты. Благодаря этому в момент геометрического контакта, когда расстояние между центрами Солнца и Земли равно  $73'$ , видимого соприкосновения не произойдет и между краями светил останется зазор в  $20''$ . Скрываясь за диском Земли, диск Солнца в дальнейшем начинает выпускать как бы огненные усики, охватывающие край диска Земли с обеих сторон (рис. 22).

В момент второго контакта, когда диск Солнца полностью скрывается за диском Земли, солнечный свет остается виден, поскольку усики образуют серп, охватывающий дугу края Земли в  $46^\circ$ . Внутренний край этого серпа отстоит от края Земли на  $3'',7$ .

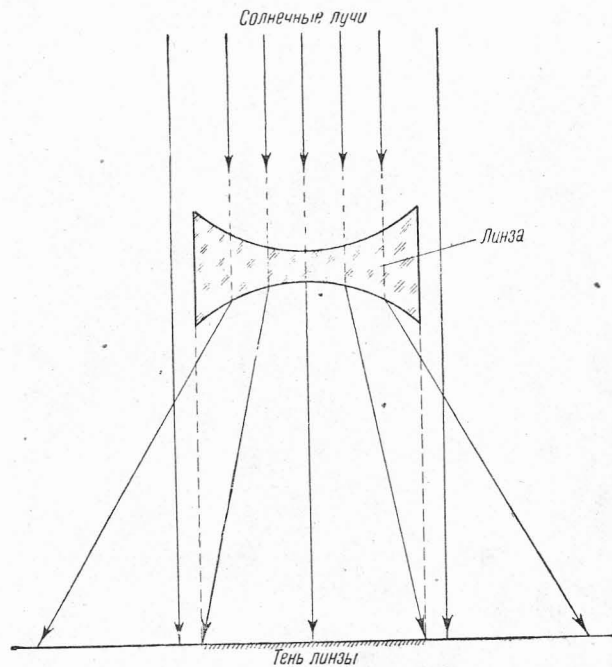


Рис. 21. Образование тени от рассеивающей линзы.

По мере дальнейшего углубления Солнца за диск Земли этот серп продолжает растягиваться, все больше распространяясь вдоль края. В тот момент, когда передний край Солнца подходит к центру диска Земли на расстояние в  $11'$  (этому соответствует расстояние между центрами обоих светил  $27'$ ), появляется второй огненный серп с противоположной стороны диска Земли. Усики этого нового серпа растут навстречу прежнему серпу и в тот момент, когда край Солнца достигает центра Земли, оба серпа смыкаются в сплошное огненное кольцо. В момент центрального затмения оно образует вокруг диска Земли рав-

номерный огненный ободок, шириной в  $2'',5$ . Поскольку синие и фиолетовые лучи практически полностью задер-

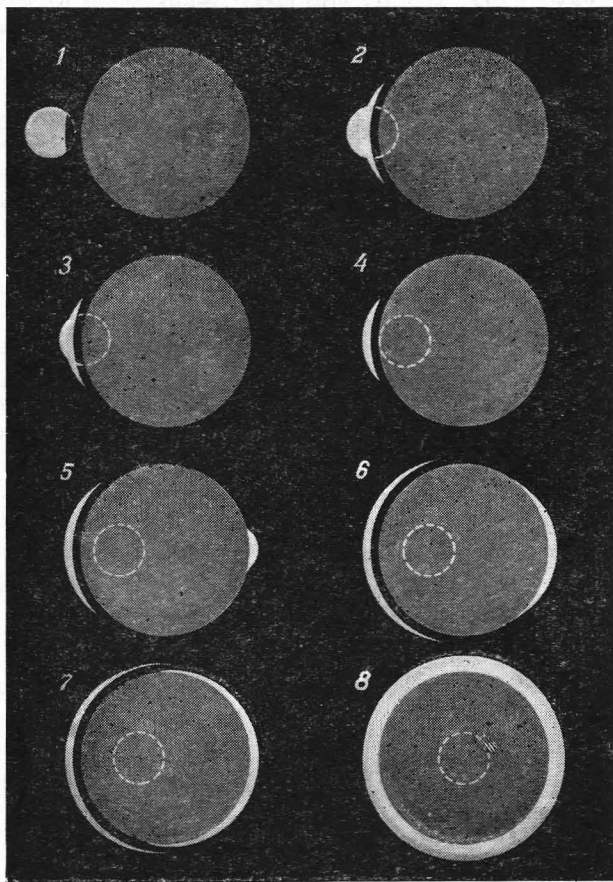


Рис. 22. Картина солнечного затмения, наблюдаемого с поверхности Луны. Схема явления упрощена; относительные размеры дисков Земли и Солнца соблюдены, но высота земной атмосферы и определяемая ею ширина светлых серпов и их расстояний от края Земли преувеличена почти в 200 раз.

живаются в земной атмосфере, кольцо это будет иметь насыщенно красную окраску. Его свет и дает на Луне красное освещение, наблюдаемое при полном лунном затмении.

Зная для земной атмосферы ход плотности, а следовательно, и ход рефракции с высотой, можно разработать подробную фотометрическую теорию лунного затмения. Такую теорию, например, дал акад. В. Г. Фесенков, расчеты которого приводят к таким значениям для ослабления солнечных лучей на разных расстояниях от центра конуса тени:

Расстояние от центра тени $\sigma$	Ослабление	
	в числах (полный свет Солнца=1)	в звездных величинах (свет Солнца=0)
44'	0,004	6,00
25	0,0000838	10,19
15	0,0000114	12,26
10	0,00000416	13,45
5	0,00000182	14,35
0	0,00000148	14,58

Приведенный расчет сделан для монохроматических лучей с длиной волны  $\lambda = 550$  м $\mu$ , т. е. для зеленого света. Поскольку яркость Луны, наблюдаемой глазом, во время затмения создается в основном за счет красных лучей, которые ослабляются в меньшей мере, видимая яркость Луны будет больше, чем это следует из приведенных чисел. Этот эффект учел в своих расчетах, сделанных для несколько иной схемы строения атмосферы, английский ученый Ричардсон. Полученные им числа таковы:

Расстояние от центра тени $\sigma$	Ослабление		Высота эффективного слоя атмосферы в км
	в числах	в звездных величинах	
44'	0,0044	5,8	18
36	0,0011	7,4	14
28	0,00041	8,4	10
20	0,00017	24	8
16	0,00010	10,0	7
12	0,000065	10,4	6
8	0,000044	10,9	6
4	0,000034	11,1	5
0	0,000032	11,2	4

Эти данные находятся в согласии с тем, что дают наблюдения. Интерес представляет эффективная высота слоя, в котором преломляется та часть лучей, которая в основном определяет видимую яркость Луны. Мы убеждаемся, что краевые части тени освещаются в основном за счет

лучей, преломившихся в стратосфере, т. е. на высотах более 10 км, в то время как центральные части тени озарены светом, преломленным в низких, малопрозрачных слоях тропосферы. Этим вполне объясняется распределение цвета по зонам земной тени. В § 9 мы говорили, что наружные зоны тени чаще всего имеют сероватую окраску. Это вполне естественно, поскольку в стратосфере ослабление лучей происходит главным образом за счет рефракции и потому одинаково для всех участков видимого спектра. Напротив, центральные части тени имеют насыщенную красную окраску, легко объясняемую эффектом рассеяния синих и фиолетовых лучей в нижних слоях воздуха.

Дальнейшей разработкой теории лунных затмений занимались чешский астроном Линк и его ученики. Были изучены те различия, которые вносит в картину затмения разница в строении атмосферы зимой и летом, наличие облаков, пыли и другие явления. На основании своих исследований Линк пришел к заключению, что одной рефракции недостаточно, чтобы объяснить большое потемнение в краевых частях тени. Поэтому было выдвинуто предположение, что на высоте 100—150 км в земной атмосфере лежит слой пыли, поглощающий солнечные лучи. Благодаря своей разреженности этот слой при обычных наблюдениях светил с земной поверхности незаметен, и его оптический эффект проявляется только в тех специфических условиях, которым соответствует прохождение солнечных лучей сквозь атмосферу при лунных затмениях.

Детальный анализ расширения тени, которое от затмения к затмению получается несколько различным, приводит к выводу, что радиус тени несколько возрастает в эпохи действия интенсивных метеорных потоков. Наиболее заметно влияние Лирид и  $\delta$ -Акварид весной, Персеид — в конце лета и Леонид с Геминидами зимой. Это дает основание предполагать, что поглощающий пылевой слой образуется (и пополняется) веществом метеорного происхождения.

Сказанное выше может служить примером того, как на основе фотометрического анализа лунного затмения можно делать выводы о природе воздушной оболочки нашей планеты. Эта возможность и определяет в основном тот большой интерес, который вызывают лунные затмения в настоящее время. Если для астронома прохождение Луны через земную тень представляет собой факт, из ко-

торого трудно получить какие-нибудь новые научные результаты, то для геофизика возможность наблюдать рефракционную тень земной атмосферы на лунном диске открывает весьма ценные перспективы изучения стратосферы. Правда, Луна как фотометрический экран заставляет желать много лучшего: она и мала по размерам, и выпукла, и пятниста. Все же измерения в условиях затмения дают нам много ценного. В частности, из таких измерений можно находить изменение величины рефракции с высотой, а с ним и распределение плотности в стратосфере, что, однако, требует весьма длинных и сложных вычислений. Кроме того, для этого необходима фотометрия краевых частей тени, выполненная с очень большой точностью. Большую ценность представляют спектрофотометрические и спектроскопические наблюдения. В спектре погруженной в тень Луны так называемые теллурические полосы, вызываемые поглощением газов в земной атмосфере, представляются резко усиленными. Измерение интенсивности этих полос дает возможность изучить распределение тех или иных газов с высотой. Такой метод особенно ценен для изучения озона, который, как известно, сосредоточен в нижних горизонтах стратосферы. Количество этого газа ничтожно и соответствует сплошному слою газа при давлении 760 мм всего в 1,8 мм толщины. При наблюдении светил у горизонта эффективная толщина слоя озона, пересекаемого косо идущим лучом, доходит до 3 см, в то время как в условиях лунного затмения эффективная толщина доходит до 11 см. Некоторые авторы считают, что зеленоватый оттенок, нередко наблюдаемый на самом краю тени, следует приписать полосам поглощения озона, ослабляющим желтую и оранжевую части спектра. Фотометрия полос поглощения озона в спектре Луны при полном затмении приводит к заключению, что озон равномерно распределяется в слое воздуха на высоте от 12 до 25 км над поверхностью Земли, в то время как количество кислорода убывает с высотой пропорционально плотности воздуха вообще. Описанные исследования представляют собой только начало той большой и увлекательной работы, которую предстоит проделать наблюдателям лунных затмений в связи с запросами геофизики.

### ГЛАВА III ТОПОГРАФИЯ ЛУНЫ

#### § 11. Темные пятна лунных морей

Узор темных пятен, украшающих лунный диск, привлекал внимание человека с незапамятных времен. В сказаниях первобытных народов можно найти немало легенд и мифов, объясняющих появление этих пятен или как-то связанных с их существованием. Научное изучение лунной поверхности потребовало прежде всего точного учета всех наблюдаемых на Луне пятен и введения какой-то системы их обозначений. Систем обозначений было предложено несколько. Авторы первых лунных карт, нанося на свои чертежи контуры пятен, присваивали им различные произвольно выбранные наименования. В конце концов вошла во всеобщее употребление и сохранилась до нашего времени только одна система названий, которая была предложена в XVII в. итальянцем Риччиоли.

Риччиоли назвал самое крупное пятно на Луне «океаном», менее крупные пятна «морями», их ответвления и отростки «заливами», а изолированные небольшие пятна «озерами». Тот светлый фон, на который проектируются моря, получил наименование «материков». Наконец, некоторые области с промежуточной окраской или светлотой были названы «болотами». Эта своеобразная терминология в какой-то мере отражала те предположения, которые в ту эпоху делались относительно природы различных частей лунного шара. Известно, что если смотреть с горы на водоемы, расположенные среди бесплодной, лишенной растительности местности, то они кажутся темными на фоне светлых песков, глины и скал. Поэтому простейшая аналогия естественно приводила к мысли о заполненных

водой бассейнах. Правда, такая точка зрения была опровергнута еще Галилеем в его знаменитой книге «Диалог о двух главнейших системах мира». Там Симпличио задает вопрос: «Но полагаете ли вы, что те большие пятна, которые замечаются на лунном лице, действительно моря, а остальная более светлая часть — суша или ее подобие?». На это Галилей от имени Сальвиати отвечает: «То, о чем вы спрашиваете, является главным различием, которое я нахожу между Луной и Землей... Ясно видно, что на Луне части более темные, — это равнины с немногими, но все же встречающимися на них скалами и гребнями...». Из этого Галилей — Сальвиати в рубрике, озаглавленной «Луна не состоит из земли и воды», делает вывод: «Я считаю материю лунного тела не состоящей из земли и воды» \*).

Тем не менее терминология Риччиоли в науке сохранилась, но только наименования «моря», «заливы» и т. д. понимаются чисто условным образом, как обозначение участков Луны, покрытых каким-то темным веществом.

Фантазия наблюдателей искала сходства между очертаниями лунных пятен и какими-то знакомыми предметами. Чаще всего находят сходство между диском полной Луны и человеческой физиономией. Другие видят на Луне двух людей — маленького кривоногого человечка справа и крупную сидящую фигуру слева. При известном воображении в очертаниях лунных пятен можно увидеть также фигуру зайца или рака с клешней.

Тот, кто начинает изучение топографии Луны, должен прежде всего ознакомиться с расположением основных деталей лунного диска и с их наименованиями. Это можно сделать с успехом, даже ограничиваясь наблюдениями невооруженным глазом; во всяком случае шестикратный полевой бинокль будет для этого вполне достаточным. Поэтому в дальнейшем при описании расположения морей мы будем считать, что диск Луны рассматривается при его нормальном положении, а не в перевернутом виде, каким он представляется при наблюдениях в астрономический телескоп, дающий обратные изображения. Иными словами, мы будем считать, что север находится наверху, юг — внизу, запад — направо, а восток — налево, как это изображено на рис. 23 и 24.

\* ) Г а л и л е о Г а л и л е й, Диалог о двух главнейших системах мира, Птолемеевой и коперниковой, Гостехиздат, 1948, стр. 86—87.

Начинаем обозрение с западного края лунного диска и будем следовать порядку появления морей с возрастом Луны. Прежде всего мы должны обратить внимание на изолированное овальное пятно, которое носит название Моря Кризисов. Еще западнее него располагаются только некоторые подобные морям образования, лежащие у самого лимба Луны и потому появляющиеся лишь при достаточной благоприятной либрации, и то заметные лишь при

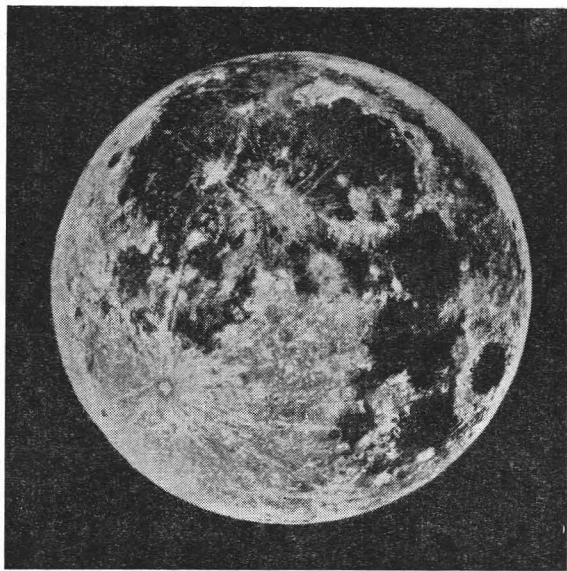


Рис. 23. Луна в полнолуние (прямое изображение).

помощи телескопа. Самое северное из них называется Морем Гумбольдта, среднее, расположенное непосредственно к западу от Моря Кризисов и состоящее как бы из двух ветвей, носит название Краевого Моря, наконец, еще далее к югу удается заметить Южное Море. Представляют ли собою все эти образования самостоятельные моря или только заливы расположенного на невидимой стороне Луны обширного океана, решить пока нет возможности.

К югу от Моря Кризисов располагается небольшое темное пятно лапчатой формы, которое называют Морем

Волн. Тут же по соседству находится маленькое темное образование, носящее название Моря Пены.

К востоку от Моря Кризисов находится характерная по очертанию цепь крупных морей, составляющих в совокупности как бы человечка с кривыми ножками или

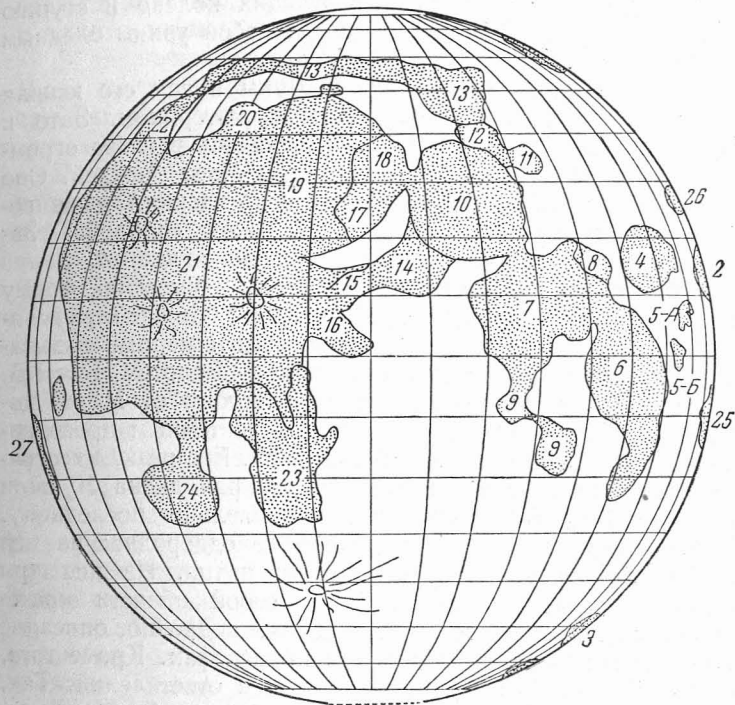


Рис. 24. Карта морей Луны (прямое изображение!). Числа соответствуют номерам списка лунных морей в конце книги (стр. 172).

кleshню рака. Самое северное из них имеет овальную форму и называется Морем Ясности. С востока к нему примыкает темное пятно — Море Паров. С противоположной стороны, к северо-западу от Моря Ясности, легко заметить два расплывчатых пятна: Озеро Смерти и Озеро Сновидений. Сердину цепочки образует крупное Море Спокойствия. Его западная часть, обращенная в сторону Моря Кризисов, значительно светлее нормального для морей тона. Ее называют Сонным Болотом, Белое пространство между окраиной

этого болота и границей Моря Кризисов называется Сарматией.

К югу от Моря Спокойствия отделяются два продолговатых отростка; западный называется Морем Изобилия, а восточный — Морем Нектара. Последнее состоит как бы из двух округлых пятен (образующих колено и ступню ноги человека), соединенных между собой узким бледным промежутком.

Средняя часть диска полной Луны и вся его южная окраина заняты сплошным светлым материком. Зато к северо-востоку от Моря Ясности бросается в глаза огромное овальное вследствие перспективы Море Дождей. Оно почти касается Моря Ясности и в зоне касания даже соединяется с последним посредством узкого «пролива». Замечательной деталью Моря Дождей является Залив Радуги, выступающий к северо-востоку и имеющий форму полуэллипса. В западной части Моря Дождей выделяются менее темные участки, из которых северный называется Болотом Туманным, а южный — Болотом Гнилым.

Область, расположенная к юго-востоку от Моря Дождей, занята самым крупным на Луне темным пространством, носящим название Океана Бурь. Его резкая восточная граница идет вдоль восточного края диска Луны и на значительном протяжении параллельно последнему. Поверхность Океана Бурь далеко не однородна: на ней легко различить округлые светлые пятна. Из них три наиболее заметных представляют собой области кратеров Коперник, Кеплер и Аристарх, подробное описание которых мы дадим в следующих параграфах. Кроме того, Океан Бурь образует ряд отростков и ответвлений. Так, в крайнем северо-восточном углу выдается Залив Росы, к центру Луны направляется вытянутой формы Залив Срединный, составленный из трех расположенных в ряд очень темных пятен. Четвертое пятно примерно такого же вида расположено севернее и составляет узкую перемычку, называемую Заливом Зноя, посредством которой Океан Бурь соединяется с Морем Паров, а через него со всей системой западных морей. Наконец, на юг от Океана Бурь выдаются два обширных ответвления. Западное из них называется Морем Облаков. Вместе с Заливом Срединным и Заливом Зноя, а также окраиной Моря Дождей оно составляет резкую западную границу всей системы восточных морей. Восточный отросток имеет облик округлого

пятна, соединенного с Океаном Бурь посредством неширокой шейки. Он носит название Моря Влажности.

Вдоль северного края лунного диска тянется сравнительно узкая (благодаря действию ракурса) полоса или цепь пятен, называемая Морем Холода. Она начинается от Залива Росы, огибает северные берега Моря Дождей и далее направляется к Озеру Смерти.

В заключение укажем, что у восточного края диска Луны при благоприятной либрации также удастся заметить окраины расположенных на невидимой стороне темных пятен. Это будет Море Восточное.

Разумеется, вся эта система наименований не только произвольна, но и во многом непоследовательна. Например, мелкие пятна, расположенные между Морем Кризисов и Морем Изобилия, носят громкое название морей Волн и Пены. В то же время гораздо более крупное и заметное пятно, расположенное к югу от Моря Влажности, пятна, расположенные между последним и Морем Облаков, а также у южных оконечностей Моря Нектара и Моря Изобилия, совсем не имеют названий. Далее, из множества участков промежуточной окраски только трем присвоены названия болот. Между тем разного рода полутоны на лунном диске широко распространены, и к категории «болот», в частности, следовало бы отнести некоторые участки Моря Кризисов и Моря Нектара, а также почти все Море Холода. Наконец, обращает на себя внимание отсутствие номенклатуры для светлых областей материков. Многие ответвления последних образуют «полуострова» весьма характерных очертаний. Примером могут служить области, заключенные между Морем Нектара и Морем Изобилия, Морем Паров и Морем Спокойствия, Заливом Росы, Океаном Бурь и Заливом Радуги и др. Между тем названия для таких местностей не предусмотрены; не находят в современной селенографии места и такие термины, как полуостров, остров, перешеек и т. п.

## § 12. Горные хребты, пики и валы

Приступая к описанию рельефа лунной поверхности, прежде всего напомним, что наблюдения рельефа надо вести при косом освещении, при котором от возвышенностей получаютя длинные черные тени, благодаря чему даже мелкие неровности выявляются вполне отчетливо. Такие

условия имеют место в зоне лунного диска, примыкающей к терминатору. Поэтому терминатор — это та область, на которой должен сосредоточить свое внимание наблюдатель, поставивший своей задачей изучить особенности строения лунных гор. Следя день за днем за перемещением терминатора по поверхности лунного шара, можно последовательно изучить рельеф всего видимого нам полушария Луны.

Рассмотрим последовательные изменения картины одиночной горной вершины, расположенной среди равнины в условиях прохождения через нее утреннего терминатора. Так принято называть в селенографии ту линию раздела между ночным и дневным полушариями Луны, на которой Солнце восходит и которую мы видим на лунном диске между новолунием и полнолунием. На терминаторе, видимом во второй половине синодического месяца, Солнце заходит, а потому его называют вечерним.

Вследствие выпуклости шарообразной поверхности Луны и связанного с этим явления понижения горизонта, высокие точки местности освещаются солнечными лучами раньше, чем поверхность равнины. Поэтому достаточно высокая гора становится видимой задолго, иногда за целые сутки до того, как до нее дойдет линия утреннего терминатора. Вершина горы вспыхивает на темном фоне ночной части Луны в виде крохотной светлой точки, своим видом напоминающей звезду (рис. 25). С каждым часом она становится ярче и крупнее, потому что площадь освещенного склона возрастает. По мере приближения терминатора к горе яркие очертания последней растут ему навстречу и, наконец, наступает момент, когда освещенная гора превращается в светлый выступ линии терминатора. В некоторых случаях, а именно при возрасте Луны около пяти дней, горные хребты и расположенные около них кратеры дают выступ такого размера, что его хорошо видно невооруженным глазом. Это производит впечатление «носа», который пририсовывают к лунному серпу на детских рисунках.

После того, как линия терминатора переместится за вершину, в ней на том же месте получается углубление, потому что отбрасываемая горой тень тянется до ночной стороны Луны. Через некоторое время терминатор отходит еще дальше и тогда тень от него отрывается, целиком проектируясь на ярком фоне освещенной равнины. С каждым

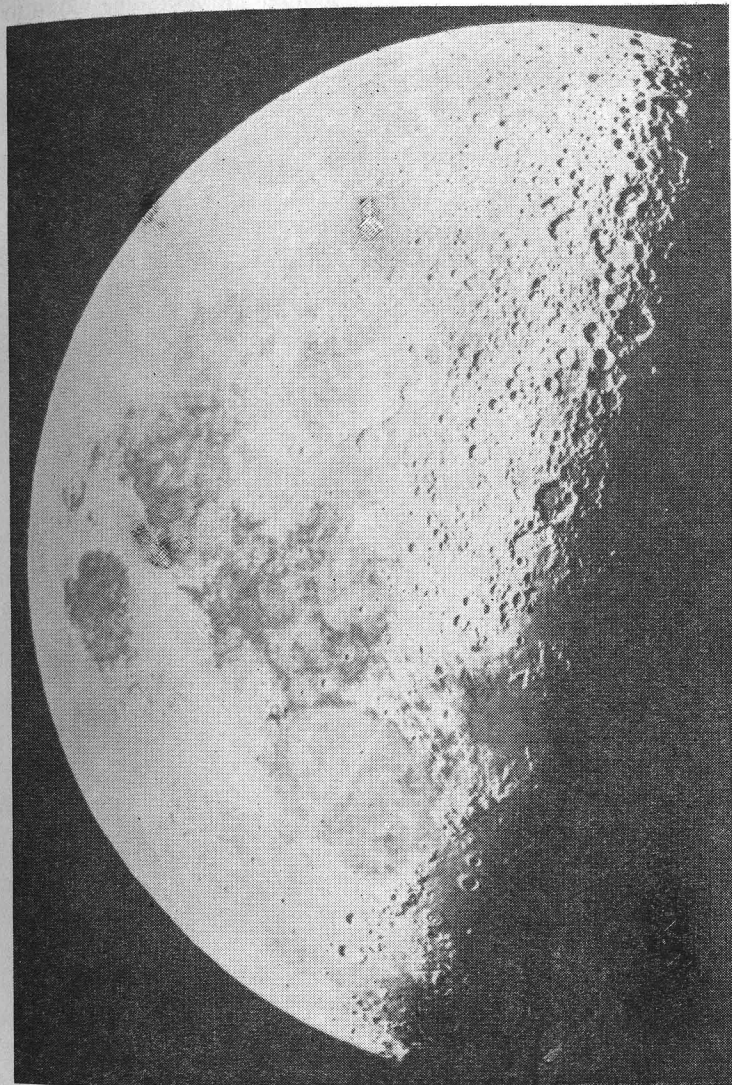


Рис. 25. Луна в первой четверти (вид в телескоп).



часом терминатор отходит все дальше и дальше, Солнце поднимается над горизонтом горы все выше и выше и в связи с этим тень горы делается все короче и короче.

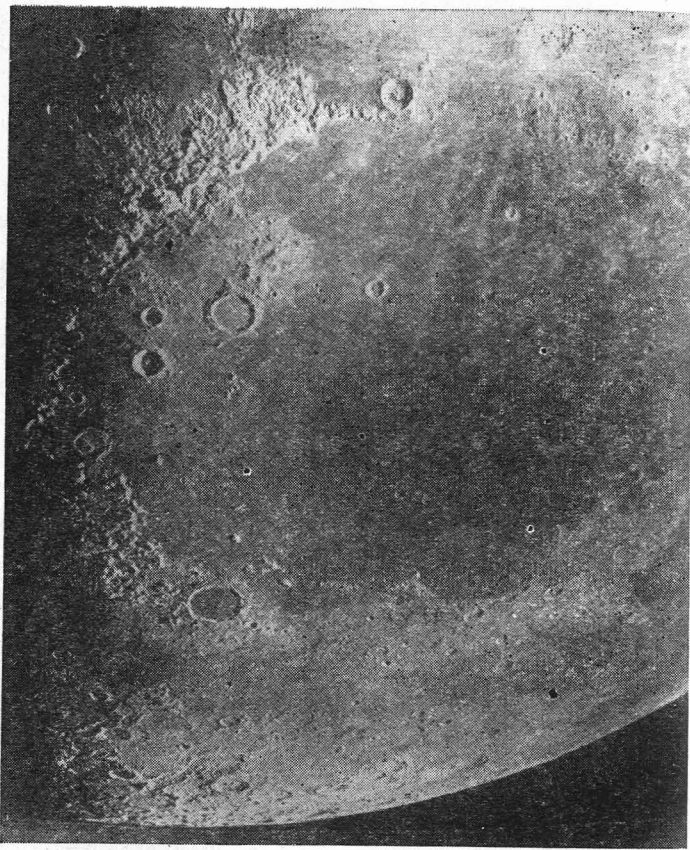


Рис. 26. Море Дождей. Видны пики на поверхности моря и горные хребты по его окраинам.

Наконец, наступает момент, когда она исчезает совсем. С этого времени склоны горы повсюду залиты солнечным светом, в результате чего впечатление рельефа пропадает, и на месте горы наблюдатель видит только светлое пятно.

Легко понять, что при прохождении вечернего терминатора наблюдаются те же явления, но в обратном порядке.

Высокие, крутые, остроконечные горы, примерно конической формы, изолированно возвышающиеся среди окружающей равнины и потому проходящие через все фазы описанной выше картины, действительно существуют на Луне; их называют *пиками*. Наиболее замечательные примеры таких форм рельефа можно видеть на обширной равнине Моря Дождей. В северо-западной части этого моря возвышается огромная одинокая скала, носящая название Пико, расположена прямо на юг от известного цирка Платон (рис. 26). Еще дальше к северо-востоку высится целая группа таких вершин, носящих общее наименование Тенерифских гор. Аналогичного вида вершины можно найти и во многих других частях как Моря Дождей, так и других лунных морей. Их облик особенно эффектен потому, что они покрыты каким-то более светлым материалом, чем окружающая их равнина, и потому выделяются на ее фоне особенно резко.

Остроконечные утесы имеют тенденцию собираться по нескольку вместе и, располагаясь рядами, образовывать своеобразные короткие горные цепи. Замечательный пример такой цепочки вершин, называемой Прямым рядом, мы видим в северной части того же Моря Дождей, в районе, расположенном между Заливом Радуги и Платоном. Другую такую цепочку мы находим к северу от кратера Архимед. Цепи описанного вида представляют как бы переход к настоящим горным хребтам, в которых горные массивы смыкаются в сплошную возвышенность, тянущуюся на многие сотни километров.

Горные хребты на Луне условились называть именами земных гор. Они, как правило, тянутся по окраинам низменностей — морей, составляя как бы крутой обрывистый берег последних. Наиболее замечательны горы, окружающие Море Дождей. Их северо-западная ветвь составлена из огромного количества пиков и утесов, далеко не везде смыкающихся между собой; она называется Альпами. Замечательна прямая долина, косо пересекающая всю эту горную систему с запада на восток (см. рис. 26). Компактная горная цепь, охватывающая Море Дождей с юго-запада, носит название Апеннин. Это наиболее крупное

горное образование на Луне крутым уступом обрывается к поверхности моря и полого спускается на внешнюю сторону (рис. 27). Горный хребет, окаймляющий Море Дождей с юго-востока, называется Карпатами.

Горные хребты, окружающие другие моря, менее значительны, но все же хорошо различимы. Так, Море Ясности охватывается тремя отрезками горных цепей, из которых северный называется Кавказом, западный — Тавром,

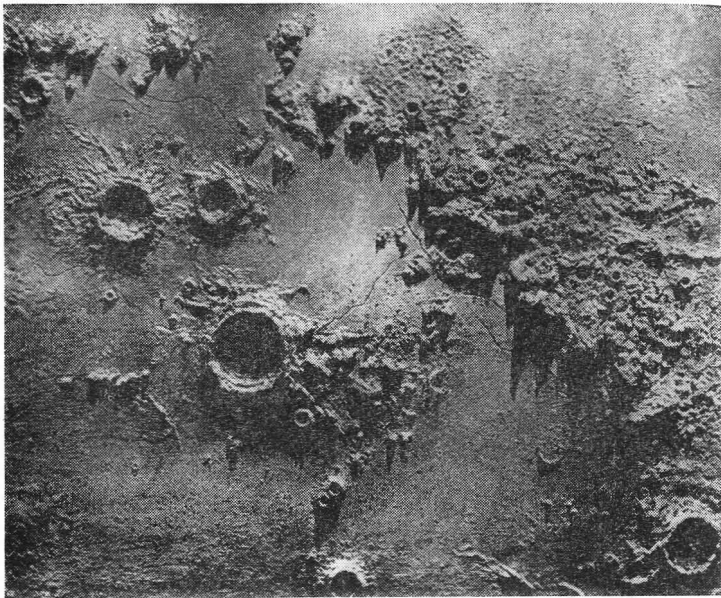


Рис. 27. Горный хребет Апеннины. На поверхности моря видны кратеры Архимед, Аристилл и Автолик.

а юго-восточный — Гемусом. Горные хребты и цепи со всех сторон окаймляют также Море Кризисов и отдельные участки других темных равнин.

Расположение по окраинам морей отнюдь не является для гор единственно возможным. Наглядным тому примером служит узкий, крутой хребет с волнистыми очертаниями, образующий длинную дугу к востоку от Моря Нектара и называемый Алтаем. Таких образований на Луне немало, причем некоторые из них при надлежащей либрации мы можем наблюдать на самом лимбе в виде зубцов выступов лунного края,

Особенно гориста местность, по которой проходит восточный лимб Луны. Расположенные там горные цепи тянутся примерно с севера на юг. Отдельные участки их

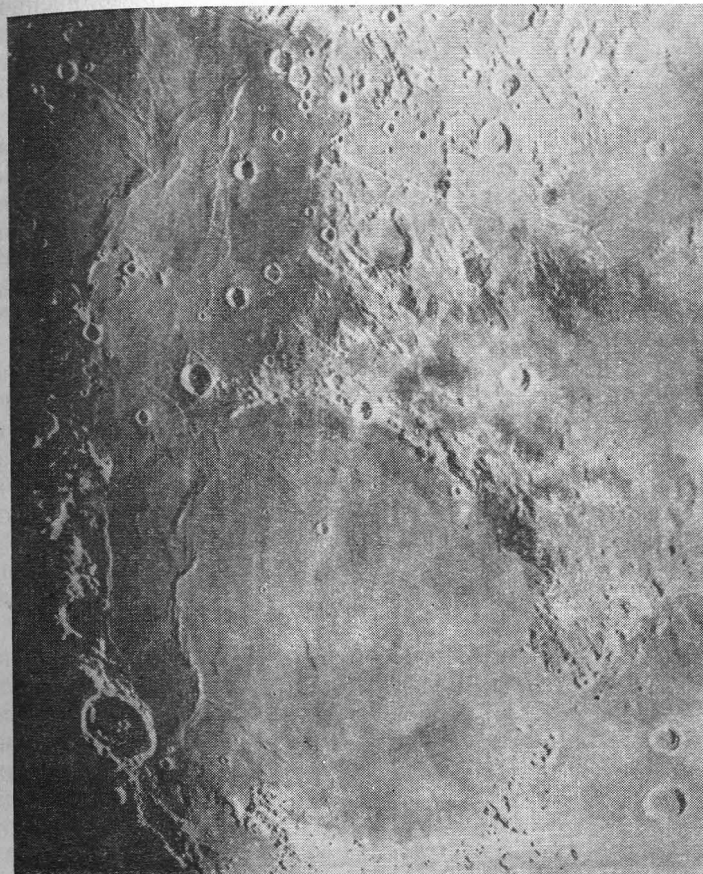


Рис. 28. Море Ясности при косом освещении. Хорошо видны валы и жилы.

по порядку от севера к югу носят названия Герценских гор, гор Даламбера, гор Рука и Дерфеля. Особенно резкими и всегда хорошо видимыми являются горы Лейбница. Одна из их вершин, расположенная почти у южного полюса,

освещается Солнцем при всех фазах, так что ее можно назвать «горой незаходящего Солнца».

Говоря о вытянутых горных образованиях на Луне, нельзя не упомянуть Прямую стену — прямолинейное ровное образование с почти отвесными стенками, видом своим действительно напоминающее искусственную стену чудовищных размеров. Она находится к юго-востоку от кратера Арзахель (см. рис. 30 на стр. 85).

На Луне существуют и горные области другого типа, строением своим напоминающие плоскогорья с изрезанной поверхностью. Примером может служить Сарматия, обширная горная область, лежащая между морями Кризисов, Спокойствия и Изобилия. Такой же характер носит местность, отделяющая Залив Росы от Моря Дождей и Залива Радуги, а также многие другие участки на поверхности нашего спутника.

Все образования, описанные выше, имеют крайне резкие изломанные очертания и крутые склоны. Совсем другой характер носят невысокие пологие, но длинные возвышения, называемые *валами*, или *жилами*. Их можно заметить на поверхности многих морей при очень косом освещении (рис. 28). Высота этих форм рельефа не превосходит 1—2 км.

### § 13. Кольцевые горы

На Луне очень многочисленны и в то же время крайне своеобразны горные образования округлой формы, в которых горный хребет образует более или менее правильное замкнутое кольцо. Объекты такого рода почти сплошь усеивают поверхность материков; на темных пространствах морей их значительно меньше. Именно формы такого рода делают рельеф лунной поверхности резко отличным от всех типов ландшафта, известных на Земле.

Кольцевым горам со времен Риччиоли принято присваивать имена ученых и философов. Поскольку эта работа в значительной части была выполнена еще в XVII в., естественно, что наиболее крупным и заметным образованиям этого рода достались имена деятелей античной и средневековой эпох. Так, мы находим на Луне кольцевые горы с именами таких древних мыслителей, как Платон, Птолемей, Аристотель, Аристарх, Эвдокс, Архимед, а также горы, названные именами великих деятелей эпохи

Возрождения — Коперник, Галилей, Кеплер, Тихо. Риччиоли не забыл и себя, назвав своим именем одно из самых крупных образований у восточного края диска. На долю последующих поколений ученых доставались кольцевые горы второго ранга. Из русских ученых на Луне увековечены Ф. А. Бредихин, В. Я. Струве и О. В. Струве. Мелким кратерам давать собственные имена не принято и их обозначают именем ближайшей крупной кольцевой горы с присоединением больших и малых латинских букв. Так возникают наименования «Боде А», «Коперник В», «Улугбек а» и т. д.

Существует несколько классификаций кольцевых гор. Здесь мы приведем ту, которая представляется наиболее простой. Она сводится к тому, что по размеру и характеру структуры среди кольцевых горных систем различают три типа:

I. Ц и р к. Так называется кольцевой горный хребет, составляющий *вал* цирка и окружающий совершенно плоскую гладкую равнину, которую называют *дном* цирка. Дно в некоторых случаях имеет резко выраженную темную окраску, аналогичную окраске морей. Неоднократно указывалось, что между такими цирками и небольшими морями принципиальной разницы нет, так что цирки как бы продолжают последовательность лунных морей в сторону образований малого размера. Действительно, округлые равнины типа Моря Кризисов и Моря Влажности, окаймленные к тому же обширными горными хребтами, несколько напоминают цирки гигантских размеров, а Залив Радуги и некоторые участки Моря Волн приближаются к ним и по масштабу.

II. К р а т е р. В этом случае в центре круглой низменности, составляющей дно и опоясанной хребтом-валом, возвышается крупная остроконечная гора, называемая *центральной горкой*. Иногда последнюю составляет группа из нескольких вершин. Самые крупные лунные кратеры, например Коперник (рис. 29) и Тихо, лишь немногим уступают самым большим циркам, однако в среднем все же кратеры мельче, чем цирки. Отметим также, что кратеры обладают более крутым валом, а дно их несколько понижено по сравнению с окружающей равниной. Характерно, что в отличие от цирков дно кратеров темным не бывает и, напротив, в некоторых случаях покрыто очень светлым веществом, которое значительно белее обычных материков.

Подобные кратеры, примером которых могут служить Тихо, Кеплер, Манилий и особенно Аристарх, в полнолуние резко выделяются на лунном диске в виде ярких точек.

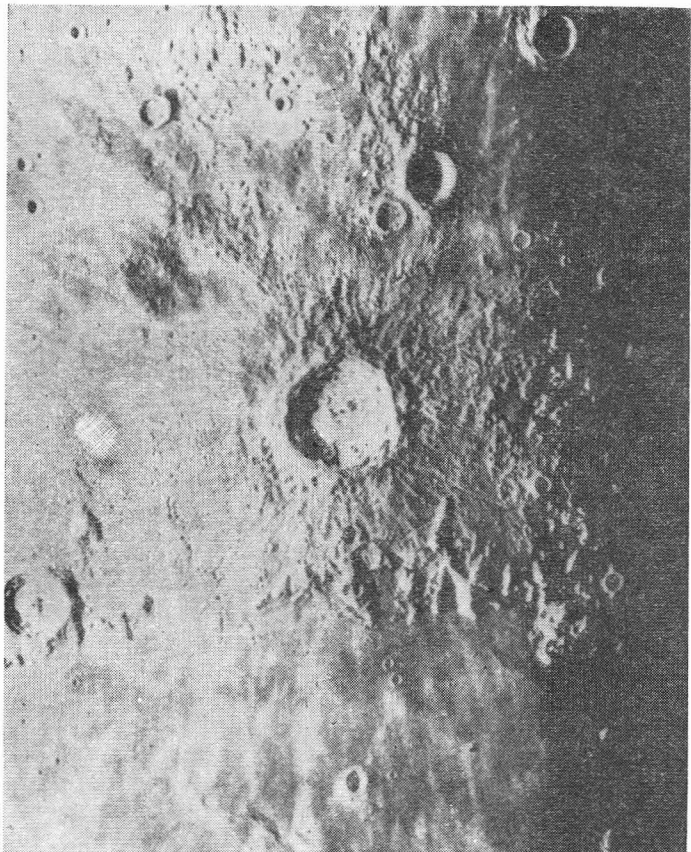


Рис. 29. Лунный кратер Коперник.

III. Кратерочек, или пóра. Так называются совсем маленькие углубления диаметром от нескольких километров до сотни метров с вогнутым дном, лишенные вала или с очень низким пологим валом. Сотни тысяч таких углублений повсюду усеивают поверхность материков.



Рис. 30. Кольцевые образования Птолемей, Альфонс и Арзахель. В правом верхнем углу Прямая стена.

Селенография пока не нашла возможным заняться их регистрацией и классифицированием.

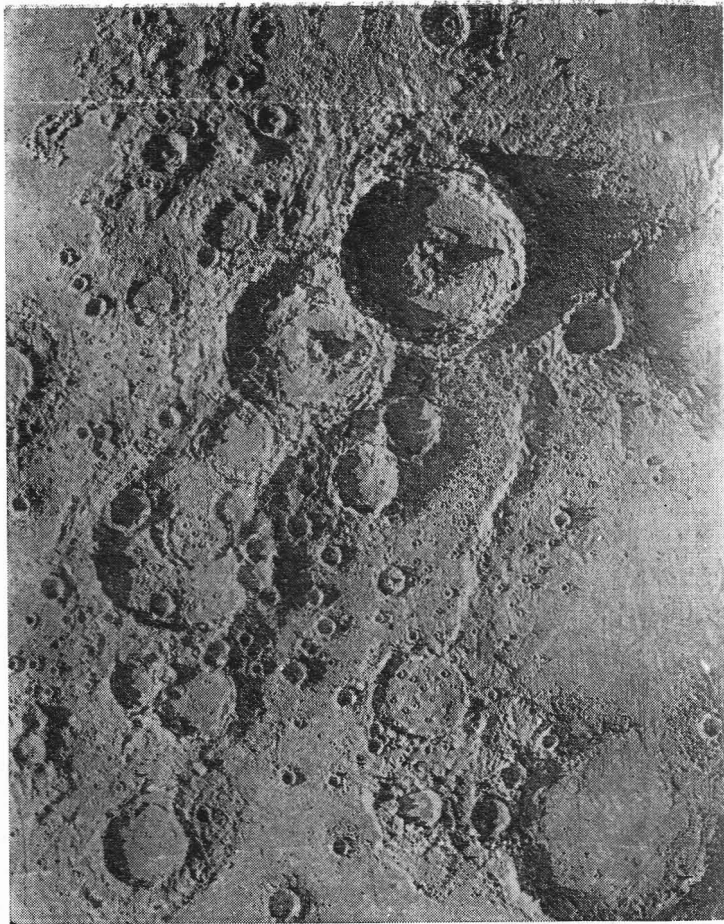


Рис. 31. Кратеры Феофил, Кирилл и Катарина.

Разумеется, приведенная классификация до некоторой степени искусственна и неполна, в частности, потому, что существуют наряду с типичными и промежуточные или неясно выраженные формы. Например, рассмотрим цепь из трех крупных кольцевых гор, расположенную

у западного края Моря Облаков (рис. 30). Самая северная из них — Птолемей — является типичным цирком, самая южная — Арзахель — представляет собою типичный кратер, в то время как средняя, Альфонс, обладает лишь очень небольшой центральной горкой наряду с мелким плоским дном и потому по своей структуре носит как бы промежуточный характер между цирком и кратером. Эта группа кольцевых образований может служить также иллюстрацией общей тенденции кратеров располагаться рядами или цепочками.

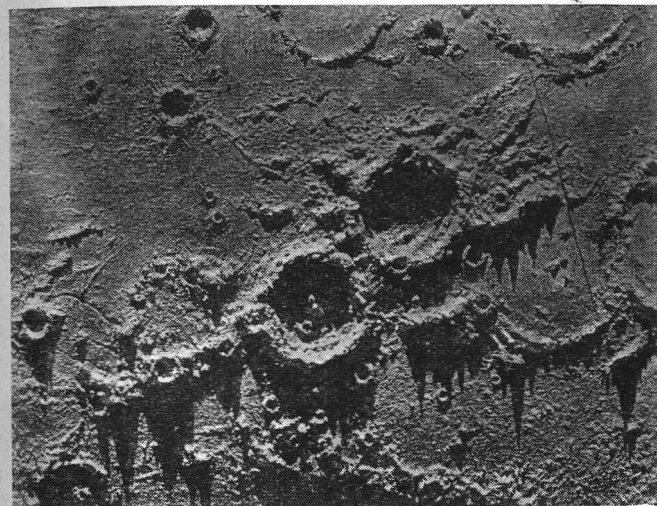


Рис. 32. Кратеры-двойники Кампан и Меркатор. Обратите внимание на полуразрушенные горные системы налево и сверху.

Другой характерный образец такой цепочки представляют кратеры Феофил, Кирилл и Катарина, расположенные у восточного края Моря Нектара (рис. 31). Эти три кратера нам послужат еще примером неправильной структуры. На лунной поверхности, более молодой по времени возникновения, кратер может частично разрушать ранее существовавшие горные системы, внедряясь на их территорию. Этот случай представляет Феофил, вал которого срезает часть кольца Кирилла. С другой стороны, Катарина может служить примером кратера

грушевидных очертаний: при помощи вытянутого к северу отростка этот кратер через узкое ущелье сообщается с дном Кирилла.

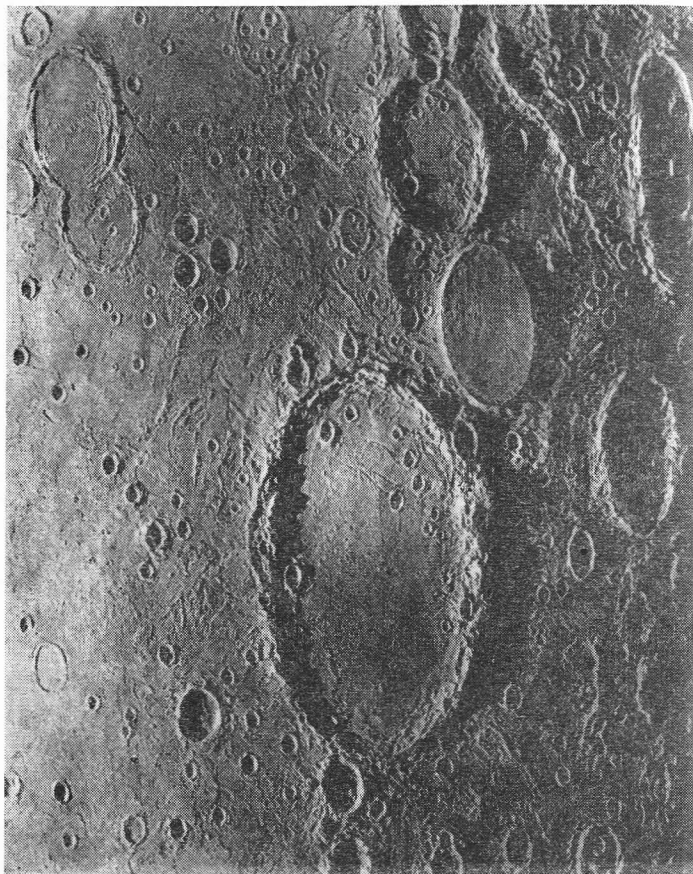


Рис. 33. Заполненный кратер Варгентин.

Нередко можно встретить и одиночные кратеры с частично разрушенным, как бы изъеденным валом. Иногда вал имеет такой вид, как будто от него остались только вершины, в то время как основная часть кольца скрыта под поверхностью равнины. Такие образования назы-

вают *затопленными* или *погруженными* кратерами. Целый ряд их можно найти на обширной равнине Моря Дождей. Бывает и так, что вообще никакого вала нет и наме-

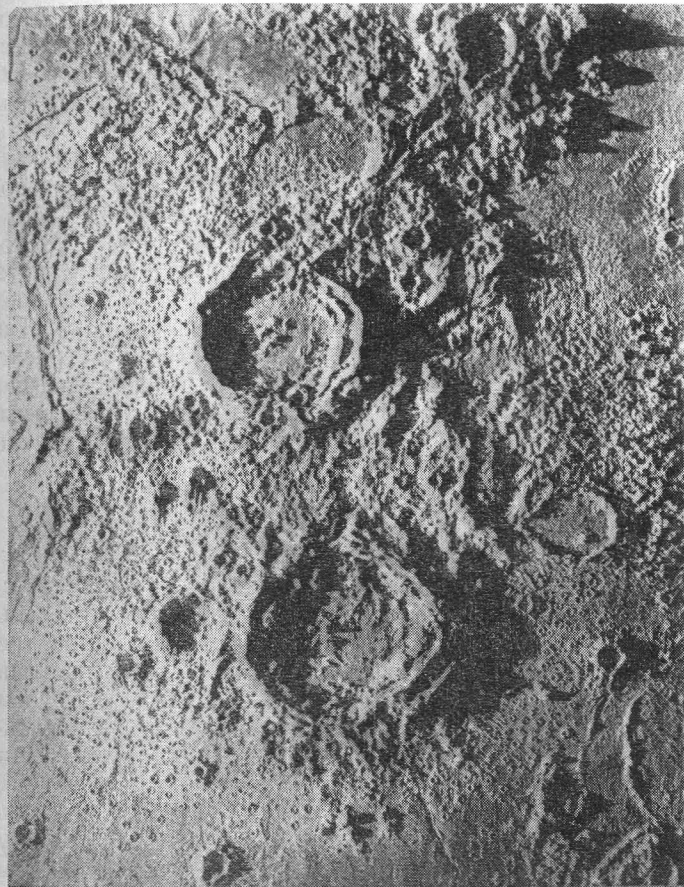


Рис. 34. Кратеры Аристотель и Эвдокс. Обратите внимание на громадное количество кратерочков в их окрестностях.

чается только бледное, как бы туманное кольцо на темном фоне моря. Образования этого рода называют *кратерами-фантомами*, т. е. кратерами-призраками.

Среди многих тысяч кратеров и цирков, усеивающих лунную поверхность, можно встретить самые разнообразные уклоны от обычной круглой формы. Так, нередко встречаются многоугольные кратеры с изломанной, угловатой линией вала, кратеры-двойники (рис. 32), тесно прижатые друг к другу и разделенные прямолинейной стенкой, и многие другие формы. К числу очень своеобразных образований относятся так называемые заполненные кратеры, у которых дно лежит на уровне гребня вала, так что получается плоскогорье с круговыми очертаниями. Наиболее замечательным примером такой круглой столовой горы может служить кратер Варгентин (рис. 33).

В области большого южного материка кольцевых гор так много и они усеивают лунную поверхность так густо, что, нагромождаясь друг на друга, они образуют множество различных, иногда очень сложных сочетаний. Там мелкие кратеры усеивают валы крупных цирков, располагаясь также и на дне последних. Можно встретить многоэтажные структуры, где на валу большого цирка сидят кратеры средних размеров, на которые громоздятся еще меньшие кратеры и пьры.

#### § 14. Борозды, трещины, светлые лучи и нимбы

Во многих местах лунная поверхность пересекается узкими глубокими расселинами с обрывистыми острыми краями — *трещинами*. Своим видом они похожи на трещины в штукатурке или в высохшей глине, или на наши степные овраги, или те глубокие каньоны, которые земные реки иногда прорезают в горной местности. Однако даже речные каньоны намного уступают лунным трещинам по масштабам, поскольку на Луне трещина средних размеров имеет протяжение до 100 км, ширину порядка нескольких сотен метров и примерно такую же глубину. В некоторых случаях они еще больше. Так, знаменитая трещина в районе кратера Триснеккер имеет длину свыше 350 км. У типичных трещин внутренние склоны очень круты и сходятся на дне клином. Даже при не очень косом освещении глубину такого ущелья заполняет черная тень.

Наряду с такими резкими образованиями на Луне встречаются вытянутые углубления с менее крутыми стенками и плоским дном, шириною в несколько километров. В отличие от трещин их иногда называют *бороздами*.

Продольная форма трещин и борозд весьма разнообразна. Чаще всего трещина имеет форму слегка изломанной зигзагообразной линии. Но встречаются сильно изогнутые и дугообразные формы. В этом отношении замечательна борозда, связанная с кратером Геродот и называемая

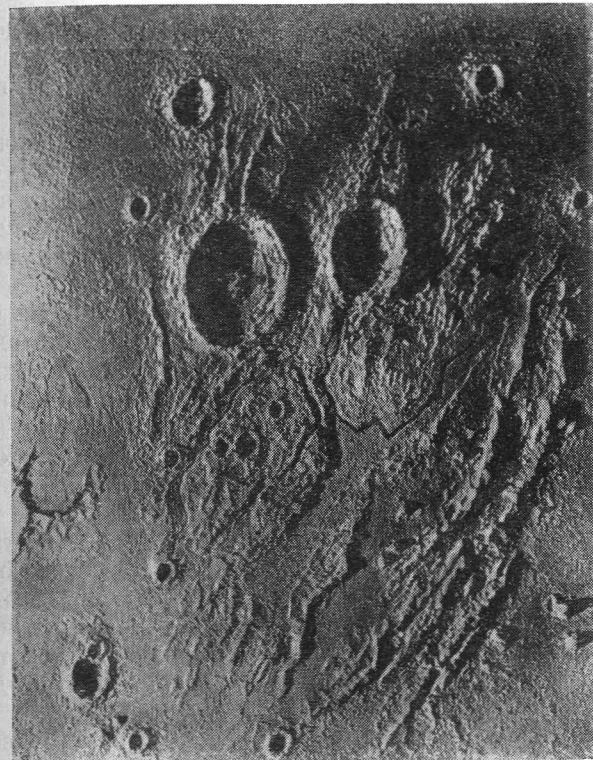


Рис. 35. W-образная борозда в районе кратеров Аристарх и Геродот.

мая «долина Шретера». Она начинается глубокой расселиной в вале кратера и направляется сначала на северо-восток, потом на юг, потом опять на север и опять на юг, образуя подобие буквы W, конец которой выклинивается на равнине Океана Бурь (рис. 35). Видом своим эта борозда напоминает речное русло, что и дало повод некоторым авторам предполагать, что в прошлом на Луне была вода

в таком количестве, что от ее размывающей деятельности до нашего времени сохранились «речные русла», т. е. промытые водой долины, каньоны и овраги. Впрочем, такой взгляд следует отнести скорее к области фантазии; серьезная селенология считает, что вода в создании лунного рельефа участия не принимала.

В настоящее время на Луне зарегистрировано до 500 борозд и трещин. Их принято называть именем ближайшего крупного кратера с присоединением к нему букв греческого алфавита.

Просматривая в телескоп это огромное количество расселин разного размера и формы, легко заметить их связь с мелкими кратерами. Трещины и борозды имеют явную тенденцию пересекать маленькие кратеры по диаметру. Иногда вдоль трещин располагается целая цепочка кратеров, как бы нанизанных на линию борозды.

К числу образований, быть может по природе близких к трещинам и бороздам, относятся горные долины. Самая замечательная из них — это долина в горном хребте Альп (она заметна на рис. 26). Она имеет вид длинной прямой рывины, идущей почти перпендикулярно к направлению горного хребта. Длина ее составляет около 120 км при ширине 10—15 км. Ее берега круты и обрывисты, но дно сравнительно ровно.

Любопытную группу деталей лунной поверхности составляют собрания очень светлого вещества со своеобразным ходом яркости на протяжении смены лунных фаз. Во многих случаях такое вещество образует систему длинных светлых *лучей*, радиально расходящихся от некоторых крупных кратеров и следующих приблизительно по дугам больших кругов.

Самой замечательной из систем лучей, безусловно, является та, которая связана с кратером Тихо (см. рис. 23). Она состоит из 100 с лишним лучей, и ее прекрасно видно уже в шестикратный бинокль, а в небольшую зрительную трубу она напоминает светлые меридианы, проведенные белой краской на лунном глобусе и выходящие из кратера Тихо, как бы из полюса. Вал этого кратера непосредственно окружен темной зоной, венец лучей начинается лишь на расстоянии 60 км от вала. Очень яркий и вследствие перспективы короткий луч отходит к юго-юго-востоку и простирается до самого края диска. Он характерен тем, что расположен эксцентрично, так что его продолжение проходит

не через центр кратера, а касательно к его валу. Два ярких луча идут на северо-восток, пересекая юго-восточную часть Моря Облаков. Веер из четырех или пяти ярких лучей направлен на северо-запад, расцветивая большой южный материк. Некоторые из них доходят до восточных границ Моря Нектара и Моря Спокойствия, один из лучей упирается в кратер Фракастор. Таким образом, эти лучи пробегают по лунной поверхности дугу до 60°, или свыше 1500 км. Однако это еще не рекорд. Принято считать, что луч, направленный на северо-северо-запад, пересекает весь центральный материк и продолжается по Море Ясности в виде хорошо заметной туманной полосы, разделяющей это море почти на две равные половины. Его как будто можно проследить и дальше к северу, поскольку он образует крайнюю западную границу Озера Смерти и Моря Холода. Если со всем этим согласиться, то придется признать, что этот луч простирается по лунной поверхности на 130°, т. е. что длина его составляет почти 4000 км. Однако существует мнение, что полоса в Море Ясности и к северу от него не относится к системе лучей Тихо, а представляет собой единственный луч, связанный с расположенным на окраине этого моря кратером Менелай, лишь случайно совпадающий с большим кругом, проходящим через Тихо. Еще одна возможная точка зрения состоит в том, что полоса в Море Ясности принадлежит небольшому кратеру Бессель, через который она тоже проходит.

Можно привести много других характерных примеров систем лучей. Например: два кратера Мессье, расположенных в Море Изобилия, являются началом двух любопытных лучей, расходящихся под малым углом и напоминающих снопы лучей прожектора. Кратер Прокл является центром для двух лучей, отходящих на запад и простирающихся до Моря Спокойствия. Центром яркой системы лучей является кратер Фурнерий.

В краевых частях диска Луны можно видеть лучи, выходящие из-за видимого лимба. Продолжая их на невидимое полушарие Луны, иногда удается получить их точку пересечения и, следовательно, найти место крупного кратера, недоступного наблюдению с Земли.

Характерной особенностью лучевых систем является то, что на фоне материков они видны наиболее резко в полнолуние. С удалением от этой фазы их контрастность быстро снижается, и они понемногу сливаются с общим



фоном материка. Ясно, что ход изменения яркости для них иной, чем для обычного материала, устилающего светлые области лунного диска. На темном фоне морей светлые лучи остаются видимыми при всех фазах, даже вблизи терминатора.

Много внимания было уделено вопросу о рельефе светлых лучей. Давно была установлена та их особенность, что сами они как бы безразличны к рельефу местности, которую пересекают. Они проходят через валы, дно и центральные горки кратеров, ровные участки поверхности и горные хребты, нисколько не нарушая ни своего направления, ни тех форм рельефа, по которым они пролегают. В этом отношении лучи напоминают как бы полосы белой краски, проведенные по лунной поверхности огромной кистью. Лишь в 1924 г. было опубликовано сообщение Пэза, согласно которому на 100-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт-Вильсон при очень косом освещении удалось наблюдать незначительные тени, отброшенные лучами. Это единичное наблюдение пока не может считаться вполне достоверным и требует проверки.

Несколько иной характер носят системы светлых лучей, окружающие такие кратеры, как Коперник и Кеплер. Тут мы встречаем большое количество неправильных, кривых, переплетающихся лучей, полос и пятен, нередко плохо отделенных друг от друга и образующих густую сеть.

Следующий вариант расположения светлого вещества, представляющего собой как бы дальнейшее развитие предыдущего типа, составляют образования, называемые *венцами*, *нимбами* или *гало*. Это — сплошное светлое «сияние» вокруг кратера, совсем или почти не разделяющееся на отдельные лучи. Иногда такое «сияние» окружает кратер более или менее симметрично. В других случаях светлая окраска располагается преимущественно или целиком по одну сторону от кратера. Бывает, что она образует светлый придаток, напоминающий хвост кометы.

При наблюдении всех перечисленных вариантов распределения светлой окраски невозможно отделаться от впечатления, что какое-то светлое вещество выбрасывалось из кратеров и очень тонким слоем ложилось на окружающую территорию. Поэтому всякая гипотеза, претендующая на объяснение происхождения лунных кратеров, должна дать ответ и на вопрос о природе светлых лучей и нимбов.

Следует иметь в виду, что материалом очень светлой окраски часто бывают покрыты дно, склоны вала и центральная горка кратера. Именно поэтому многие кратеры в полнолуние наблюдаются в виде светлых пятен и точек, своей белизной выделяющихся не только на фоне морей, но и на материках. Весьма вероятно, что это тот же самый материал, который, будучи выброшен наружу, образует лучи и нимбы. В селенографии этот неизвестный нам материал принято называть условным термином *альбин* в отличие от черного вещества, или *нигрита*, образующего дно темных цирков и морей. Разумеется, эти чисто условные названия отнюдь не заключают в себе утверждения, будто тут мы имеем перед собой только два каких-то материала.

### § 15. Высота лунных гор

Важнейшей характеристикой всякой земной возвышенности является ее высота над уровнем океана. Высоты на Земле определяются давно разработанными методами нивелирования. В настоящее время поверхность всех материков Земли охвачена точными рядами нивелировок, и потому для любой местности можно сказать, насколько она отстоит от поверхности так называемого геоида, т. е. уровня океана, мысленно продолженного под всей площадью материка. Очевидно, что и на Луне мы должны уметь определять возвышения горных вершин, платформ материков и низменностей морей. Однако тут мы встречаемся с тем осложнением, которое создается отсутствием на Луне океана и связанной с его уровнем поверхностью геоида. Не имея единой физической поверхности для отсчета высот, мы вынуждены довольствоваться измерением возвышений отдельных гор над уровнем окружающей равнины.

Как же измеряют высоты на Луне? На каких принципах основано нивелирование лунной поверхности?

Простейшая возможность для определения высоты лунной горы возникает в том случае, когда гора находится непосредственно на самом краю видимого диска. В этом случае, наблюдая в достаточно сильный телескоп, мы можем прямо видеть ее на фоне неба в виде выступа лунного края. Благодаря обилию гор на материках края лунного диска всегда представляются зубчатыми или волнистыми. Остается только измерять наблюдаемые на них многочисленные неровности при помощи микрометра. А так как вследствие либрации линия видимого края диска по Луне непрерывно

перемещается, то таким способом измерения можно охватить довольно обширную зону лунного шара, образующую пояс почти  $15^\circ$  в ширину.

Измерения описанного типа действительно были выполнены и притом весьма тщательно. Правда, это делалось не столько в интересах селенографии, сколько для получения поправок к тем астрометрическим наблюдениям, в которых отмечаются положения краев лунного диска. Наличие гор вносит в такие наблюдения ошибки, и эти ошибки исправляются путем применения данных, опубликованных в форме профиля лунного края при разных значениях либрации. Такой материал интересен и для наблюдателей солнечных затмений. При прохождении Луны по фону солнечного диска лунные горы также бывают отчетливо видны в виде черных силуэтов — зубчиков лунного края. В момент наступления полного затмения они создают характерное явление «четок Бейли», состоящее в том, что тоненькая ниточка солнечного серпа перед исчезновением распадается на ряд отдельных ярких точек — участков солнечной поверхности, еще видимых в промежутках между зубцами лунных гор.

Исследователь лунной поверхности тоже находит для себя много интересного в диаграммах и атласах профиля лунного края. В частности, таким путем было установлено, что наиболее высоким горным образованием на Луне являются горы Лейбница, расположенные около южного полюса Луны и озаряемые солнечными лучами при всех фазах. В этой горной системе есть вершины, возвышающиеся над дном ближайших ущелий на высоту до 9 км.

Другой способ определения высоты лунных гор основан на измерении длины тени. Если одиночный горный пик расположен среди открытой равнины, то, как видно из рис. 36, длина  $L$  отбрасываемой им тени может быть легко получена из прямоугольного треугольника  $ТПВ$ , в котором  $B$  — вершина горы,  $П$  — ее подошва, или, вернее, точка пересечения вертикальной линии, проходящей через вершину, с плоскостью окружающей равнины, а  $T$  — конец тени. Угол  $ВТП$  есть высота Солнца  $h$  над горизонтом данной области лунной поверхности, а угол  $ТВП$  — соответствующее зенитное расстояние Солнца  $z$ . Обозначив высоту горы через  $H$ , из треугольника  $ТПВ$  мы легко находим

$$H = L \operatorname{ctg} z = L \operatorname{tg} h. \quad (12)$$

На основе этой формулы определены высоты многих тысяч лунных гор. К сожалению, гор, одиноко возвышающихся среди равнин, не так много. Поэтому чаще всего бывает, что тень изучаемой горы попадает на склоны соседних возвышенностей, а это вносит в результаты трудно устранимые ошибки. Следует также иметь в виду, что та длина тени, которую мы непосредственно видим на лунном диске, на рисунке или на фотографии, равна истинной длине только для области Луны, расположенной

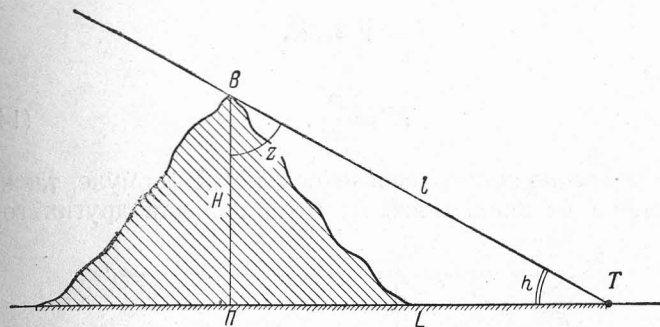


Рис. 36. Схема определения высоты лунной горы по длине тени.

в центре диска. Для других зон диска видимая длина тени, вообще говоря, будет меньше истинной вследствие перспективы или ракурса. Поэтому нужны специальные расчеты для перехода от видимой длины тени  $L'$  к истинной  $L$ .

Третий, очень красивый способ определения высот на Луне основан на том, что одинокая горная вершина освещается солнечными лучами уже тогда, когда окружающая равнина погружена во мрак, о чем мы писали в § 12. Чем выше гора, тем больше то расстояние от терминатора, на котором она начинает или кончает освещаться солнечными лучами. Поэтому, замечая появление или исчезновение ярких точек гор за линией терминатора, можно определять высоты этих гор.

Геометрическая сущность этого метода, предложенного еще Галилеем, показана на рис. 37. На нем  $O$  — центр Луны,  $B$  — вершина горы,  $П$  — ее подошва, а  $T$  — положение терминатора, т. е. точки касания к лунной поверхности солнечного луча  $СВ$ , озаряющего только вершину

горы. Из прямоугольного треугольника  $BTO$  получаем:

$$BO^2 = BT^2 + TO^2.$$

Но  $TO=R$  есть радиус Луны,  $BO=R+H$ , а  $BT=l$  есть линейное расстояние вершины от линии терминатора. Поэтому написанное равенство можно переписать так:

$$l^2 + R^2 = (R + H)^2 = R^2 + 2HR + H^2. \quad (13)$$

Отбрасывая  $H^2$  как величину малую по сравнению с радиусом Луны  $R$ , получаем:

$$l = \sqrt{2HR},$$

откуда

$$H = \frac{l^2}{2R}. \quad (14)$$

Определение высот, основанное на этой формуле, также получается не вполне точным из-за наличия других гор

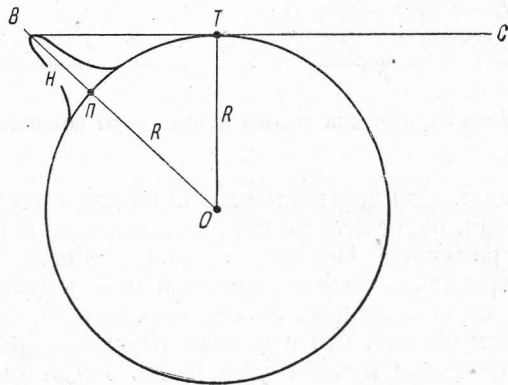


Рис. 37. Схема определения высоты лунной горы по появлению ее вершины за линией терминатора.

и возвышенностей вокруг изучаемой горы. Возвышаясь над горизонтом вершины горы, они заслоняют Солнце еще до того, как оно зайдет за линию математического горизонта и этим вносят погрешности в результат определения высоты.

В настоящее время разрабатывается еще один способ определения лунных высот. Он основан на широко при-

меняемом при аэрофотосъемке земной поверхности принципе стереофотограмметрии. Для этого фотографируют одну и ту же область Луны два раза при существенно различной либрации. При изменении либрации все детали меняют

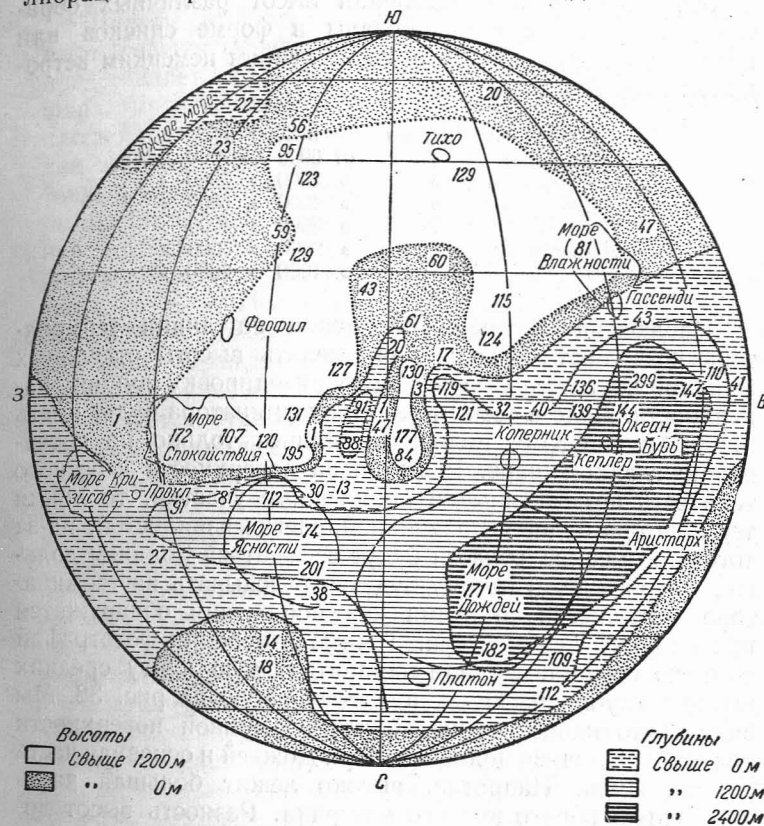


Рис. 38. Карта высот и понижений на лунной поверхности.

свое видимое положение на лунном диске, но смещение вершин, возвышающихся над равниной, при этом происходит несколько иначе, чем объектов, находящихся в низинах. Благодаря этому видимое расположение вершин гор на фоне окружающей равнины для земного наблюдателя немного меняется. Это ведет к тому, что если два снимка, полученных при разной либрации, поместить в стереоскоп, то мы увидим перед собой рельефную картину, на

которой возвышения и впадины будут сильно преувеличены. Специальная техника исследований и измерений такой картины позволяет получить и значения самих высот.

Многочисленные определения высот различных образований на Луне опубликованы в форме списков или каталогов. Так, в каталоге, составленном немецким астрономом Медлером, описаны:

1 вершина	высотой	в 9000 м
6 вершин	»	от 6000 до 7000 м
21 вершина	»	» 5000 » 6000 »
82 вершины	»	» 4000 » 5000 »
184 »	»	» 3000 » 4000 »
289 вершин	»	» 2000 » 3000 »
320 »	»	» 1000 » 2000 »

Наблюдения условий освещения на линии терминатора позволяют не только определить высоты отдельных вершин, но и выполнить общую нивелировку лунной поверхности. Дело в том, что линия терминатора будет иметь правильную форму половины эллипса только на совершенно гладком шаре. Если же на поверхности небесного тела есть возвышенные и пониженные участки, то линия терминатора будет неправильной, слегка извилистой, из-за того что высокие области будут освещаться Солнцем больше, чем низкие, и потому будут образовывать на терминаторе выступы, в то время как понижения обнаружатся как впадины терминатора. Точные измерения фотографий лунного серпа позволили составить общую карту средних высот и глубин на Луне, представленную на рис. 38. Мы видим, что наиболее низкой частью лунной поверхности является восточная половина Моря Дождей и основная часть Океана Бурь. Напротив, высоко лежит большая часть площади большого южного материка. Разность высот достигает почти 4000 м.

## § 16. Карты и атласы лунной поверхности

При изучении географии необходимыми пособиями являются глобус, атлас, карта. При изучении селенографии также необходимо пользоваться картами и атласами лунной поверхности.

Построение карты поверхности некоторого небесного тела начинается с того, что для целого ряда деталей оп-

ределяют широты и долготы и затем, уже имея их, наносят нужные объекты на карту по сетке меридианов и параллелей. Очевидно, что тем же методом нужно действовать и в селенографии.

Широты и долготы точек лунной поверхности называют селенографическими. *Селенографическая широта*  $\beta$  представляет собой угол, образуемый радиусом лунного шара, проведенным через данную точку поверхности, с плоскостью лунного экватора. Положение этой плоскости, как и положение оси вращения Луны, определяется из точных наблюдений над либрацией, описанных в § 8. Широта считается положительной или же называется северной и отмечается буквой N в том случае, когда деталь лежит в полушарии Луны, обращенном к северному полюсу мира, т. е. к Полярной звезде. В северном полушарии лежат Море Дождей, Море Холода и Море Ясности. В полушарии, обращенном в сторону южного небесного полюса, широта считается отрицательной или именуется южной и отмечается буквой S. Правило знаков для широты имеет большое практическое значение при выполнении разного рода вычислений, где конечный результат обычно зависит от того, с каким знаком — плюсом или минусом — взят угол широты.

Поскольку форма Луны отличается от шарообразной очень незначительно, даже в точной лунной картографии не возникает тех затруднений, которые в земной картографии создаются сжатием Земли и необходимостью рассматривать земную поверхность как сфероид.

*Селенографической долготой*  $\lambda$  называется двугранный угол, составляемый плоскостью лунного меридиана, проходящего через данную точку поверхности, с плоскостью некоторого начального меридиана. Селенографическая долгота измеряется дугой лунного экватора, заключенной между данным и начальным меридианами. Как известно, выбор начального меридиана на поверхности некоторого небесного тела делается произвольно: с математической точки зрения все меридианы совершенно равноценны и потому безразлично, с которого начинать счет долгот. Недаром в географии были предложены и применялись разные начальные меридианы, как например, Гриничский, Пулковский, острова Ферро и другие. Селенография избежала такого разнобоя. В ней по предложению Тобиаса Мейера уже в 1749 г. за начальный меридиан был принят

тот, который проходит через видимый из центра Земли центр лунного диска тогда, когда Луна находится одновременно на линии узлов и линии апсид.

Долгота на Луне считается положительной в западной половине лунного диска, т. е. в сторону Моря Кризисов. Долгота, отсчитываемая в таком направлении, принимается положительной или отмечается буквой W. Долгота в восточной половине лунного диска, т. е. в сторону Океана Бурь, принимается отрицательной или обозначается буквой E.

Благодаря явлению либрации положение начального меридиана на видимом лунном диске непрерывно меняется. Однако этот меридиан всегда проходит через средние части диска, отходя от центра последнего к востоку или западу не более чем на  $7^\circ$ .

Определение точных широт и долгот различных образований на лунной поверхности составляет одну из важнейших задач селенографии. Оно сводится к тому, что на лунном диске или на фотографии Луны сначала измеряют положение точки по отношению к центру и краям диска. Результат получают в виде прямоугольных координат  $x$  и  $y$ , от которых путем соответствующего расчета переходят к широте и долготе, используя координаты  $\beta_0$  и  $\lambda_0$  центра диска. Такой расчет, если его выполнять с полной точностью, представляет собой довольно сложное дело, так как положение наблюдателя по отношению к Луне непрерывно изменяется вследствие вращения земного шара вокруг оси. Выражаясь астрономическим языком, можно сказать, что сложность расчета происходит от необходимости точно учитывать параллакс. В целях облегчения работы по массовому определению координат лунных деталей разработаны методы относительных определений, состоящие в том, что широты и долготы объектов получают путем привязки к опорным точкам, для которых заранее определяются надежные значения координат. При этом за основную точку для всей лунной поверхности принимается небольшой, но хорошо видимый при всяком освещении кратер, носящий название Местинг А. Он расположен близ центра лунного диска. Многолетние измерения, проводившиеся на Энгельгардтовской обсерватории, в сочетании с материалами других обсерваторий позволили И. В. Бельковичу вывести наиболее достоверные значения координат этого кратера.

Многими обсерваториями были опубликованы обширные каталоги широт и долгот различных точек на Луне. Этот материал использован для составления лунных карт и атласов.

Первые, еще очень несовершенные карты Луны были составлены уже в XVII в., в эпоху первых телескопических наблюдений. В дальнейшем картография Луны развивалась по мере усовершенствования телескопов и методов измерения. С конца XIX в. здесь стала применяться

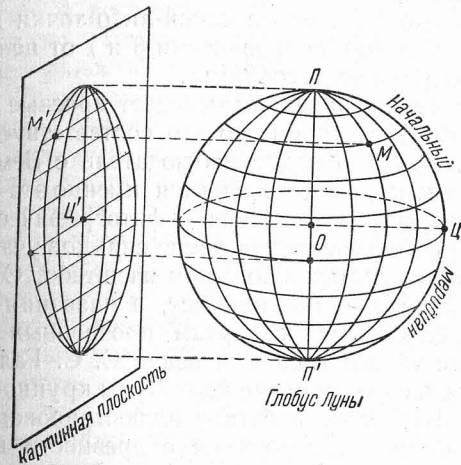


Рис. 39. Схема построения ортографической проекции полусферы.

фотография, что открыло перед топографией и картографией Луны новые возможности.

В настоящее время находят применение атласы и карты двух типов. Первый тип — это карты топографические. На них наносится сетка меридианов и параллелей, контуры морей, положение отдельных пиков и трещин, а рельеф поверхности обозначается теми условными знаками, которые приняты и на географических картах.

В то время как карты Земли изображают в различных картографических проекциях, например в виде двух полушарий в стереографической проекции или в форме одной прямоугольной карты цилиндрической проекции, карты Луны всегда чертят в проекции ортографической. Как получается такая проекция, показано на рис. 39. За

плоскость карты (за так называемую картинную плоскость) берется плоскость меридиана, перпендикулярного к начальному. Из каждой точки  $M$  полушария лунного глобуса на плоскость карты опускается перпендикуляр. Его подошва  $M'$  и будет изображением точки на карте. Экватор и параллели на так построенной карте изображаются в виде прямых линий. Расстояние параллели с широтой  $\beta$  от центра карты равняется  $R \sin \beta$ , где  $R$  — радиус карты. Центральный меридиан изображается прямой линией, перпендикулярной к экватору. Остальные меридианы имеют вид полуэллипсов. Расстояние какой-либо точки меридиана с селенографическими координатами  $\beta$  и  $\lambda$  от центрального меридиана составляет  $R \cos \beta \sin \lambda$ .

Ортографическая проекция передает краевые части Луны с большим искажением, но это соответствует как раз той картине, которую видит наблюдатель с Земли, почему для лунных карт употребляется именно эта проекция.

Второй тип лунных атласов — фотографический. Они представляют собою воспроизведение снимков участков лунной поверхности, снятых в большом масштабе. Сетки меридианов и параллелей на них нет, а названия объектов даются на прилагаемых к картам прозрачных кальках. В СССР атлас такого типа был издан С. С. Гальперсоном в 1924 г. Прекрасное собрание карт Луны крупного масштаба можно найти также в богато иллюстрированном издании: «Астрономия Чехословакии с древности по настоящее», Прага, 1952 г., которое продается в иностранных отделах наших книжных магазинов.

## § 17. История поверхности Луны

Наблюдая поверхность Луны, любуясь обширными равнинами морей, разбираясь в сложных нагромождениях кратеров и цирков, невольно задаешь себе вопрос: каким образом все это образовалось? Вопрос законный и необходимый, но дать на него законченный ответ очень и очень трудно. Это и понятно. Ведь даже в отношении происхождения земных гор мнения геологов во многом расходятся и существуют различные теории горообразования. И это несмотря на то, что по вопросу о строении земных гор сведений куда больше, чем о горах на Луне. Каждую земную гору можно со всех сторон облазить, собрать образцы пород, из которых она состоит, изучить последовательность

расположения различных горных пород; многие горы пронизываются тоннелями, шахтами, штольнями, буровыми скважинами.

Ничего этого нет в распоряжении исследователя лунных гор. Единственное, чем он располагает — это данные морфологии, т. е. описание формы и размеров лунных гор да еще окраски наружной поверхности. Из каких горных пород сложены эти возвышенности, нам в сущности неизвестно, и об этом можно делать только догадки и предположения, что же касается внутреннего строения лунных гор и возвышенностей, то о нем совсем ничего нельзя сказать. Тем не менее наука, изучающая историю лунной поверхности, — селенология — может рассказать о прошлом Луны немало интересного.

Известную помощь в этом оказывает сравнение форм рельефа, видимого на Луне, с тем, что геология изучила и объяснила на поверхности Земли. Кроме того, в этих вопросах должна существовать взаимопомощь между селенологией и космогонией: данные о современном состоянии поверхности Луны принимаются во внимание при разработке гипотез происхождения самой Луны, и наоборот, подобные гипотезы, несмотря на всю их ненадежность, могут помочь в разрешении таких вопросов, как образование гор и равнин на Луне.

Первое, что можно сказать с полной уверенностью и не делая никаких предположений, — это то, что различные образования на Луне возникли в разное время, что одни из них моложе, другие старше. В этом важнейшем для селенологии факте читатель легко может убедиться сам.

Мы приглашаем читателя в день с подходящим положением терминатора посмотреть на знаменитую цепочку из трех кратеров, носящих названия Феофил, Кирилл и Катарина, расположенную у восточного края моря Нектара (они изображены на рис. 31, стр. 86). Северный из них, Феофил, частично вторгается на площадь соседнего, Кирилла, из-за чего вал последнего не замкнут. Естественно предположить, что сначала возник Кирилл, а потом образовался Феофил, разрушивший часть его вала и занявший часть его места. Примеров этого рода на Луне можно найти огромное количество, в особенности в районе южного лунного материка, где кратеры буквально громоздятся друг на друга (рис. 40). Рассматривая эту область Луны в телескоп при подходящем освещении, находим

множество примеров того, как молодые кратеры, возникая, теснили и разрушали ранее существовавшие горные

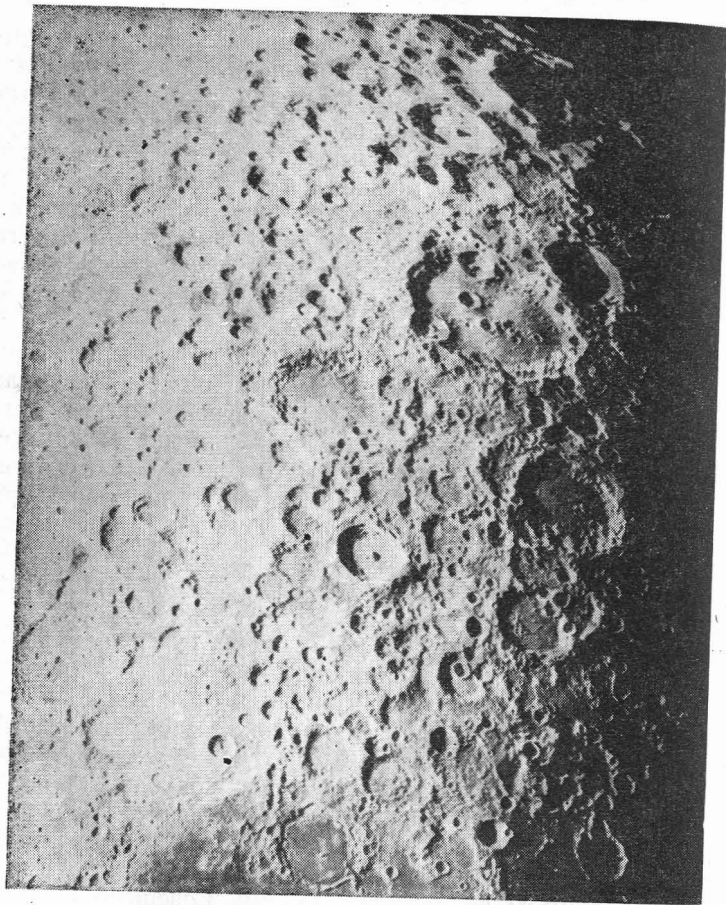


Рис. 40. Область большого южного материка с нагромождением кратеров и цирков. Самый большой цирк в верхней части снимка — Клавий. Обратите внимание на средние и мелкие кратеры, образовавшиеся на его валу позднее.

системы. При этом новые кратеры, как правило, меньше старых.

Другой замечательный случай последовательности возникновения лунных гор во времени составляют так назы-

ваемые *паразитические кратеры*, которые иногда во множестве усеивают валы больших. В качестве примера можно указать большой цирк Клавий в южном полушарии лунного диска (рис. 40). На его валах и дне сидит не менее 20 подобных кратеров-паразитов. Совершенно очевидно, что они не могли возникнуть раньше большого кратера, и потому их приходится рассматривать как позднейшие образования, которыми понемногу обрастали склоны вала, а отчасти и дно старых цирков.

Еще более замечательно соотношение между морями и кратерами. По окраинам морей во многих местах можно видеть как бы глубокие полукруглые заливы, ограниченные горным валом в форме полукруга или серпа. Это — как бы половина кратера, вторая часть которого «потерялась» на равнине моря. Наиболее характерный пример — Залив Радуги на северо-восточном краю Моря Дождей. Внимательно осматривая «берега» морей, мы найдем немало образований этого рода. В качестве примера укажем незамкнутые валы кольцевых горных образований: Лемонье, Доппельмайер, Ли, Гиппал, Агатархид, Бонплан, Гарбингер. Обилие таких примеров приводит к естественному предположению, что когда-то на месте моря был материк, усеянный кратерами. Потом часть поверхности опустилась и была затоплена каким-то темным материалом, чем-то вроде темной лавы или магмы, поглотившей когда-то находившиеся здесь горы. По краям подобной области опускания сохранились остатки полуразрушенных кратеров, образовавшие заливы и «фестоны» по берегам моря. Такие образования называют *полуопустившимися*, или *полузатопленными* кратерами.

Взгляд на низменности лунных морей как на области опускания, затопленные поднявшейся из недр лунного шара расплавленной массой, среди селенологов широко распространен. В последнее время его развил советский геолог А. В. Хабаков. Можно привести много фактов, которые говорят в пользу этого взгляда. Например, по окраинам многих морей заметны последовательные ступени или террасы, явившиеся результатом нескольких последовательных опусканий до различных уровней. Их особенно хорошо видно в южном круглом бассейне Моря Нектара. Далее, остатки затопленных кратеров и цирков можно видеть не только на окраинах, но и в средних частях многих морей. Это — цепочки пиков, расположенных кольцом

и слегка возвышающихся над уровнем моря, представляющие собой как бы вершины погребенного в море вала, намечающие его бывшее положение.

В § 13 мы уже упоминали особый тип лунных образований — так называемые *кратеры-фантомы*, которые представляют собой бледные туманные кольца разного размера, слабо выделяющиеся на темной поверхности морей. Они совершенно не отбрасывают теней и, следовательно, не являются возвышениями или какими-либо другими образованиями рельефа. Это выглядят так, как если бы вал кратера был полностью погружен под поверхность моря и слабо оттуда просвечивал, подобно тому, как мели и банки просвечивают сквозь неглубокую воду земных морей при наблюдении с самолета. Но такое просвечивание, возможное сквозь воду, немыслимо сквозь скалистое вещество лунной равнины. Поэтому в настоящее время трудно сказать, что представляют собой кратеры-фантомы. Проф. В. В. Шаронов предполагает, что в тонком слое лавы, оставшемся над гребнем вала, вещество собственно лавы смешалось с расплавленным светлым веществом вала, отчего первое приобрело менее темный оттенок, зона расположения которого и намечает место погребенного кратера.

Наряду со всеми приведенными примерами, когда море, образуясь после кратеров, их разрушало и затопляло, можно указать множество обратных случаев, когда кратеры возникали после моря, образуясь на поверхности последнего. Типичными примерами таких «молодых» горных систем являются кратеры Коперник, Кеплер, Аристарх, Манилий.

Из сказанного следует, что высказывавшееся некоторыми селенографами мнение, будто лунная поверхность со всеми ее разнообразными формами образовалась при застывании расплавленной магмы за сравнительно короткий срок и после того на протяжении нескольких миллиардов лет оставалась неизменной, не выдерживает никакой критики. Несомненно, что Луна, как и Земля, прошла длинный путь развития, и ее современная поверхность является результатом воздействия процессов и явлений, продолжавшихся на протяжении очень долгого времени. На Луне, как и на Земле, одни периоды сменяли другие. Уже на основании того, что мы рассказали о взаимном воздействии кратеров и морей, было давно

установлено наличие в истории Луны по крайней мере трех периодов: *доморского* (*ante-maria*, сокращенно АМ), когда возникали те кратеры, которые потом затоплялись веществом морей; *океанского*, или *морского*, когда наступила эпоха понижений и формирований современных морей; *послеморского* (*post-maria*, сокращенно РМ), или *коперниканского*, когда на готовой уже поверхности морей возникали новые кратеры типа Коперника. Развивая этот исторический взгляд на формы лунной поверхности, А. В. Хабаков различает следующие шесть периодов в истории развития Луны.

1. *Первоначальная эпоха*, когда кольцевых гор еще не было и Луна была покрыта первобытной корой с бугристой или гребнистой поверхностью. От этого времени, быть может, ничего не осталось, однако возможно, что лишённые кратеров участки возвышенных частей материков в какой-то мере еще сохранили ее следы.

2. *Древнейший, или доалтайский период*. Это было время интенсивного кратерообразования, от которого не сохранилось почти ничего. Только «фестончатый» край древних Алтайских гор является, быть может, свидетелем когда-то существовавших кратеров, которые были затоплены позднее возникшими, но ныне уже не существующими морями.

3. *Древний, или алтайский период*. В этот период происходили опускания и образовывались моря, до нашего времени в основном не сохранившиеся. Алтайский хребет, расположенный не на берегу моря, как прочие, а на материке, возник в эту эпоху как береговой хребет существовавшего там моря, исчезнувшего в следующий период.

4. *Средний, или птолемеевский, или доморской период*, когда, как и в доалтайский период, происходило мощное образование кольцевых гор и исчезновение ранее возникших морей. В этот период возникла большая часть старых кольцевых гор, которые мы теперь наблюдаем на поверхности материков и примером которых может служить Птолемей, а также все те кратеры, которые теперь являются полузатопленными или затопленными. По-видимому, в этот период кратерами были покрыты и площади современных морей, что обосновывается существованием обильной сетки кратеров-фантомов на их поверхности.



5. Новый океанский период, в который снова происходили опускания коры, сопровождавшиеся затоплением и разрушением кратеров, а пояс морей принял современные очертания.

6. Новейший, или коперниканский период, характерен новым появлением кратеров на поверхности морей. Свежие, молодые кратеры, возникшие в этот период, отличаются резким рельефом, не очень большими размерами, светлой окраской и наличием светлых лучей. Этот период, возможно, продолжается и по сей день, хотя не исключено и то, что в настоящее время лунная поверхность находится в состоянии покоя.

Таким образом, есть основания предполагать, что на Луне периоды образования кратеров и возникновения морей сменяли друг друга, быть может, многократно. А. В. Хабаков связывает эти процессы с периодическими сжатиями и расширениями лунного шара. По его мнению, в эпохи расширения возникали кратеры, а в эпохи сжатия — низменности морей. Эти сжатия и расширения создавали в лунной коре многочисленные разломы, причем при расширениях получались разломы открытого типа, выступающие на лунном диске в виде трещин и борозд, а при сжатиях — разломы закрытого типа, примером которых являются валы и жилы на поверхности морей. Исследованию таких разломов и разработке теории, связанной с их образованием, посвящены многолетние работы А. В. Хабакова в области селенологии. Однако причины расширений и сжатий Луны, предполагаемых в этой теории, пока неясны.

Важнейшую проблему селенологии составляет объяснение происхождения кольцевых горных систем. Ее решение особенно трудно, потому что обилие кольцевых гор является той специфической особенностью лунной поверхности, которая отличает Луну от Земли, так что примеры и аналогии, взятые из земной геологии, здесь мало действительны. Предложено очень много разных гипотез образования цирков и кратеров; нет никакой необходимости рассматривать здесь их все. Достаточно указать, что существует два основных направления в обосновании происхождения цирков и кратеров: эндогенные гипотезы и экзогенные.

Термин «эндогенный» происходит от греческих корней «эндос» — внутренний и «генос» — род и, следовательно,

приблизительно означает «рожденный своими средствами». Теории, принадлежащие к эндогенному направлению, приписывают возникновение кратеров и цирков внутренним силам Луны, проявляющимся в вулканических и тектонических процессах. Следует, однако, заметить, что никакого морфологического сходства между строением земных вулканов и лунных кратеров нет. Вулкан представляет собой коническую гору с небольшим углублением (кратером) на вершине. Лунный цирк, напротив, представляет собой понижение лунной поверхности, окруженное валом. В крайнем случае можно найти некоторое сходство между земными вулканами и центральными горками лунных кратеров. Однако высказывавшийся иногда взгляд, будто центральная горка есть вулкан, а вал представляет собой выброшенные этим вулканом продукты, не может быть принят.

Из форм земной поверхности на лунные кольцевые горы более всего похожи так называемые кальдеры. Так называются своеобразные формы вулканического рельефа, возникающие вследствие провала вулканического конуса, а иногда и части окружающей местности, в образовавшуюся под вулканом пустую полость. В результате получается круглая, похожая на цирк, котловина с крутыми внутренними стенками и ровным дном. Иногда в результате последующей вулканической деятельности в центре кальдеры образуется новый вулканический конус, напоминающий центральную горку лунных кратеров. Однако земные кальдеры не превосходят 10—15 км в поперечнике, а в глубину достигают не более нескольких сотен метров, так что по масштабам они много скромнее, чем лунные кратеры и цирки.

Происхождение светлых лучей с точки зрения эндогенных теорий может быть объяснено двояко. Во-первых, можно допустить, что при извержениях, приводивших к возникновению кратеров, мельчайшие частицы типа вулканического пепла выбрасывались на огромные расстояния, чему способствовала малая сила тяжести на Луне. Струи или потоки этого пепла оседали на лунную поверхность полосами, покрывая все формы рельефа светлым налетом. Другой взгляд сводится к тому, что мощный тектонический процесс, создававший кратер, вызывал в лунной коре систему радиальных трещин, которые заполнялись подымавшейся снизу светлой лавой.

Совсем иначе объясняют происхождение кольцевых горных систем экзогенные теории, наименование которых связано с греческим словом «экзос» — посторонний, чужой, внешний. Согласно наиболее распространенному варианту таких теорий кольцевые горы представляют собой следы падения на Луну огромных метеоритов. При ударе о лунную поверхность метеорита, масса которого равна  $m$ , а скорость движения  $v$ , его кинетическая энергия мгновенно превращается в теплоту. Легко подсчитать, что при этом должна развиваться очень высокая температура. Если обозначить теплоемкость вещества метеорита через  $s$ , механический эквивалент тепла через  $A$ , а начальную температуру метеорита через  $t_0$ , то, допуская, что вся кинетическая энергия метеорита превратится в теплоту, нагревающую метеорит, можно написать:

$$\frac{mv^2}{2} = ms(t - t_0)A. \quad (15)$$

Принимая для скорости  $v$  минимальное значение  $15 \text{ км/сек}$  и полагая  $s=0,2$ ,  $t_0=0^\circ$  и  $A=4,2 \cdot 10^7$ , мы для температуры метеорита получаем  $t=132\ 000^\circ$ . Конечно, в действительности не вся энергия идет на нагревание метеорита: часть тепла передается окружающим горным породам, идет на раздробление последних или выделяется в виде лучистой энергии. Однако, даже если принять, что на нагревание самого метеорита идет только 10% энергии его движения, то и в этом случае тепла будет достаточно, чтобы метеорит мгновенно превратился в пар. Но мгновенное превращение вещества в пар представляет собою то, что на техническом языке называется взрывом. Таким образом, простой каменный или железный метеорит, падая на лунную поверхность, действует как бомба большой взрывной силы. Сила взрыва разрушает лунную поверхность, образуя на ней колоссальную воронку, которую мы и наблюдаем на лунной поверхности в форме кратера или цирка.

Такой процесс с теоретической стороны был подробно исследован советскими учеными К. П. Станюковичем и В. В. Федынским. Основываясь на современной теории взрывных процессов и принимая скорость движения метеорита относительно лунной поверхности равной  $50 \text{ км/сек}$ , они произвели подробный расчет количества разрушаемого вещества, скоростей выбрасываемых частиц и распределения на лунной поверхности материала, падающего

обратно после взрыва. Получилось, что в пар превращается количество материала, по весу превосходящее сам метеорит, а частицы этого пара в основном приобретают такую большую скорость, что совсем покидают Луну. Таким образом удары метеоритов производят разрушение, или дезинтеграцию лунной поверхности, имеющую своим последствием постепенное уменьшение массы Луны, правда, крайне медленное. Часть раздробленного материала оседает на Луну обратно, причем в точке взрыва и на определенном расстоянии от нее этот процесс достигает максимальной интенсивности. В результате на месте взрыва вырастает центральная горка, а на расстоянии максимальной отклонения образуется кольцевой вал. С точки зрения таких взглядов светлые лучи могут рассматриваться как направления особенно далекого выброса измельченного материала.

В поддержку метеоритной теории было проделано немало опытов по искусственному получению лунных кратеров. В качестве примера приведем интересные опыты П. Ф. Сабанеева, который сбрасывал на слой порошка порции того же порошка (мел, цемент) и получал миниатюрные кратеры, весьма похожие на лунные. Много интересного дает также изучение воронок от авиационных бомб. Во всех перечисленных случаях огромная разница в масштабе затрудняет интерпретацию полученных данных.

В деле разработки метеоритной теории важную роль играет тот факт, что и на Земле существуют кратеры, образовавшиеся в результате падения больших метеоритов. Из них наибольшей известностью пользуется кратер Дьявола в пустыне Аризона (США), имеющий диаметр  $1200 \text{ м}$  и глубину  $175 \text{ м}$ . Правда, на нашей планете таких образований очень мало, но это, естественно, объясняется тем, что у нас их быстро разрушает выветривание, в то время как на Луне, где атмосферы и воды нет, за долгое время они накопились во множестве.

Таким образом, перед нами два совершенно различных принципа объяснения происхождения цирков и кратеров на Луне. Каждый из принципов имеет свои достоинства, а также свои трудности и противоречия. Поэтому в настоящее время трудно отдать предпочтение тому или другому направлению, и только будущие исследования позволят разобраться в этом вопросе более полно. Может оказаться и так, что оба принципа кратерообразования

действуют одновременно, порождая сходные по виду формы рельефа.

Происходят ли в настоящее время на лунной поверхности изменения такого масштаба, которые были бы видны с Земли? Эта интересная проблема обсуждается селенографами давно. В литературе много раз появлялись сообщения о замеченном будто бы образовании новых кратеров или исчезновении старых. Этим особенно увлекались в первой половине XIX в., когда фотография к астрономическим наблюдениям еще не применялась и все материалы селенографии были основаны только на визуальных наблюдениях. Визуальное наблюдение не может быть проверено, его ошибку нельзя исправить позднее. Поэтому визуальные наблюдения часто заключали в себе многочисленные разногласия, и некоторые авторы пытались приписывать эти разногласия изменениям на лунной поверхности. Основываясь на расхождениях между картами Луны, построенными в разное время, авторы прежних работ предполагали быстрое образование и исчезновение на Луне крупных объектов типа горных цепей и кратеров. Приведем некоторые, наиболее известные примеры.

На карте Бэра и Медлера, изданной в 1837 г., не обозначен кратер Дехен, имеющий координаты  $\lambda = -60^\circ$  и  $\beta = 46^\circ$ . Это породило гипотезу, защищавшуюся некоторыми селенографами, будто этот кратер возник не ранее середины XIX в. Однако внимательное изучение вопроса показывает, что на карте Бэра и Медлера имеется кратер с координатами  $\lambda = -57^\circ$ ,  $\beta = 41^\circ$ , на самом деле не существующий. Ясно, что тут перед нами простая ошибка в нанесении кратера на карту, а не действительное изменение лунной поверхности.

Много писали о кратерах Мессье, расположенных рядом в Море Изобилия. Эти кратеры одним наблюдателям казались по размеру и форме одинаковыми, другим — различными. В этом тоже видели результат будто бы происшедшего изменения рельефа. Однако более подробное изучение вопроса, выполненное за последнее время, показало, что изменения кратеров Мессье носят периодический характер и повторяются регулярно каждую лунацию (период смены лунных фаз). Таким образом, тут перед нами только перемены в освещении: строение кратеров Мессье таково, что при одних положениях Солнца над ними они выглядят одинаковыми, а при других — различными,

Перемены в освещении, осложняемые к тому же изменением либрации, и являются источником многочисленных ошибочных сообщений о якобы замеченных переменах лунного рельефа.

В свое время много шума наделало сообщение известного селенографа Шмидта о том, что кратер Линней, нанесенный на многие карты и многократно измерявшийся, внезапно исчез. С тех пор было сделано много наблюдений этой местности; одни наблюдатели видели кратер, а другие — нет. Для объяснения этого было высказано совсем фантастическое предположение, будто кратер представляет собой действующий вулкан, который иногда скрывается облаками выделенного им дыма и пепла. В действительности здесь тоже имеют место только кажущиеся изменения, вызванные переменами в освещении.

Не больше достоверности и в явлении образования «нового» кратера в окрестности кратера Гигин. Немецкий астроном Клейн в 1876 г. заметил там совсем маленький кратер, диаметром всего в 5 км, которого при прежних наблюдениях он не видел. Этому кратеру дали наименование Гигин N. Клейн утверждал, что тут вновь возникшее образование, но позднейшие детальные наблюдения установили, что этот весьма небольшой кратер вообще бывает видим только при сочетании особенно благоприятных условий освещения и спокойствия земной атмосферы, и потому тот факт, что его не замечали раньше, отнюдь не означает его «новизны».

Примеров фиктивных изменений, аналогичных описанному выше, можно привести много. Они означают лишь то, что визуальные наблюдения не могут служить для решения вопроса о наличии на лунной поверхности реальных перемен. В связи с этим большие надежды стали возлагать на фотографию. В самом деле, одним из важных преимуществ фотографического наблюдения является его документальность: фотографический снимок — это документ, который можно сохранить и использовать для сравнения современного состояния той или иной области лунной поверхности с тем, что было десятки лет назад. Однако надежды эти не оправдались. То, что на Луне не происходит появления и исчезновения крупных объектов типа кратеров, теперь ясно всем. Значит, речь может идти лишь о возможных изменениях очень мелких и тонких деталей лунного рельефа. Но в отношении выявления подробностей,

малых по угловым размерам, фотография намного уступает визуальному методу наблюдения. Кроме того, все осложнения, которые вносятся переменами освещения и либрации, остаются в силе и для фотографического наблюдения. К ним прибавляются специфические для фотографии различия, вызываемые неодинаковой контрастностью и зернистостью используемых фотографических пластинок.

Известным примером затруднений, связанных с фотографическим изучением перемен на Луне, является история «открытия» немецким ученым Пульфрихом обвала в одной из лунных местностей. Применяя вновь сконструированный им прибор — стереокомпаратор — к сравнению двух снимков Луны, снятых в разное время, Пульфрих обнаружил в очертаниях одной горы явные изменения, которые приписал тому, что часть горы обрушилась. Однако проверка показала, что дело тут просто в дефекте желатинового слоя одной из пластинок.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что в настоящее время не известно ни одного достоверного случая изменения лунного рельефа. Это следует признать вполне естественным: ведь и на Земле за последние столетия не случалось таких изменений рельефа гор и утесов, которые можно было бы заметить с Луны. Конечно, следует продолжать собирать такой материал о современном состоянии лунной поверхности, который впоследствии можно было бы опять сравнить с непосредственными наблюдениями и посмотреть, не произошло ли каких-нибудь изменений. Весьма возможно, что со временем такие изменения действительно будут обнаружены. Однако дело это тонкое и сложное, оно должно быть основано на применении самых мощных современных телескопов.

## ГЛАВА IV ФИЗИКА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### § 18. «Белизна» Луны

Чем покрыта Луна? Этот вопрос люди задавали себе с давних времен. Однако ответить на него оказалось далеко не так просто. Если состав атмосферы Солнца и звезд и даже отдаленнейших туманностей перестал быть загадкой благодаря открытию спектрального анализа, то химический состав вещества, устилающего поверхность гораздо более близкой Луны, нам до сих пор не известен. Дело в том, что спектр рассказывает нам о составе вещества только в том случае, если это вещество находится в газообразном состоянии. Известно, что твердые и жидкие вещества, даже находящиеся в раскаленном состоянии, не могут быть опознаны по их спектру, поскольку спектр испускаемого ими света непрерывен, а такой спектр ничего не говорит о химическом составе испускающего свет вещества. С Луной дело обстоит еще хуже. Ее поверхность сравнительно холодна, собственного излучения в области видимых лучей не испускает, а лунный свет — это всего-навсего отраженные солнечные лучи. Поэтому и спектр лунного света вполне тождествен спектру Солнца: в нем видно большое количество линий, но все они образуются в результате поглощения в солнечной атмосфере, поскольку процесс отражения от твердой поверхности лунных скал и камней ничего добавить здесь не может.

Таким образом, перед исследователем природы Луны возникает трудная задача — узнать состав лунной поверхности, не прибегая к спектроскопу. Каким путем здесь можно идти?

Отражение лучей от поверхности твердого вещества хотя и не вносит в спектр новых линий, но кое-что о составе вещества все же говорит. В повседневной жизни мы по первому взгляду отличаем стекло от металла, медь от серебра, шелк от бархата и т. д. Практический опыт учит каждого, пользуясь такими свойствами вещества, как яркость, цвет, прозрачность, блеск, довольно уверенно отличать один материал от другого. Перечисленные качества в совокупности составляют то, что называют *отражательной способностью* поверхности. Очевидно, что и при научном изучении природы поверхности Луны можно воспользоваться отражательной способностью для суждения о том, чем может быть вещество, покрывающее поверхность лунных гор и равнин.

Простейшей количественной характеристикой отражательной способности будет коэффициент отражения или *альбеда*. Так называется отношение количества света  $\Phi$ , рассеиваемого участком освещенной матовой поверхности в разных направлениях, к количеству света  $\Phi_0$ , падающего на этот участок:

$$A = \frac{\Phi}{\Phi_0}. \quad (16)$$

Чем больше света отражается веществом, т. е. чем ближе величина  $A$  к единице, тем светлее или белее кажется нам это вещество. Термин «альбеда» происходит от латинского прилагательного *albus* — белый и, следовательно, по-русски может быть переведен словом «белизна».

Если речь идет о всей поверхности шарообразного небесного тела, каким является Луна, то понятие альбеда несколько изменяется. Пусть теперь  $\Phi_0$  будет полное количество солнечного света, падающее на все освещенное полушарие Луны. Обозначим через  $\Phi$  все количество света, которое это освещенное полушарие рассеивает во все стороны. Отношение

$$A_c = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (17)$$

называется *сферическим альбеда* небесного тела.

На поверхности целого полушария встречаются места разной яркости и разного цвета, участки со светлой и темной окраской. Сферическое альбеда выражает отражательную способность всей этой пестрой картины в среднем. Этим оно отличается от обычного, или плоского альбеда  $A$ ,

определенного выше: плоское альбеда  $A$  можно определить для достаточно малого и потому вполне однородного участка поверхности планеты или для образца какого-нибудь материала.

Какова же белизна Луны? Много или мало света отражает поверхность спутника Земли? Ответить на этот вопрос не так просто, как может показаться с первого взгляда. Например, ночью диск Луны кажется очень светлым, а если его рассматривать в телескоп, то лунная поверхность производит впечатление ослепительно белой. Однако такие впечатления обманчивы и основываться на них для суждений о действительной окраске лунной поверхности нельзя. Дело в том, что ночью у нас темно, а поверхность Луны в это время залита ярким солнечным светом. При таких условиях самое черное вещество может показаться белым как снег. Для того чтобы правильно определить отражательную способность лунной поверхности, нужны специальные фотометрические измерения. Необходимо определить, сколько света отражает лунный шар по каждому направлению, и полученные результаты просуммировать. Это даст нам количество света  $\Phi$ . Далее, зная, сколько света дает Солнце на единицу площади, например на один квадратный сантиметр, и умножив эту величину на площадь  $\pi R^2$  сечения лунного шара, мы получим количество света  $\Phi_0$ .

Обычно фотометрию лунного света разделяют на две задачи. Первая задача состоит в том, чтобы сравнить интенсивность лунного света при различных фазах и получить так называемую фазовую кривую лунного света. Для этого нужно при помощи фотометра каждый день измерять интенсивность лунного света при одной и той же высоте Луны над горизонтом. Таких наблюдений выполнено очень много. Результаты выражают либо в виде относительной освещенности  $E$ , причем за единицу принимают освещенность при истинном полнолунии, т. е. при фазовом угле, равном нулю, либо в виде звездных величин  $m$ , и тогда за нуль принимают величину полной Луны. Поскольку истинное полнолуние наблюдать нельзя из-за наступающего лунного затмения, самое начало кривой в обоих случаях приходится получать путем экстраполяции.

Сводка всех наблюдений, выполненных до 1916 г., была сделана американским астрономом Ресселом. Полученные им результаты приводятся в первых графах табл. 4. В

Таблица 4

Фазовый угол	Возраст (дни от полнолун.)	Сводка Рессела				Данные Ружье			
		прибывающая Луна		убывающая Луна		прибывающая Луна		убывающая Луна	
		<i>E</i>	<i>m</i>	<i>E</i>	<i>m</i>	<i>E</i>	<i>m</i>	<i>E</i>	<i>m</i>
0°	0	1000	0,00	1000	0,00	1000	0,00	1000	0,00
10	0,8	816	0,22	816	0,22	787	0,26	759	0,30
20	1,7	666	0,44	642	0,48	603	0,55	586	0,58
30	2,5	540	0,67	505	0,74	466	0,83	425	0,86
40	3,3	436	0,90	387	1,03	365	1,12	350	1,14
50	4,2	353	1,13	299	1,31	273	1,40	273	1,41
60	5,0	283	1,37	234	1,58	210	1,69	212	1,69
70	5,8	218	1,65	180	1,86	161	1,98	157	2,02
80	6,6	161	1,98	136	2,17	120	2,30	111	2,39
90	7,5	115	2,35	100	2,50	83	2,71	78	2,77
100	8,3	77	2,78	72	2,86	56	3,13	58	3,09
110	9,2	51	3,22	49	3,27	38	3,56	41	3,48
120	10,0	31	3,77	32	3,74	25	4,01	26	3,96
130	10,8	18	4,39	19	4,30	15	4,55	16	4,50
140	11,6	9	5,14	10	4,98	—	—	9	5,09
150	12,4	4	6,09	4	5,89	—	—	5	5,86

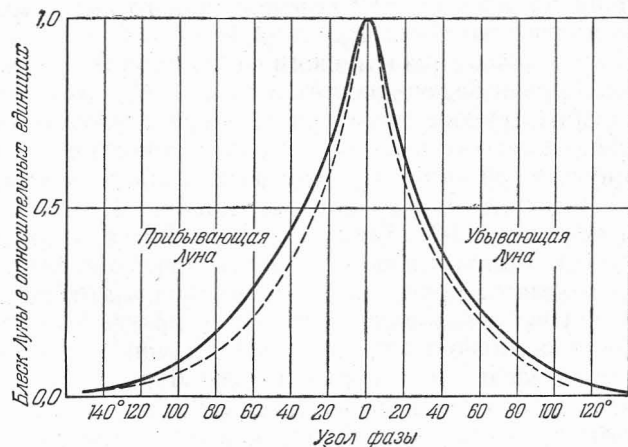


Рис. 41. Зависимость света Луны от фазового угла. Сплошная линия — данные Рессела, пунктирная — данные Ружье.

дальнейшем французский астроном Ружье выполнил новые, очень точные измерения лунного света при помощи

фотоэлектрического фотометра. Полученные им результаты немного отличаются от прежних; мы их приводим в последующих графах табл. 4, а в графической форме — на рис. 41. Как числа, приведенные в таблице, так и график показывают, что с удалением от полнолуния интенсивность лунного света убывает быстрее, чем освещенная доля площади диска. Например, в первой и последней четвертях освещена ровно половина лунного диска, в то время как свет составляет только 40% от света полной Луны. Кроме того, ход кривой прибывающей и убывающей Луны разный. Дело в том, что правая половина лунного диска беднее темными пятнами лунных морей, чем левая, и потому Луна в первой четверти дает несколько больше света, чем в последней. На рис. 42 свет Луны представлен в виде полярной диаграммы, называемой индикатрисой. На ней вдоль каждого радиуса отложен отрезок, по длине пропорциональный силе света Луны в данном направлении.

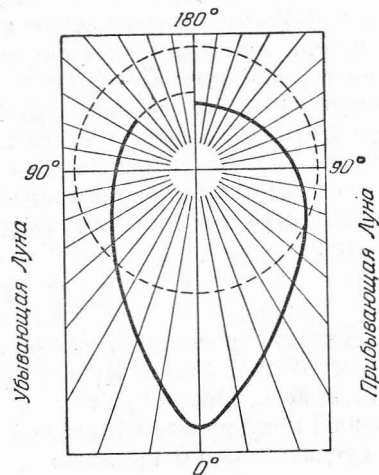


Рис. 42. Индикатриса лунного света.

Вторая задача лунной фотометрии заключается в том, чтобы выразить свет Луны при какой-нибудь одной фазе, например в полнолуние, в абсолютных световых единицах. Для задач практики весьма важно знать свет Луны, выраженный в технических световых единицах — люксах. Для этого свет Луны надо сравнивать с лампой, сила света которой известна. Результатом таких измерений является так называемая световая лунная постоянная. Под этим термином понимают ту освещенность  $E_0$ , которую лучи Луны при фазовом угле  $0^\circ$  дают на перпендикулярной к ним плоскости, удаленной от Луны на расстояние, равное большой полуоси лунной орбиты и находящейся вне земной атмосферы. Многолетняя работа по измерению лунного света, проводившаяся на астрономи-

ческой обсерватории Ленинградского университета, привела к такому результату:

$$E_0 = 0,32 \text{ лк.}$$

С другой стороны, интересно сравнить свет Луны со светом звезд. Для этого приходится получать маленькое звездообразное изображение крупного лунного диска, например, наблюдая отражение Луны в небольшом серебряном шарике. Такой блик вполне похож на звезду и его видимый блеск легко сравнить с блеском настоящих звезд. Такой метод, в частности, был применен профессором Московского университета В. К. Цераским. Среднее из наблюдений, выполненных различными учеными в разных странах, дает для звездной величины полной Луны число:

$$m = -12^m,55.$$

Техника расчета сферического альbedo требует прежде всего сравнения света Луны со светом Солнца. Для выполнения этой задачи могут быть использованы фотометры различной конструкции. На основании имеющихся материалов в среднем можно принять:

$$\frac{\text{свет Солнца}}{\text{свет полной Луны}} = 465\,000.$$

Имея это число и кривую изменения света Луны с фазой, можно получить по формулам, выводы которых даются в теоретической фотометрии, значение сферического альbedo  $A_c$ . Оказывается, что для визуальных, т. е. воспринимаемых глазом лучей, оно получается равным

$$A_c = 0,073.$$

Итак, лунная поверхность в среднем отражает только 7% падающего на нее света. Это значит, что она покрыта материалом весьма темной окраски, поскольку подобными значениями альbedo характеризуются такие вещества, как сухой чернозем, мокрый суглинок и очень темные горные породы типа базальта и диабазы.

Измерения альbedo, выполненные для отдельных участков спектра, показали, что лучи разных спектральных участков веществом лунной поверхности отражаются неодинаково. Слабее всего отражаются фиолетовые лучи,

всего сильнее инфракрасные, что видно из следующих данных, полученных автором этой книги:

Длина волны $\lambda$	$A_c$
430 $m\mu$	0,041
510 »	0,047
560 »	0,074
730 »	0,090

Значит, лунная поверхность не просто темная, но и слегка красноватая. Вещество с такой отражательной способностью в обычных условиях воспринимается зрением как коричневое. Поэтому можно утверждать, что если бы можно было поместить кусочек лунной поверхности среди окружающих нас предметов, то он выглядел бы темным серовато-коричневым или коричневатом-темно-серым.

Сферическое альbedo, несмотря на то, что оно представляет собой только осредненную характеристику отражательной способности Луны, все же позволяет сделать некоторые заключения о возможном составе вещества лунной поверхности. Например, некоторые немецкие ученые, исходя из обманчивого впечатления необыкновенной светлоты лунной поверхности при обозрении ее в телескоп, выступили с фантастическим предположением, будто лунные материки состоят из снега, а моря — из льда. Эта странная теория полностью опровергается измерением альbedo лунной поверхности, поскольку чистый снег отражает свыше 90% падающего на него света, а лед — около 30%. Нельзя предполагать наличие на Луне и горных пород со светлой окраской, какими, например, являются известняк, мел, мрамор. Даже неоднократно высказывавшееся мнение, будто материки Луны сложены из гранита, находится в противоречии с данными об альbedo, поскольку среднее значение альbedo гранита составляет около 0,2. Если считать, что Луна покрыта такими видами горных пород, какие встречаются и на Земле, то искать эти горные породы надо только среди самых темных и даже черных образцов камней.

### § 19. Фотометрия отдельных участков на Луне

Получение сферического альbedo — это только первый шаг в деле изучения поверхности Луны по ее отражательной способности. Лунная поверхность разнообразна: на ней есть горы и долины, светлые материки и темные

моря, блестящие венцы лучей и черноватое дно цирков. Каждая деталь лунной поверхности имеет свою отражательную способность, в какой-то степени выражающую состав того материала, который ее устилает. Для того чтобы использовать все это разнообразие расцветки в деле изучения природы лунной поверхности и ее эволюции, надо перейти от измерения общей освещенности, получаемой от лунного диска в целом, к измерению яркости отдельных деталей лунной поверхности. Проведенные на протяжении целой лунации, такие измерения дадут ход яркости того или иного участка Луны в зависимости от фазы.

Простейший способ фотометрии лунных объектов состоит в оценке их яркости на глаз, без всяких приборов. Для этого на Луне было выбрано 10 объектов последовательно возрастающей яркости. Их подбирали так, чтобы последующий объект отличался по яркости от предыдущего на столько же, на сколько яркость предыдущего отличается от яркости его предшественника. Таким образом, эти 10 объектов составляют равномерную шкалу яркости, с примерно равными интервалами. Это вполне аналогично тому, что сделали основатели звездной фотометрии, когда устанавливали шкалу звездных величин. Как известно, звезды тоже разделили по видимой яркости или блеску на шесть равных интервалов или ступеней, в которых и выражали свет всех звезд неба, видимых невооруженным глазом. Яркость любого лунного объекта тоже может быть легко оценена на глаз путем сравнения с 10-ю объектами, составляющими шкалу.

Для того чтобы выполнять настоящие измерения яркости лунных деталей, нужно применить специальный прибор, называемый *поверхностным астрофотометром*. Его схема изображена на рис. 43, на котором буквой *О* обозначен объектив телескопа, *Т* — труба телескопа, *У* — окуляр. Между окуляром и объективом располагается коробка *А*, в которой установлен так называемый фотометрический кубик *Б*, составленный из двух отдельных прямоугольных призм, склеенных своими гипотенузными плоскостями. Для склейки применяется канадский бальзам — вещество с таким же показателем преломления, как и стекло. Поэтому на плоскости склейки не происходит ни отражения, ни преломления лучей, и составной кубик в оптическом отношении вполне подобен кубику,

выточенному из целого куска стекла. Небольшой участок косою плоскости одной из призм покрыт слоем серебра в виде маленького квадратика или кружка. Очевидно, что в этом месте прямые лучи пройти сквозь кубик не могут, а лучи, поступающие на кубик сбоку, отражаются под прямым углом. Получается как бы маленькое зеркало *З*, заключенное внутри стеклянного кубика и наклоненное под углом  $45^\circ$  к граням куба.

Сбоку к коробке *А* приделана дополнительная труба *Т<sub>1</sub>*, на конце которой помещена электрическая лампа *Л*.

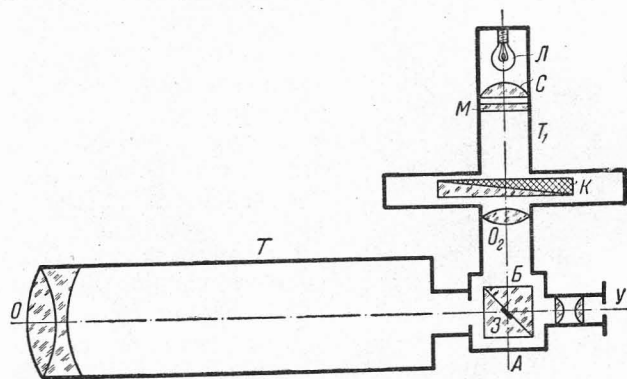


Рис. 43. Схема поверхностного астрофотометра.

Эта лампа при помощи небольшого конденсора *С* равномерно освещает матовое стекло *М*. Небольшой объектив *О<sub>2</sub>* проектирует изображение стекла *М* на центр куба *Б*. Когда наблюдатель наведет телескоп на Луну и посмотрит через окуляр *У*, то сквозь стекло кубика он увидит изображение лунного диска, а на его фоне квадратик (или кружок) зеркальца *З*, в котором отражается ярко освещенное стекло *М*. На пути лучей от стекла к кубу помещается какое-нибудь оптическое приспособление, при помощи которого можно ослаблять интенсивность луча в желаемой и притом в точно известной степени. На рис. 43 в качестве такого приспособления изображен так называемый фотометрический клин *К*. Он представляет собой призму с очень острым углом при вершине, сделанную из серого стекла. Чем дальше вдвинута такая призма, тем толще слой серого стекла на пути лучей и тем меньше яркость зеркальца *З*, видимого в окуляр.



Наблюдение с фотометром такого типа состоит в том, что телескоп наводят так, чтобы зеркальце  $Z$  приходилось на фоне интересующего нас объекта, например кратера, участка моря, светлого луча. После этого перемещают клин  $K$  до тех пор, пока яркость зеркальца не сравняется с яркостью наблюдаемой детали. Если цвет лучей лампы точно подогнан под цвет Луны (для этого приходится по-

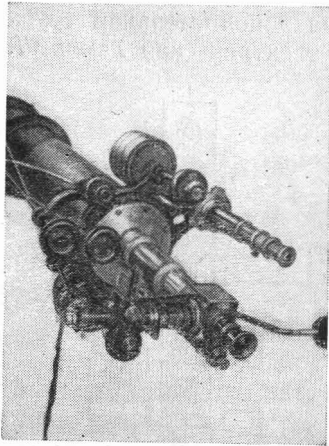


Рис. 44. Внешний вид астро-фотометра.

мещать перед лампой голубой светофильтр — кусочек голубого стекла или пленки), то квадратик полностью исчезает на фоне наблюдаемого объекта, сливаясь с ним. Наблюдатель записывает положение клина по имеющейся на нем шкале. Затем наводят телескоп на другую деталь лунной поверхности и снова перемещают клин до получения равенства яркостей. Если новая деталь светлее прежней, то клин нужно вдвинуть меньше, а если темнее, то больше. Зная величину ослабления для каждой точки клина, из таких наблюдений можно найти, во сколько раз яркость одной детали отличается от яркости другой. Более того, поддерживая силу света лампы  $L$  постоянной (для чего в питающую ее цепь включается амперметр или вольтметр, а также реостат), можно сравнить яркость какой-нибудь детали сегодня с тем, что будет завтра, послезавтра и вообще в течение ряда дней и, следовательно, построить кривую, выражающую ход яркости с фазой.

Внешний вид фотометра, укрепленного на окулярном конце телескопа, представлен на рис. 44.

Другой способ изучения яркостей на Луне — фотографический. Для этого получают снимок Луны возможно большего масштаба. Как известно, на фотографическом негативе участки изображения получаются тем чернее, чем ярче был заснятый объект. Этой зависимостью между почернением и яркостью и можно воспользоваться для изучения распределения яркости по лунному диску. Для этого

необходимо, чтобы на том же негативе была получена *фотометрическая шкала*, т. е. ряд кружочков или квадратов разной черноты, соответствующей освещению светом точно известной яркости, как это изображено на рис. 45. Яркость различных участков на Луне получается путем сравнения с почернениями шкалы. Для измерения почернений употребляется особый прибор — микрофотометр.

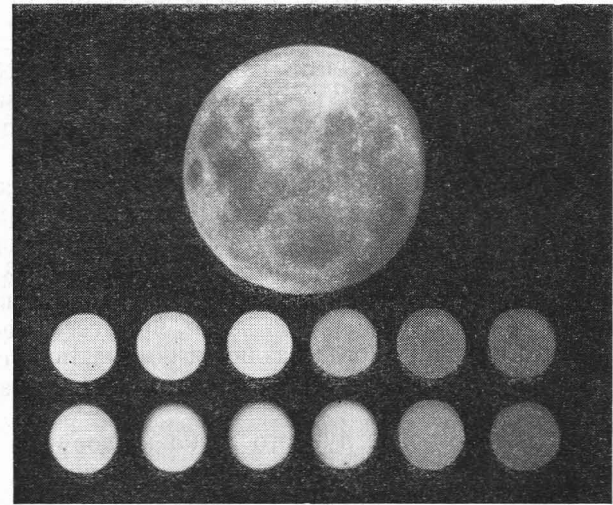


Рис. 45. Фотометрический снимок Луны.

Третий метод измерения яркости на Луне — фотоэлектрический. В этом случае к окулярному концу телескопа прикрепляется камера, в которой располагается фотоэлемент. Свет от небольшого участка лунного диска, ограниченного специальной диафрагмой, направляется в фотоэлемент; в цепи последнего возникает электрический ток, сила которого пропорциональна яркости изучаемого участка. Такой способ измерения яркости дает наибольшую точность, но требует применения довольно сложной аппаратуры.

В некоторых случаях при наблюдении деталей лунной поверхности применяется спектрофотометрический метод, что позволяет получить яркость этих деталей в монохроматических лучах. Прибор, который служит для таких

наблюдений, представляет собой телескоп с укрепленным на окулярном конце спектрографом. На щель спектрографа направляют изображение изучаемой детали лунного диска и получают снимок ее спектра. Измеряя почернение на снимке спектра — спектрограмме — при помощи микрофотометра, получают яркость детали для каждой точки спектра.

## § 20. Отражение света от лунной поверхности и его особенности

Первое, что можно получить из самых простых фотометрических наблюдений, — это распределение яркости по диску полной Луны. Оказывается, материки в среднем в 1,8 раза ярче, чем моря, в то время как яркость так называемых «болот» выше яркости морей только в 1,4 раза. Самое светлое на Луне место — дно кратера Аристарх — превосходит яркость наиболее темных участков в морях в 3,5 раза. Из этого следует, что градация яркостей на Луне сравнительно невелика, поскольку яркости окружающих нас обычных предметов даже при совершенно равномерном освещении, когда различия получаются только от неодинаковой отражательной способности, различаются в 10 раз и больше.

Уже простое обозрение лунного диска невооруженным глазом обнаруживает одну удивительную особенность, состоящую в том, что материки в центре диска и на краю имеют одинаковую яркость. Поскольку Луна — шар, который в день полнолуния мы рассматриваем со стороны Солнца, солнечные лучи в центральных частях диска падают на лунную поверхность отвесно; с удалением от центра угол падения  $i$  лучей будет возрастать, а на самом краю диска он будет близок к  $90^\circ$ , так что пучок солнечных лучей скользит почти касательно к лунной поверхности. Из оптики известно, что освещенность  $E$ , создаваемая пучком параллельных лучей, пропорциональна косинусу угла падения этих лучей:

$$E = E_0 \cos i; \quad (18)$$

здесь  $E_0$  — та освещенность, которая создается при отвесном падении лучей. Соответственно этому закону освещенность лунной поверхности в полнолуние должна снижаться от центральных частей диска ( $i=0$ ;  $\cos i=1$ ) к краевым ( $i=90^\circ$ ;  $\cos i=0$ ). При таких условиях освеще-

ния на гладком матовом шаре мы видели бы явление «потемнения к краю»: чем дальше от центра, тем темнее была бы соответствующая зона диска. Всякий, кто занимался рисованием, знает, что для того чтобы передать на рисунке выпуклую форму гипсового шара, надо оттенить на рисунке темной краской его края. Но на Луне этого потемнения нет, и потому Луна кажется не выпуклым шаром, а плоским кругом — замечательная особенность, на которую обратил внимание уже Галилей. Галилей же дал и объяснение этому явлению. Дело здесь в том, что поверхность Луны отнюдь не гладкая. Она повсюду, в том числе и на равнинах, сплошь усеяна бесчисленными неровностями, которые нам не видны за дальностью расстояния. На любом участке лунной поверхности склоны этих неровностей наклонены к поверхности шара под всевозможными углами. Когда мы смотрим на Луну в полнолуние, то в любом месте ее диска оказывается множество участков поверхности, которые будут перпендикулярны к направлению солнечных лучей и к линии зрения наблюдателя, а потому будут иметь большую яркость. Своей совокупностью они и создают высокую яркость краевых зон лунного диска. В то же время в центральных частях лунного диска множество склонов неровностей будет располагаться к солнечным лучам косо, и потому освещенность там в среднем будет гораздо меньше, чем  $E_0$ . Таким образом, большая изрытость лунной поверхности ведет к тому, что яркость в центре снижается, на краях повышается и в итоге всюду оказывается одинаковой. Подробный математический разбор этого вопроса был дан уже в классическом трактате французского ученого Бугера в XVIII в.

Детальные фотометрические измерения на лунном диске были впоследствии проведены Н. П. Барабашевым в Харькове, а потом А. В. Марковым в Ленинграде и в Пулковке. Оказалось, что действительно никакого изменения яркости вдоль радиуса лунного диска нет. Это привело указанных авторов к следующему важному выводу: в условиях полнолуния, когда направление отраженного на Землю луча практически совпадает с направлением освещающих солнечных лучей, яркость любой детали лунной поверхности от угла падения лучей не зависит и определяется только отражательной способностью вещества в данном месте.

Таблица 5

Объект	φ	λ	ρ (в процентах)				Δ
			Визу- альн.	Фотографич.			
				син.	зел.	ин- фра- красн.	
Море Влажности . . .	-23°	38°В	5,9	5,0	5,3	7,3	0,26
» Облаков . . .	-23	14 В	6,2	6,0	6,3	10,3	0,27
» Спокойствия . . .	+9	29 З	6,6	5,8	6,4	10,2	0,29
» Дождей . . .	+31	17 В	6,4	5,6	5,6	10,0	0,18
» Спокойствия . . .	+10	45 З	6,6	5,9	6,7	11,7	0,34
Океан Бурь . . .	-3	47 В	6,8	4,1	6,0	7,9	0,10
Море Изобилия . . .	-7	50 З	6,9	6,1	7,3	11,8	0,30
» Ясности . . .	+24	23 З	6,9	6,2	7,0	9,8	0,30
» . . .	+28	15 З	7,0	6,3	7,0	10,8	0,29
» Дождей . . .	+47	20 В	7,1	6,2	6,6	10,7	0,32
Океан Бурь . . .	-9	24 В	7,1	6,6	6,8	9,8	0,25
» . . .	-11	32 В	7,2	5,9	6,6	9,0	0,24
Море Нектара . . .	-15	33 З	8,0	9,8	8,4	15,1	0,27
» Дождей . . .	+26	0	7,4	7,1	7,8	13,5	0,29
» Нектара . . .	-7	26 З	8,9	9,0	9,6	16,8	0,28
» Холода . . .	+47	16 З	9,2	8,8	10,0	14,9	0,34
Озеро Сновидений . . .	+36	35 З	8,0	7,3	8,4	13,4	0,35
Срединный залив . . .	+7	8 В	5,4	5,7	5,3	7,8	0,15
Залив Росы . . .	+42	52 В	6,5	6,2	6,3	9,2	0,26
Срединный залив . . .	+4	5 В	6,7	6,6	6,5	10,2	0,18
Залив Радуги . . .	+45	32 В	6,8	5,3	6,4	9,2	0,32
» Росы . . .	+52	51 В	7,0	6,7	7,2	11,0	0,23
Срединный залив . . .	+1	2 В	7,6	7,1	7,2	11,8	0,21
Пролив . . .	-2	27 В	7,0	7,4	7,7	13,1	0,24
» . . .	+29	6 З	6,7	6,8	7,8	12,6	0,34
» . . .	+25	5 В	9,2	8,0	8,3	14,5	0,23
Болото Гнилое . . .	+13	43 З	9,5	9,4	11,0	18,4	0,34
» Сонное . . .	-6	14 В	7,3	8,0	6,8	10,8	0,22
Материк . . .	+9	13 З	9,1	7,3	7,8	12,2	0,42
» . . .	+42	43 В	9,6	8,4	9,0	13,8	0,30
» . . .	0	70 З	10,0	9,8	10,7	20,3	0,35
» . . .	+54	10 В	10,3	8,9	9,9	15,6	0,29
» . . .	-4	35 З	10,4	9,5	10,7	18,1	0,30
» . . .	-3	8 В	11,2	10,0	10,2	16,1	0,23
» . . .	-11	12 З	12,5	11,5	11,1	20,3	0,28
» . . .	-25	35 З	11,2	10,7	12,1	21,0	0,33
» . . .	+38	43 З	11,2	9,0	11,2	17,9	0,45
» . . .	-3	22 З	11,8	11,9	13,5	22,3	0,34
» . . .	+17	46 З	12,3	11,8	12,3	23,6	0,46
Платон . . .	+51	10 В	6,8	5,9	6,4	10,0	0,29
Шиккард . . .	-42	56 В	7,8	6,1	6,9	17,0	0,32
Архимед . . .	+29	4 В	8,8	7,5	7,9	12,3	0,26

Продолжение табл. 5

Объект	φ	λ	ρ (в процентах)				Δ
			Визу- альн.	Фотографич.			
				син.	зел.	ин- фра- красн.	
Шиккард . . . . .	-44°	53°В	9,9	7,4	9,6	13,9	0,48
Лучи Кеплера . . . . .	+7	38 В	10,0	9,1	9,1	13,8	0,20
Птолемей . . . . .	-9	3 В	10,8	9,1	9,4	15,7	0,24
Аристотель . . . . .	+50	17 З	11,0	10,6	11,4	17,7	0,31
Манилий . . . . .	+14	9 З	12,2	11,0	11,6	19,2	0,25
Альбатегний . . . . .	-12	4 З	11,2	11,0	12,1	19,5	0,31
Коперник . . . . .	+10	20 В	12,0	11,2	11,5	18,5	0,23
Лучи Коперника . . . . .	+13	20 В	10,6	9,1	9,1	15,3	0,20
Лангрен . . . . .	-9	61 З	14,4	13,5	16,3	24,6	0,42
Тихо (дно) . . . . .	-43	12 В	15,4	14,1	15,4	26,4	0,33
Тихо (вал) . . . . .	-43	12 В	13,7	10,1	13,7	17,0	0,42
Луч Тихо . . . . .	-23	25 З	16,3	18,0	21,6	32,2	0,40
» Тихо . . . . .	-32	19 В	13,7	11,6	13,2	16,5	0,38
Аристарх . . . . .	+23	47 В	17,6	17,7	18,5	22,8	0,20

Это положение позволяет очень удобно сравнивать отражательную способность различных образований на Луне. Вообразим себе экран абсолютно белой окраски. Такой экран должен полностью рассеивать все падающие на него лучи ( $A=1$ ) и иметь одинаковую яркость во всех направлениях. Пусть такой экран располагается в пространстве рядом с Луной, перпендикулярно к солнечным лучам. Его яркость при таком освещении обозначим через  $B_0$ , а яркость изучаемого участка на Луне — через  $B$ . Тогда отражательная способность участка может быть выражена величиной:

$$\rho = \frac{B}{B_0}, \quad (19)$$

которую мы в дальнейшем будем называть *светлотой* \*).

\*) Вообще в фотометрии светлотой, или коэффициентом яркости называется отношение яркости матовой поверхности к яркости абсолютно белого экрана, находящегося в тех же условиях освещения, т. е. наклоненного к падающим лучам под тем же углом. Для шарообразной поверхности Луны последнее условие не будет выполнено, но в силу тех особенностей отражения света лунной поверхностью, которые были объяснены выше, это не имеет значения.

Для получения величины светлоты из фотометрических наблюдений сравнивают яркость различных точек лунной поверхности с белым экраном, расположенным на Земле на достаточно большом расстоянии от телескопа и освещенным солнечными лучами. Поскольку расстояние до Солнца от Земли и от Луны можно считать одинаковым, в результате сравнения нужно внести только поправки за разницу в ослаблении лунных и солнечных лучей при их прохождении через земную атмосферу. Техника необходимых измерений и расчетов была подробно разработана В. В. Шароновым и его сотрудниками на астрономической обсерватории Ленинградского университета. В табл. 5 мы приводим значения светлоты как в общем визуальном свете, так и для отдельных участков спектра для 56 лунных объектов. Подсчитывая средние данные по отдельным типам образований, мы находим числа, приведенные в табл. 6, помещенной ниже.

Таблица 6

Тип объекта	Средн. $\rho$ , %	Пределы $\rho$	Средн. $\Delta$	Пределы $\Delta$
<b>Лунные объекты</b>				
Моря . . . . .	6,5	5,1—8,0	0,25	0,10—0,36
Болота . . . . .	9,1	8,9—9,5	0,25	0,23—0,28
Материки . . . . .	10,5	7,6—12,5	0,32	0,12—0,46
Кратеры . . . . .	11,2	6,9—17,6	0,31	0,20—0,48
Светлые лучи . . . . .	13,1	10,0—16,3	0,33	0,20—0,48
Луна в среднем . . . . .	9,8	5,1—17,6	0,28	0,10—0,48
<b>Земные горные породы</b>				
Известняк, мергель, доломит . . . . .	32,5	5,5—79,6	0,38	-0,13—+1,52
Песчаник . . . . .	22,2	5,8—54,4	0,66	+0,03—+1,52
Глины и сланцы . . . . .	25,1	11,7—50,2	0,33	-0,24—+1,52
Гнейс, слюдястые сланцы . . . . .	28,1	8,3—77,7	0,39	-0,09—+1,23
Гранит и другие кислые породы . . . . .	24,4	4,4—69,6	0,26	-0,25—+0,99
Базальт и другие основные породы . . . . .	13,9	6,4—27,6	-0,02	-0,31—+0,25
Метеориты каменные . . . . .	18,3	4,5—48,2	0,10	-0,16—+0,36
Кора плавления метеоритов . . . . .	5,2	2,2—17,2	0,11	-0,10—+0,38

До сих пор мы говорили о результатах измерений, выполненных при полнолунии. Вторую задачу составляет изучение изменения яркости различных деталей на Луне с фазой. Для этого надо измерять яркости деталей и выражать их в виде светлоты  $\rho$  изо дня в день. Н. П. Барабашев и А. В. Марков проделали длинные серии таких

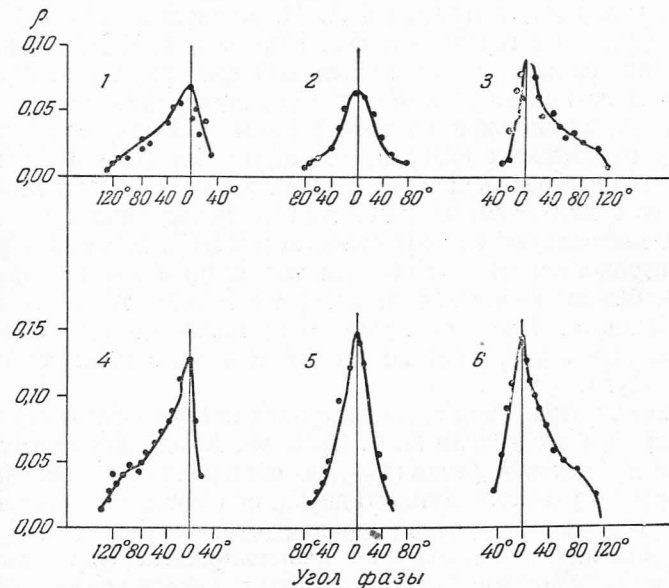


Рис. 46. Изменение светлоты с углом фазы для различных деталей диска Луны: 1—Океан Бурь; 2—Залив Зноя; 3—пролив между морями Спокойствия и Нектара; 4 — участок материка между Гримальди и Риччиоли; 5 — светлый луч Тихо; 6 — участок материка к югу от Моря Нектара.

наблюдений и нашли еще одну фотометрическую особенность лунной поверхности. Она состоит в том, что яркость любой детали лунного диска достигает максимума в один и тот же день, а именно в полнолуние. Для иллюстрации на рис. 46 приводятся кривые изменения светлоты  $\rho$  в зависимости от угла фазы  $\phi$ . Мы взяли объекты, расположенные в разных частях диска: в центре, на восточном и западном краях, на севере и юге; вид кривой для них различен, но максимум по времени совпадает, хотя условия освещения совершенно различны. Эта особенность

также является следствием чрезвычайной изрытости, вскопанности, ноздреватости лунной поверхности.

Большой интерес представляет сопоставление отражательной способности различных участков лунной поверхности с результатами лабораторных измерений образцов земных горных пород. В табл. 6 приводится соответствующий материал, полученный А. П. Борисовой. Мы видим, что осадочные горные породы, например, известняки, песчаники, сланцы, по отражательной способности на Луну совсем не похожи, поскольку они, во-первых, в среднем отличаются высокой светлотой (всеми известны беловатые тона известковых скал) и, во-вторых, их значения  $\rho$  гораздо более разнообразны. То же получается и для изверженных или магматических горных пород типа гранита, т. е. кислых, богатых кремнекислотой  $\text{SiO}_2$ . Ближе к Луне по отражательной способности так называемые основные, т. е. бедные кремнекислотой горные породы типа диабазы и базальта. Все они характерны примерно одинаковой темно-серой окраской, но все же и они не столь темны, как Луна.

Закон отражения света от лунной поверхности наиболее полно был исследован Н. С. Орловой. Комбинируя результаты наблюдений различных, но обладающих одинаковым покровом участков лунного диска, она построила диаграммы, выражающие распределение отраженного света по направлениям, называемые *индикатрисами отражения*. На такой диаграмме вдоль каждого направления откладывается отрезок, по длине пропорциональный величине  $\rho$ , и концы всех отрезков соединяются плавной поверхностью. Очевидно, что полученная фигура будет вытянута в ту сторону, куда отражается наибольшее количество света. В случае Луны в силу сказанного выше индикатриса должна при всех условиях быть вытянута в сторону Солнца. Сечения индикатрис для поверхности материков, соответствующие углам  $i$  падения солнечных лучей  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  и  $60^\circ$ , даны на рис. 47. Мы видим, что диаграмма имеет грушевидную форму и своим острием действительно направлена в сторону Солнца.

Интересно, что для морей получены точно такие же диаграммы. Это означает, что характер изрытости всех частей лунной поверхности — и материков и морей — совершенно одинаков. Этот удивительный факт имеет очень большое значение для суждений о природе вещества, покрывающего

Луну снаружи. Н. С. Орлова исследовала также большое количество земных образований — образцов горных пород, песков, почв и целых участков ландшафта. Оказалось, что ни один из исследованных объектов не дает столь вытянутой в сторону Солнца индикатрисы, какая была получена

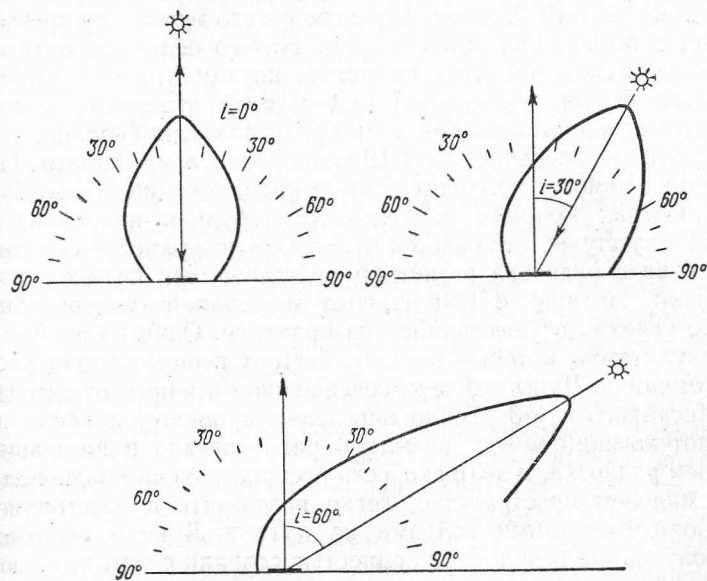


Рис. 47. Индикатрисы отражения для лунных материков (по данным Н. С. Орловой).

для Луны. Это означает, что у последней поверхность изрыта и иссечена значительно сильнее. По форме индикатрисы более других похожи на лунную поверхность так называемые вулканические шлаки — сильно пузыристые, ноздреватые образования, представляющие собою каменную пену, образующуюся и застывающую на поверхности потоков лавы, выделяемых земными вулканами. Это дает повод предполагать, что наружный покров лунной поверхности имеет шлакообразное строение, однако с еще более сильной изрытостью.

Но тут возникает один серьезный вопрос: каковы размеры тех отдельных неровностей, которые придают лунной поверхности ее исключительную изрытость? Если это — выбоины и возвышения поперечником в миллиметры или

сантиметры, то они не помешают ни посадке межпланетного корабля на Луну, ни передвижению по ее поверхности. Но если это нагромождения глыб и утесов, имеющих поперечники в несколько метров, то они могут представить собой серьезные препятствия.

В телескоп мелкий рельеф лунной поверхности не виден, из чего следует, что размеры его деталей не превосходят нескольких сотен метров. Ничего большего оптические наблюдения дать не могут, потому что при одинаковой форме неровностей индикатриса отражения получится одной и той же при любых размерах этих неровностей, будь они поперечником в 10 метров или в миллиметр. Но тут на помощь приходят данные радиолокации Луны.

Сигнал мощного радиолокатора, будучи направлен в сторону Луны, отражается от лунной поверхности обратно и в виде радиоэха регистрируется приемной частью установки. Начиная с 1946 г., этот эксперимент многократно и с успехом осуществлялся на практике. Один из научных результатов, которые он дает, состоит в определении расстояния до Луны методом, совершенно отличным от метода, описанного в § 3. Точно определяя промежуток времени, протекающий между посылкой радиосигнала и возвращением радиоэха, и зная скорость распространения радиоволн в мировом пространстве, легко подсчитать и расстояние, проходимое этими волнами на пути к Луне и обратно. Полученные результаты полностью совпали с тем, что дают чисто астрономические методы определения расстояния Луны.

Нас здесь, однако, интересует другое. Работа с радиолокатором позволяет изучить характер отражения радиоволн от лунной поверхности. Так, коэффициент отражения для метровых волн получается равным 0,1, что не очень сильно отличается от величины, найденной для оптических лучей. Но совершенно неожиданным оказалось то, что Луна отражает радиоволны не как шероховатая поверхность, а как гладкий зеркальный шар, т. е. наиболее интенсивное отражение характерно для центральных частей лунного диска. Так и бывает в случае наблюдения зеркального шара со стороны источника света: по середине виден яркий светлый блик, а края шара выглядят темными.

Тот факт, что поверхность Луны, будучи шероховатой и иссеченной для световых лучей, в то же время является гладкой и зеркальной для радиоволн, дает возможность

оценить размеры неровностей. Они должны быть больше длины световых волн, но меньше длины радиоволн. Значит, поперечники этих неровностей не больше дециметра. Наиболее же вероятно, что они заключены в пределах от долей миллиметра до нескольких сантиметров, т. е. имеют размеры, наблюдающиеся у ноздревато-губчатых горных пород типа вулканического шлака.

## § 21. Окраска лунных пейзажей

Кому доводилось рассматривать лунный диск в телескоп, тот, конечно, заметил его характерную особенность — одноцветность. В отличие от земных ландшафтов, радующих взор то изумрудной зеленью лугов или лесов, то золотисто-желтыми тонами зрелых посевов и песков, то красными оттенками глин, то белизной снегов, все детали на Луне кажутся окрашенными в один и тот же однообразный коричневато-сероватый цвет. Если различия яркости на лунном диске резко заметны и сразу бросаются в глаза, то разница в цвете на первый взгляд незаметна. Только после длительного и тщательного изучения взгляд опытного наблюдателя начинает обнаруживать на лунном диске кое-какие очень незначительные цветовые градации. Одни участки морей и материков оказываются чуть-чуть рыжеватыми, другие — зеленоватыми, третьи — серыми. Многие наблюдатели тратили много времени и сил на описание и изучение этих тонких и мало заметных цветовых различий. В некоторых случаях они оказывались нереальными, поскольку замеченные сегодня, завтра они становились неразличимыми, или же ясно выдимые в один телескоп, они исчезали в другом. Однако в большинстве случаев цветовые особенности отдельных лунных образований несомненно реальны и определяются действительными различиями природы покрова лунной поверхности.

Если простое визуальное наблюдение обнаруживает цветовые различия на Луне лишь с большим трудом, то тем самым ставится задача использовать для этой цели те или иные инструментальные средства. Тот факт, что зрение почти не различает разности цвета, доказывает, что спектральный состав лучей, отражаемых от разных мест Луны, различается очень немного. Для того чтобы сделать такие различия более заметными, надо сравнивать изобра-

жения Луны, образованные лучами далеко отстоящих участков спектра, например ультрафиолетового и инфракрасного.

В 1910 г. американский физик Вуд сфотографировал Луну через разные светофильтры на пластинках различной спектральной чувствительности. Наиболее интересными оказались снимки в ультрафиолетовых лучах. На таких снимках некоторые участки на Луне, для глаза почти не отличающиеся от окрестностей, получились очень темными. Особенно интересно темное пятно к востоку от кратера Аристарха. Очевидно, что в этих местах лунная поверхность покрыта каким-то веществом, которое лучи видимой части спектра отражает так же, как и окрестные области, а лучи ультрафиолетовые отражает слабо.

Наглядную картину распределения цвета по лунному диску дают двухцветные изображения. На таком изображении ультрафиолетовые и инфракрасные лучи условно представляются какими-нибудь видимыми цветами, например зеленым и оранжевым. Два таких изображения, соединенных посредством цветной печати в одно, дают картину Луны, на которой места с сильным отражением ультрафиолетовых лучей выглядят зеленоватыми, области с повышенным отражением инфракрасных лучей — оранжевыми, в то время как нормально окрашенная часть поверхности оказывается желтоватой.

Новые возможности для изучения цветных контрастов лунного диска открылись с широким внедрением цветной фотографии. В трудном деле ее применения к Луне и другим небесным светилам больших успехов достиг Н. П. Барабашев в Харькове. Ценность цветной фотографии тут состоит в том, что она позволяет значительно усилить цветовые контрасты и этим сделать заметными те ничтожные различия в цвете, которые при обычном наблюдении в телескоп ускользают. Один из снимков Н. П. Барабашева приведен на рис. 48. Мы обращаем внимание читателей на полученную на этом снимке расцветку Моря Ясности: центральная часть этого моря вышла оранжевой, края — зелеными. Посмотрев на это море в ясный вечер в телескоп, можно действительно заметить, что средняя часть поверхности этого моря чуть-чуть краснее его окраины, однако различие лежит на пределе восприятия и замечается с большим трудом.

Все перечисленные данные носят только качественный характер. Для сопоставления с земными ландшафтами и образцами горных пород необходимо выразить различие в



Рис. 48. Цветная фотография Луны, полученная Н. П. Барабашевым



цвете количественно. Для этой цели проще всего воспользоваться показателями цвета, или колориндексами. Показателем цвета  $C$  называется разность между звездной величиной  $m_{\phi}$  объекта, полученной в нормальном фотографическом участке спектра (эффективная длина волны  $\lambda=420$  м $\mu$ ), и звездной величиной  $m_{\nu}$ , соответствующей визуальному, т. е. воспринимаемому зрением человека спектральному интервалу (эффективная длина волны  $\lambda=560$  м $\mu$ ):

$$C = m_{\phi} - m_{\nu}. \quad (20)$$

По отношению к звездам применяется такая система показателей цвета, в которой за нуль принят показатель цвета белых звезд (класса A0). Для Луны и планет удобнее отнести систему показателей цвета к другому нульпункту. Проще всего принять за нуль средний показатель цвета для Луны в целом. Тогда деталь, цвет которой отличается от среднего в желтую или красную сторону, будет иметь положительные значения  $C$ , а детали синеватого оттенка — отрицательные значения.

Другая система показателей цвета исходит из того, что свет Луны и планет представляет собою отражение солнечных лучей. Поэтому абсолютные исследования цвета таких светил должны состоять в сопоставлении их окраски с окраской солнечного света. Практически это означает, что за нуль надо принять показатель цвета Солнца  $C_c$  и характеризовать цвет каждой детали на Луне разностью:

$$\Delta = C - C_c. \quad (21)$$

В этом случае мы для всех деталей лунной поверхности получим положительные значения  $\Delta$ , потому что Луна везде красновата и участков с синеватой или хотя бы чисто-серой окраской на ней нет.

Для определения показателей цвета деталей на Луне измеряют яркости этих деталей два раза, сначала в фотографической системе (что дает  $m_{\phi}$ ), а потом в визуальной (это дает  $m_{\nu}$ ), после чего делают расчет по формуле (20). Это не значит, что яркости деталей наблюдают сначала на фотографии, а потом визуальным фотометром. Напротив, чаще всего измерения оба раза ведутся одинаковым способом, например и в тех и других лучах на фотографических снимках, полученных с таким подбором пластинок и светофильтров, чтобы в одном случае для съемки использовались синие и фиолетовые лучи, а в другом — желтые и зеленые.

Определениями показателя цвета для Луны занимались многие ученые, в том числе Н. П. Барабашев в Харькове, применявший фотографическую фотометрию, и А. В. Марков, производивший в Абастумани фотоэлектрические определения. Особенно большой материал получен Л. Н. Радловой в Ташкенте, которая наряду с фотографической

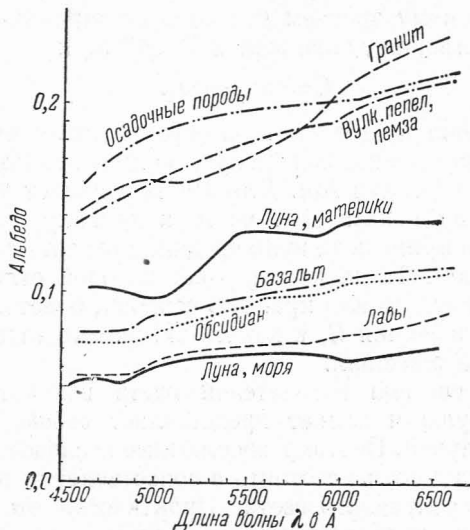


Рис. 49. Ход отражательной способности Луны по спектру.

фотометрией использовала метод визуальных измерений окраски с помощью фотометра-цветомера (колориметра). Хотя полного согласия в результатах и нет (харьковские измерения дают гораздо большее различие в цвете, чем ташкентские), все же можно утверждать, что данные инструментальных определений подтверждают малые различия в цвете деталей лунного диска. В табл. 5 (стр. 130) мы приводим каталог определений цвета для некоторых объектов по измерениям Л. Н. Радловой.

Наиболее ценные результаты по вопросу о цветности лунных образований может дать спектрофотометрия, методами которой можно получить кривую изменения отражательной способности с длиной волны  $\lambda$ . К сожалению, спектрофотометрические измерения Луны немногочисленны. На рис. 49 приведены кривые спектральной отражатель-

ной способности для материков и морей по старым наблюдениям, выполненным на Потсдамской астрофизической обсерватории еще в 1909 г.

Цвет лунных объектов, конечно, тоже надо сопоставить с цветом земных горных пород. Средние данные для последних, полученные Н. А. Будниковой, приводятся в табл. 6 (стр. 132). Мы видим, что и тут обнаруживается своеобразие лунной поверхности: в то время как земные породы по окраске чрезвычайно разнообразны, Луна характеризуется тем однообразием цвета, о котором мы говорили выше.

## § 22. Поляризация лунного света

Когда пучок лучей отражается от твердого тела, то часто возникает явление, которое называется *поляризацией*. Напомним, в чем оно состоит.

Как известно, свет представляет собой электромагнитные волны. Световые волны, как и всякие волны, можно охарактеризовать тремя свойствами: длиной волны, т. е. расстояниями между двумя максимумами (гребнями), чем определяется цвет данных лучей, размахом или амплитудой, что определяет интенсивность или яркость света, и степенью поляризации.

Дело в том, что при распространении электромагнитных волн колебания являются поперечными, т. е. происходят перпендикулярно к направлению распространения волны, которое совпадает с направлением светового луча. Аналогичный характер несут, например, волны, распространяющиеся по воде от брошенного камня: волна движется вдоль поверхности воды горизонтально, а плавающие предметы, мимо которых она проходит, поднимаются вверх и опускаются вниз, т. е. колеблются в перпендикулярном к движению волн направлении. Однако различие тут в следующем. В случае волны на воде колебания происходят только вверх и вниз, т. е. в одном направлении — вертикальном. Иначе обстоит дело для световых волн: тут колебания, будучи тоже перпендикулярны к лучу, происходят во всех направлениях, в любых плоскостях, проходящих через луч. В большинстве случаев направление колебаний распределяется хаотически: в любой из плоскостей колебания происходят одинаково часто, так что ни одно из направлений не имеет преимущества перед другими. Если это так, то свет

называют *естественным* или *неполяризованным*. Однако бывают случаи, когда колебания происходят преимущественно или даже исключительно в какой-нибудь одной плоскости (как это было в примере с волнами на воде). Свет, обладающий таким свойством, называют *поляризованным*, а само явление, состоящее в том, что беспорядочные колебания в разных плоскостях заменяются упорядоченным колебанием в какой-нибудь одной плоскости, носит название *поляризации*.

Существуют специальные оптические приспособления, превращающие естественный пучок лучей в поляризованный. Поляризация возникает, в частности, при отражении лучей от гладкой поверхности (но не поверхности металла). Только в этом случае поляризация, как правило, бывает неполной. Это значит, что в одном определенном направлении колебания происходят чаще, чем в во всех других. Частично поляризованный пучок лучей можно рассматривать как смесь двух пучков, из которых один состоит из естественного света, а другой — из полностью поляризованного. Пусть интенсивность естественного пучка будет  $I_e$ , а интенсивность поляризованного —  $I_n$ . Тогда степень поляризации данного пучка лучей можно выразить отношением

$$p = \frac{I_n}{I_e + I_n} \quad (22)$$

Таким образом, величина  $p$  показывает, какую долю всех лучей составляют все лучи поляризованные; ее выражают чаще всего в процентах.

Кроме величины  $p$ , характер поляризации данного пучка лучей определяется еще положением той плоскости, в которой происходят колебания поляризованных лучей. Эта плоскость называется плоскостью поляризации.

Отличить поляризованный свет от естественного по виду нельзя: наш глаз на явление поляризации никак не реагирует. Чтобы обнаружить наличие поляризации, надо применять специальный прибор, называемый *полярископом*. Когда сквозь такой прибор смотрят на объект, лучи которого совсем не поляризованы, то объект имеет такой же вид, как и при наблюдении без полярископа. При наличии самой малой примеси поляризованного света на фоне объекта появляются темные и светлые полосы, которые видны тем резче, чем больше поляризация. Пользуясь таким прибором, легко убедиться, что поляризация — явление весьма

распространенное. Например, свет ясного голубого неба сильно поляризован. Частично поляризованными являются и лучи, отражаемые большей частью окружающих предметов, — стеклом, фарфором, водой, глянцевитой бумагой, полированным деревом, почти всеми камнями. Поляризации почти не получается при отражении от блестящей поверхности металла и при рассеянии лучей совершенно матовыми, т. е. лишенными всяких следов глянца, материалами. В частности, неполяризованным оказывается свет, отражаемый облаками и туманами.

Поскольку поверхность Луны должна состоять из каких-то твердых горных пород, можно ожидать, что отражаемые Луной лучи будут частично поляризованы. Наблюдения при помощи полярископа это предположение полностью подтверждают. Количественные определения поляризации лунного света выполнялись Н. П. Барабашевым в Харькове, В. П. Джапиашвили на Абастуманской обсерватории, А. В. Марковым в Пулково, французскими астрономами Лио и Дольфюсом на обсерватории Пик-дю-Миди в Пиренеях и другими. Оказывается, что лунный свет наиболее поляризован при первой и последней четвертях, когда величина поляризации составляет 15—20%. При убывающей Луне поляризация несколько выше, чем при растущей. Это зависит от того, что поляризация для морей несколько выше, чем для материков, а моря на восточной половине лунного диска занимают большую площадь, чем на западной. Вообще для лунных деталей справедливо правило, что чем темнее окраска, тем выше процент поляризации. Так, для наиболее ярких деталей типа светлых лучей и очень белых кратеров процент поляризованного света составляет менее 5%, для нормальной поверхности материков — 6,5—8%, а для морей и цирков с темной окраской дна 12—16%.

Замечательно, что одинаково окрашенные участки имеют и одинаковую поляризацию. При этом плоскость поляризации для всех точек лунного диска совпадает с плоскостью, проходящей через Солнце, объект и глаз наблюдателя. Такую поляризацию условились называть положительной.

Из этого следует, что различие наклона поверхности к линии зрения и к солнечным лучам, очень значительное на шарообразной выпуклой поверхности Луны, на явлении поляризации никак не сказывается и поляризация зависит только от окраски, а не от положения объекта

в той или иной части диска. Исключение составляет узкая зона, примыкающая к терминатору и освещаемая очень ко-со падающими солнечными лучами: там поляризация несколько повышена.

Интересно, что на морях участки с более и менее высокой поляризацией неправильно чередуются. Это указывает на то, что состав вещества морей сравнительно разнообразен. Материки в отношении поляризации, а по-видимому, и состава вещества, более однородны.

Большой интерес представляет изменение хода поляризации Луны с фазой. Как мы уже говорили, поляризация бывает наибольшей около квадратур, точнее, при фазовых углах  $100-105^\circ$ . С увеличением фазового угла, т. е. с приближением к новолунию, поляризация быстро снижается и при фазовом угле  $160^\circ$  составляет всего 3%. Как изменится поляризация дальше — неизвестно, потому что делать измерения для очень узкого серпа, видимого к тому же на фоне зари, — невозможно. Вероятно, она продолжает снижаться и к новолунию доходит до нуля.

В сторону полнолуния, т. е. меньших фазовых углов, поляризация тоже уменьшается и при угле фазы  $20^\circ$  исчезает совсем. При этом она пропадает сначала для левого, т. е. восточного края лунного диска, а потом постепенно для всей остальной части Луны. Но это длится недолго. Уже 2—3 часа спустя на восточном краю опять появляется слабая поляризация, понемногу охватывающая весь лунный диск. Эта новая поляризация качественно резко отлична от прежней: ее плоскость перпендикулярна к плоскости «объект — Солнце — наблюдатель». Поляризацию такого типа принято называть отрицательной. Величина ее растет с приближением к полнолунию и бывает выражена наиболее резко при фазовом угле  $11^\circ$ , когда количество поляризованных лучей достигает 1,2%. Затем количество поляризованного света опять снижается и, по-видимому, обращается в нуль при фазовом угле, равном  $0^\circ$ . В пользу такого вывода говорит отсутствие заметной поляризации при лунных затмениях.

Описанный ход поляризации с фазой для интегрального света Луны представлен на рис. 50, где по наблюдениям французского астронома Лио нанесены две различные кривые — одна для прибывающей Луны, а другая для убывающей. Там же нанесены результаты наблюдений планеты Меркурий. Они интересны тем, что наглядно показывают

оптическое сходство поверхности этой планеты с поверхностью нашего спутника.

Возникает вопрос, а как обстоит дело с поляризацией для различных земных материалов? Например, если бы снять с поверхности нашей планеты растительность, слой почвы и всяких наносов, так, чтобы обнажились коренные породы, и после этого посмотреть на диск Земли с Луны,

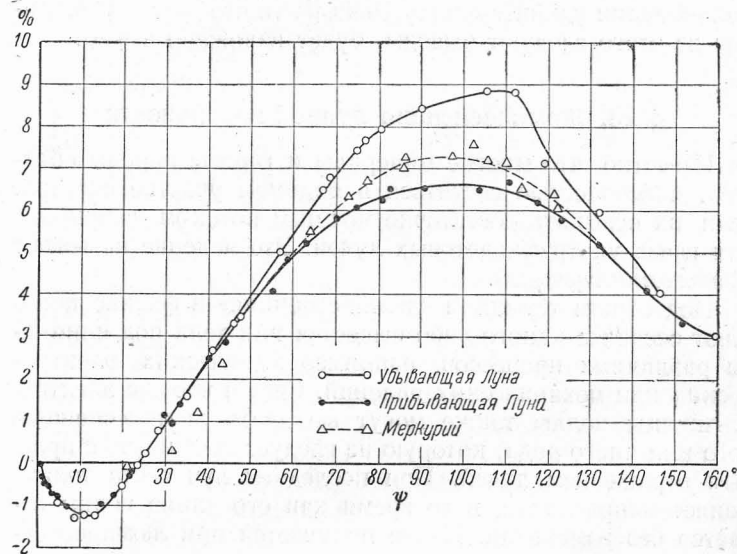


Рис. 50. Изменение поляризации света Луны с фазой.

то увидели бы мы на нем те сложные явления поляризации, которые наблюдаются на лунном диске? Чтобы получить ответ на этот вопрос, необходимо исследовать поляризацию пучка лучей, отражаемого образцами различных горных пород.

Такие исследования были выполнены в отношении песчаников, гранитов, лавы и других горных пород. Оказалось, что некоторое общее сходство с кривой изменения поляризации тут имеется. Так, изученные образцы камня тоже дают максимум поляризации тогда, когда падающий и отражаемый лучи составляют угол, близкий к прямому, и у них тоже «положительная» поляризация сменяется «отрицательной», если вести наблюдения с направления, близкого к направлению на источник света. Однако количест-

венного соответствия ни у одной горной породы с Луной не получается. Оказывается, что у Луны положительная поляризация слабее, чем у горных пород, а отрицательная сильнее, и смена одного вида поляризации другим, равно как и наступление наибольшей поляризации, наблюдается при других значениях фазы. Исключения составляют вулканические пеплы, отдельные виды которых по характеристикам поляризации удивительно похожи на то, что дает Луна. Какие из этого следуют выводы, будет изложено в § 26.

### § 23. Люминесценция лунной поверхности

Известно, что многие минералы и горные породы обладают способностью светиться в видимом участке спектра, если их освещать достаточно мощным потоком невидимых для глаза ультрафиолетовых лучей. Это явление называют *фотолюминесценцией*.

Под общим термином «люминесценция» в физике понимают свечение какого-либо вещества или тела под влиянием различных процессов, например химических, электрических или механических явлений. Свет и вообще электромагнитные волны также могут вызывать люминесценцию того или иного рода, которую не следует смешивать с простым отражением лучей. При последнем луч света только меняет направление, в то время как его длина волны остается без изменения. Иначе получается при люминесценции: тут, как правило, на поверхность тела падает пучок лучей с одной длиной волны (например, лежащей в ультрафиолетовой области), в результате чего в веществе тела возбуждается излучение в других участках спектра, всегда характеризуемых большей длиной волны (например, в видимом или инфракрасном участках). Такое явление и называют фотолюминесценцией. Последнюю в свою очередь разделяют на *флюоресценцию*, при которой поглощаемая лучистая энергия излучается немедленно, так что свечение прекращается вместе с поступлением лучей извне, и *фосфоресценцию*, при которой «высвечивание», т. е. испускание поглощенной энергии, идет медленно, и потому возбужденное внешним потоком лучей свечение продолжается и после прекращения действия этих лучей.

Явление флюоресценции минералов и горных пород легко продемонстрировать в лабораторной обстановке: облучая образцы различных камней «черным» светом ртутной

лампы, видимые лучи которой поглощаются специальным светофильтром, мы легко обнаружим, что некоторые вещества в таких условиях начинают светиться, испуская лучи той или иной окраски. Наиболее характерен в этом отношении минерал флюорит, по имени которого самое явление и получило свое наименование. Под влиянием облучения ультрафиолетовыми лучами он испускает сильное свечение фиолетового, синего или зеленого оттенка.

Явление люминесценции в настоящее время изучено очень детально. Многочисленными опытами установлено, какие лучи и какой длины волны вызывают флюоресценцию тех или иных химических соединений и в каких именно участках спектра. Создан даже специальный метод опознавания некоторых соединений, известный под именем люминесцентного анализа.

В условиях земной природы наблюдать люминесценцию минералов и горных пород непосредственно не приходится, так как, с одной стороны, прямое освещение ландшафта видимыми лучами слишком интенсивно и потому слабый свет флюоресценции неразличим, а с другой стороны, наиболее эффективная в смысле возбуждения свечения коротковолновая часть солнечного спектра, начиная с длин волн в 3000 Å и короче, полностью поглощается земной атмосферой. Иначе обстоит дело на Луне. Благодаря отсутствию атмосферы все формы излучений, включая крайние ультрафиолетовые участки солнечного спектра, достигают поверхности лунных скал, и потому многие минералы там должны давать интенсивное свечение. Понятно, сколь ценным для науки было бы его изучение. Весь вопрос в том, как его обнаружить на фоне яркого света отражаемых солнечных лучей.

Много раз появлялись сообщения о случаях наблюдения свечения отдельных деталей лунной поверхности на неосвещенной стороне лунного диска, т. е. в условиях пепельного света. Если бы это было так, то это указывало бы либо на люминесценцию под действием лучей не солнечного происхождения (например, так называемых космических лучей), либо на наличие фосфоресценции, т. е. такой формы свечения, которое продолжается долгое время после прекращения породившего его облучения. Однако ни одно из наблюдений, дававших повод для таких заключений, подтверждено не было, а потому вопрос о возможности наблюдать люминесценцию лунных горных пород оставался открытым.

С новой точки зрения подошел к вопросу чешский астроном Ф. Линк. Применяя разработанную им фотометрическую теорию лунных затмений и сравнивая результаты расчетов с данными фотометрических наблюдений затмений, он нашел, что яркость лунной поверхности в наиболее темной зоне полутени, т. е. у границы с краем тени, выше той, которую могло бы дать освещение, создаваемое узким краем солнечного диска, остающегося еще не покрытым темным телом Земли. Такое превышение яркости было обнаружено для 75% затмений, причем его величина в отдельных случаях доходит до 40% от теоретического значения яркости.

Специальные расчеты показали, что этот эффект нельзя объяснить ни такими явлениями в земной атмосфере, как рефракция и рассеяние световых лучей, ни отражением последних от поверхности океанов. Поэтому Линк выдвинул гипотезу, что мы имеем тут дело с люминесценцией вещества лунной поверхности, вызываемой ультрафиолетовой или корпускулярной радиацией, испускаемой либо солнечной хромосферой, либо внутренними частями солнечной короны. Интенсивность такой радиации будет наибольшей у самого края солнечного диска. Поэтому она будет оказывать заметное воздействие на лунную поверхность и тогда, когда в условиях лунного затмения (т. е. во время солнечного затмения на Луне) из-за диска Земли высвывается лишь узкий серпик краевой зоны солнечного диска.

Ряд последующих исследований в области физики Солнца подтвердили существование такого рода излучения и этим подкрепили предположение Линка. Тем не менее существование люминесценции на Луне этим еще не могло считаться доказанным, ибо та фотометрическая теория лунных затмений, при сравнении с которой возникли все изложенные идеи, основана на ряде приближенных допущений. Поэтому очень важно было обнаружить свечение лунных скал какими-нибудь прямыми методами.

Люминесцентное излучение характеризуется более или менее широкими полосами, расположенными в тех или иных участках спектра. Оно добавляется к потоку солнечных лучей, непосредственно отражаемых от лунной поверхности, и вызывает некоторое изменение распределения энергии в их спектре. Изучая спектр отраженных лучей, его и можно обнаружить. Это легче всего сделать в отношении фраунгоферовых линий солнечного спектра. Поскольку последние в спектре люминесценции отсутствуют, наличие флюоресцен-

ции скажется в том, что глубина (т. е. степень темноты) солнечных линий в спектре лучей, отражаемых Луной, будет понижена по сравнению с солнечным спектром, полученным непосредственно.

Работы по поискам люминесценции указанным методом были поставлены Н. А. Козыревым в СССР и Дюбуа во Франции.

Дюбуа, сравнивая при помощи микрофотометра линии в спектре некоторых участков лунной поверхности и в спектре солнечных лучей, отраженных от белого лабораторного экрана, пришел к выводу, что дно кратера Региомонтан дает люминесценцию в желтом и красном участках спектра, местность около кратера Линней люминесцирует в зеленых лучах, море Спокойствия — в желтых, море Кризисов — в зеленых и желтых, Океан Бурь — в красных. Однако все эти результаты носят совершенно предварительный характер.

Н. А. Козырев получал спектрограммы различных участков лунной поверхности на 50-дюймовом рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории и сравнивал фраунгоферовы линии в спектрах Луны и Солнца. Разницы не оказалось, кроме одного случая: линии, обозначаемые буквами H и K и принадлежащие ионизованному кальцию солнечной атмосферы, в спектре кратера Аристарх оказались менее глубокими и менее широкими, чем в солнечном спектре. Эффект был наиболее интенсивным 4 октября 1955 г. Результаты наблюдений соответствуют наличию интенсивной полосы люминесцентного свечения на длине волны 3900 Å и другой, менее интенсивной полосы вблизи 4300 Å.

Н. А. Козырев предполагает, что способное к свечению вещество — люминофор, содержащееся внутри кратера Аристарх и отсутствующее в других местах лунной поверхности, может быть разновидностью кварца. Его люминесценция вызывается корпускулярным излучением Солнца, с интенсивностью которого меняется и яркость свечения. Условию наиболее сильного свечения должна соответствовать объемная плотность потока солнечных протонов у лунной поверхности порядка  $5 \cdot 10^3$  частиц на  $1 \text{ см}^2$ .

Еще более интересное наблюдение Н. А. Козыреву удалось выполнить на том же инструменте в ночь с 3 на 4 ноября 1958 г. На этот раз был сфотографирован спектр центральной горки кратера Альфонс, причем на всем протяжении спектра (а не только внутри спектральных линий) было обнаружено яркое эмиссионное свечение. Кратер

Альфонс наблюдался не случайно: были сообщения американского астронома Ольтера о замеченной им в этом кратере световой вуали, ясно видимой в ультрафиолетовых лучах.

По мнению Н. А. Козырева это свечение, продолжавшееся не более 30 минут, дает спектр, составленный из полос углерода, напоминающих так называемые «полосы Свана», часто появляющиеся в спектрах комет. Само явление, как полагает Н. А. Козырев, представляет собою вулканическое извержение на Луне, в процессе которого было выброшено огромное облако газа, начавшее светиться под действием различных излучений. Однако такой взгляд пока является только предположением и только будущие исследования смогут дать законченный ответ на те вопросы, которые тут возникают.

## § 24. Температура лунной поверхности

Равнины и горы Луны, на протяжении двухнедельного лунного дня озаряемые лучами Солнца, должны нагреваться до сравнительно высокой температуры, а за столь же долгую лунную ночь они должны сильно охлаждаться, поскольку на Луне нет того защитного слоя атмосферы, который сохраняет тепло в ночное время на Земле. Таким образом, можно заранее утверждать, что поверхность Луны — это арена очень резких колебаний температуры. Изучение этих колебаний составляет важный раздел исследований природных условий Луны.

Для изучения изменений температуры на некотором небесном теле мы имеем два пути: теоретический и практический.

Теоретический расчет температуры для некоторого тела, находящегося в потоке энергии солнечных лучей, основан на следующих соображениях. Поместим холодное тело на пути солнечных лучей. Часть солнечных лучей будет отражаться от его поверхности в окружающее пространство, а часть — поглощаться телом. Поглощенная энергия будет нагревать тело, и его температура будет повышаться. Однако это повышение температуры не будет беспредельным, потому что с повышением температуры усиливается собственное излучение тела, и поглощенное тепло будет излучаться обратно в окружающее пространство. Это ведет к тому, что повышение температуры замедляется, и в конце концов тело приобретет такую температуру, при которой рас-

ход энергии путем излучения будет равен ее поступлению при поглощении солнечных лучей. Значение температуры  $T$ , при котором осуществляется это равновесие между прибылью и убылью энергии, называется равновесной температурой.

Равновесную температуру легко рассчитать для частного случая абсолютно черного тела. Так называется тело, которое полностью поглощает все падающие на него лучи, ничего не отражая обратно, так что вся падающая на него лучистая энергия целиком идет на его нагревание. В теории излучения доказывается, что количество лучистой энергии  $J$ , испускаемое единицей площади такой поверхности в единицу времени, пропорционально четвертой степени температуры:

$$J = \sigma T^4. \quad (23)$$

Температура  $T$  здесь берется в абсолютной шкале, так что  $0^\circ$  по шкале Цельсия соответствует значению  $T = 273^\circ$ . Коэффициент пропорциональности  $\sigma$  зависит от того, в каких единицах мы выражаем  $J$ . Если его вычислять в эргах за секунду с квадратного сантиметра, то  $\sigma = 5,71 \cdot 10^{-5}$ .

Количество энергии, поступающее на лунную поверхность от Солнца, хорошо известно. Мы знаем величину так называемой солнечной постоянной  $E$ , которая представляет собою количество тепла, поступающего на каждый квадратный сантиметр площади, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам на расстоянии в одну астрономическую единицу от Солнца. Она составляет 1,94 малой калории на квадратный сантиметр в минуту или  $1,35 \cdot 10^6$  эргов на квадратный сантиметр в секунду. Столько энергии получает горизонтальный участок лунной поверхности, для которого Солнце стоит в зените. Если же зенитное расстояние Солнца для данной местности Луны равно  $z$ , то приход энергии составит  $E \cos z$ . Условие равновесия энергии, определяющее температуру  $T$ , сводится к тому, чтобы приход энергии равнялся ее расходу. Это условие выразится равенством

$$E \cos z = \sigma T^4. \quad (24)$$

Выражая отсюда температуру, получим:

$$T = \sqrt[4]{\frac{E \cos z}{\sigma}}. \quad (25)$$

Подставляя значения  $E$  и  $\sigma$ , находим:

$$T = 392 \sqrt[4]{\cos z}. \quad (26)$$

Из этой формулы следует, что в подсолнечной точке ( $z=0$ ) температура должна доходить до  $119^\circ\text{C}$ ; теоретический ход температуры с изменением зенитного расстояния показан на рис. 51.

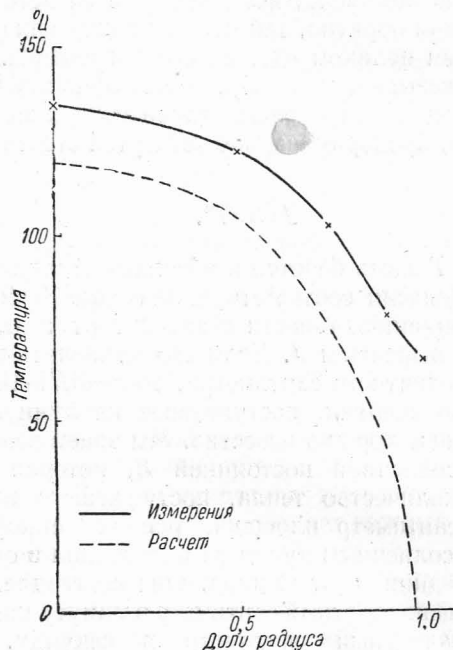


Рис. 51. Распределение температуры по диску полной Луны.

Правда, весь проделанный расчет был отнесен к некоторому идеальному случаю, представляемому абсолютно черным телом. Во многих случаях результат такого расчета может быть очень далек от действительности. Но как раз в случае Луны можно ожидать, что действительная температура поверхности будет отличаться от расчетной не слишком сильно. Дело в том, что вещество лунной поверхности, хотя, конечно, и не является абсолютно черным, но все же оно относится к категории темных и отражает сравнительно немного лучей. Кроме того, на Луне нет атмосферы, ко-

торая своими ветрами и другими связанными с нею явлениями сильно осложняет расчет температуры для многих планет.

Очень важно на практике убедиться в том, что теоретический расчет дает достаточно правильную картину распределения температуры по лунной поверхности. Это сравнение позволяет сделать экспериментальное исследование температуры небесных тел, основанное на измерении поступающего к нам от планеты потока лучистой энергии при помощи термоэлемента.

Термоэлемент представляет собой прибор, состоящий из двух проволочек, сделанных из разных металлов, например меди и особого сплава — константана. Концы этих проволочек спаяны. Нагревание или охлаждение одного из спаев вызывает в проводах, соединенных с термоэлементом, электрический ток, который измеряется посредством чувствительного гальванометра. Спай покрывается черной краской и на него направляют измеряемый пучок лучей. Чем сильнее нагревается спай, тем больше отклоняется стрелка гальванометра.

В настоящее время изготовляют миниатюрные термоэлементы, у которых приемная поверхность меньше миллиметра в поперечнике; чувствительность таких термоэлементов, применяемых в сочетании с усилителем тока, настолько велика, что повышение температуры приемника на одну миллионную градуса уже заметно. Поместив такой термоэлемент в фокальной плоскости большого телескопа-рефлектора и проектируя на его спай изображения различных участков лунной поверхности, можно измерять поступающую от них энергию.

Поток энергии, поступающий от некоторого участка Луны или какой-нибудь планеты, состоит из двух частей. Первую часть составляют солнечные лучи, непосредственно отражаемые поверхностью небесного тела. Они с температурой этой поверхности не связаны и потому интереса для рассматриваемой здесь задачи не представляют. Вторую часть составляют лучи, испускаемые самой нагретой поверхностью. В силу формулы (26) их интенсивность целиком определяется температурой и может служить для определения последней. Значит, надо уметь разделить эти два компонента лучей. Это облегчается тем, что лучистая энергия Солнца сосредоточена преимущественно в видимой части спектра, в то время как радиация слабо нагретой лунной



поверхности относится к далеким инфракрасным лучам. Такие лучи полностью задерживаются даже в тонком слое чистой воды, которая для видимых лучей вполне прозрачна. Разделение отраженного и испускаемого потока лучей основано на применении «водяного фильтра», т. е. небольшого сосуда с водой, помещаемого на пути лунных лучей. Измерение выполняют дважды, сначала без водяного фильтра — это дает сумму обеих частей радиации, — а затем через водяной фильтр, пропускающий только отраженные солнечные лучи. Разность дает лучистый поток  $I$ , испускаемый самой поверхностью Луны. Подставляя полученное значение в формулу (23) и решая относительно  $T$ , мы найдем абсолютную температуру данного участка Луны. Разумеется, все сказанное представляет собой лишь упрощенную схему такого метода определения температуры. На практике здесь приходится вносить целый ряд поправок.

Попытки получить значения температуры лунной поверхности описанным выше путем делались еще в прошлом столетии, однако результаты, заслуживающие доверия, удалось получить лишь в 30-х годах нашего века, когда вступили в строй достаточно мощные телескопы-рефлекторы, а техника термоэлектрических измерений достигла необходимого совершенства. Определения, выполненные на обсерватории Маунт-Вилсон, привели к следующим данным. Температура в центральных частях диска полной Луны, т. е. в подсолнечной точке, оказалась равной  $134^{\circ}\text{C}$ . На середине между центром и краем она составляет  $122^{\circ}$ , на расстоянии  $0,75$  радиуса от центра  $102^{\circ}$ , на  $0,9$  радиуса  $77^{\circ}$ , а на самом краю  $67^{\circ}$ . Соответствующие данные представлены в форме графика на рис. 51, так что их можно сравнить с результатами теоретических расчетов. Мы видим, что измеренные температуры выше вычисленных, и расхождение возрастает к краю диска, т. е. при косом падении лучей на поверхность. Это можно объяснить тем, что поверхность Луны сильно изрыта. Различные ее неровности по-разному наклонены к пучку солнечных лучей и согласно формуле имеют неодинаковую температуру. Объясняя фотометрические особенности лунной поверхности (§ 19), мы выяснили, что во всех частях лунного диска к нам обращены преимущественно те участки неровностей, которые приблизительно перпендикулярны к линии зрения. Во время полнолуния солнечные лучи падают на такие участки отвесно, а потому температура их высока. Этим и объясняется,

почему измерения даже на самом краю диска, где лучи Солнца падают совсем косо, дают высокие значения температуры. Это будет температура склонов неровностей, обращенных в момент наблюдений и к Земле и к Солнцу, а отнюдь не средняя температура поверхности Луны, а также и не та температура, которую имеют гладкие горизонтальные участки, к которым относится теоретический расчет.

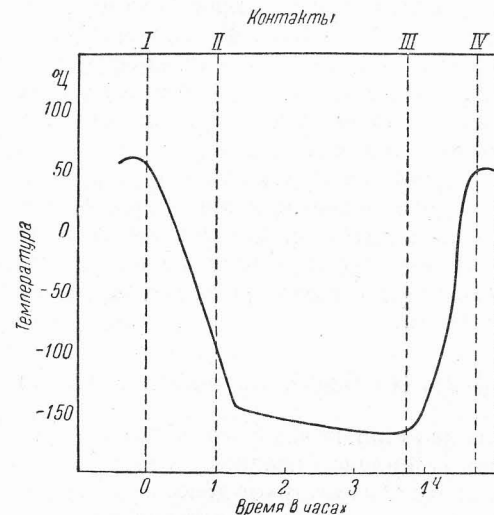


Рис. 52. Ход температуры поверхности Луны во время лунного затмения.

Правильность этого объяснения вытекает из сопоставления результатов, выполненных при других фазах Луны. Например, температура в подсолнечной точке, измеренная при квадратуре, т. е. в условиях, когда эта точка лежит на самом краю лунного диска, а направление на Землю составляет прямой угол с солнечными лучами, получается равной только  $81^{\circ}$ . Это происходит потому, что для обращенных к Земле склонов падение солнечных лучей в этих условиях получается косым. Следует иметь в виду, что всякая затененная часть поверхности на Луне быстро остывает, и ее температура за короткое время снижается градусов на двести, приближаясь к температуре ночной стороны, которая, несомненно, значительно ниже  $-100^{\circ}$ . По всей вероятности она составляет около  $-150^{\circ}$ .

Быстрое остывание лунных гор и скал, сопровождающее прекращение доступа солнечных лучей на лунную поверхность, наглядно проявляется во время лунных затмений. Так, во время затмения 14 июня 1927 г. при помощи термометра была измерена температура области в южной части Луны; до начала затмения она равнялась  $+69^\circ$ . За время прохождения полутени она снизилась до  $-63^\circ$ , а после прохождения тени стала быстро падать и за 20 минут снизилась до  $-103^\circ$ . В дальнейшем температура снижалась уже медленно и ко времени выхода из тени дошла до  $-121^\circ$ . После этого наблюдалось быстрое возрастание температуры до прежнего уровня. График, представляющий описанный ход температуры, дан на рис. 52. Столь быстрое остывание указывает на очень малую теплопроводность лунной поверхности: накопленное за время облечения в глубине вещества тепло лишь медленно и постепенно просачивается наружу и потому не может поддерживать хоть сколько-нибудь высокую температуру наблюдаемой нами поверхности.

## § 25. Проблема лунной атмосферы

Вопрос о наличии газовой оболочки вокруг Луны изучается давно. В прошлом неоднократно высказывалось мнение, будто на Луне существует довольно заметная атмосфера. Сторонники этого взгляда настойчиво искали ее признаков и утверждали, будто им удавалось замечать образование облаков и туманов, скрывающих отдельные мелкие детали поверхности, то осаждение инея и других атмосферных осадков, то даже возникновение растительных покровов. Несомненно, что сообщения такого рода основаны на разного рода ошибках и фантазиях их авторов, ибо гораздо более тонкие методы объективного исследования приводят к противоположному выводу.

Атмосфера небесного тела может проявлять себя в весьма разнообразных оптических явлениях. Первыми из них являются облака, туманы и прочие помутнения, которые указывают на довольно значительную плотность газовой оболочки. На Луне они, несомненно, отсутствуют полностью.

Вторую группу оптических явлений составляют те, которые вызываются рассеянием солнечных лучей слоем газа, находящимся на освещенном полушарии светила. Для наблюдателя, расположенного на самой поверхности по-

следнего, это дает эффект голубого дневного неба, свет которого добавляется к прямому солнечному свету, а также проникает в те части ландшафта, которые от прямых лучей Солнца затенены. Для наблюдателя, рассматривающего светило извне, такое рассеяние создает характерный эффект «воздушной дымки». Под этим названием понимают всем известную голубоватую вуаль, которая заволакивает далекие части ландшафта в солнечный день, а для пилота, летящего над землей на большой высоте, затягивает всю расположенную под ним земную поверхность. Если бы на Луне была атмосфера, то оба указанных эффекта приводили бы к тому, что тени от гор и других неровностей казались бы сравнительно светлыми и голубоватыми. Так было бы потому, что заслоненная горой от солнечного света местность получала бы рассеянный свет небесного свода, как это имеет место на Земле, и, кроме того, на фон темной тени накладывался бы яркий свет воздушной дымки. Но тени на Луне совершенно черны и никакого, даже самого слабого освещения заметить на них не удастся. Это является еще одним доводом в пользу отсутствия атмосферы.

Третьим эффектом, вызываемым атмосферой, будут сумеречные явления, состоящие в том, что рассеянный в атмосфере свет распространяется за линию терминатора и создает сумеречное освещение в прилегающей к последнему зоне ночного полушария светила. Это должно изменять видимую фазу Луны, однако проделанные измерения такого эффекта не подтверждают.

Более чувствительным методом обнаружения атмосферы считаются наблюдения удлинения рогов, вызываемые сумеречным светом при фазах узкого серпа. На важность этого метода указал в свое время американский астроном Рессель. Недавно новые наблюдения в этом направлении были поставлены на обсерватории Пик-дю-Миди Дольфюсом, который воспользовался внезатменным коронографом системы Лио — прибором, в котором рассеянный свет, очень вредный при таких исследованиях, сведен к минимуму. Результат оказался отрицательным: никаких признаков удлинения рогов и вообще сумеречного света обнаружено не было, из чего следует, что плотность газа у лунной поверхности должна быть меньше, чем  $10^{-9}$  плотности земного воздуха при нормальных условиях.

Четвертым признаком существования атмосферы является преломление лучей, или рефракция. В случае Луны

она должна проявляться при часто наблюдаемом явлении покрытий звезд лунным диском. В тот момент, когда край Луны касается звезды, изображение последней должно, во-первых, несколько сместиться, а, во-вторых, ослабевать в яркости. Такое постепенное уменьшение блеска будет происходить не только тогда, когда слои газа туманны и потому сильно поглощают свет, но и при идеально прозрачной атмосфере, что связано с расхождением преломленных лучей, действие которого мы разбирали в § 10 в связи с фотометрической теорией лунных затмений.

Наблюдения покрытий звезд Луною регулярно ведутся на многих обсерваториях. Однако их обработка неизменно дает отрицательный результат: рефракционные явления оказываются неощутимыми, из чего следует, что плотность газа у лунной поверхности по крайней мере в 10 000 раз меньше, чем у поверхности Земли.

Гораздо более тонким и чувствительным критерием является изучение преломления радиоволн. Двигаясь по небу, Луна покрывает не только обычные звезды, но и источники космического радиоизлучения. В момент покрытия или открытия такого объекта радиоволны проходят сквозь лунную атмосферу. Если последняя действительно существует, то образующие ее газы должны быть ионизованы за счет действия ультрафиолетовой радиации Солнца, подобно газам земной ионосферы. Такая среда будет оказывать на радиоволны сильное преломляющее действие даже при очень низкой плотности газа.

Наиболее ценный результат дали наблюдения покрытия «Крабовидной туманности» в созвездии Тельца, расположенной вблизи эклиптики и представляющей собою один из самых мощных источников космического радиоизлучения. Явление имело место 24 января 1956 г. и наблюдалось английским радиоастрономом Ильсмуром на длине волны 3,7 см. Величина горизонтальной рефракции в лунной атмосфере для этих лучей получена равной 13", чему соответствует плотность заряженных частиц (электронов) у лунной поверхности порядка 1000 частиц на 1 см<sup>3</sup>. На основании этого для вероятнейшей величины плотности газа у лунной поверхности получается значение  $2 \times 10^{-13}$  от плотности приземных слоев земной атмосферы. Газ такой плотности практически неощутим; он не дает никакой защиты ни от метеоритов, ни от различного рода излучений. Поэтому можно считать, что атмосферы на Луне нет.

Возникает вопрос, почему два соседа—Земля и Луна—в отношении воздушной оболочки оказались столь различными. Ответ на этот вопрос дает теория рассеяния, или диссипации планетных атмосфер.

Мы знаем, что всякая масса газа состоит из быстро движущихся молекул. Скорости молекул весьма разнообразны, и в силу взаимных столкновений молекул между собой эти скорости непрерывно меняются. Однако некоторое значение скорости  $v_c$ , называемое средней квадратичной скоростью, встречается наиболее часто. Чем дальше данное значение скорости отстоит от значения  $v_c$ , тем меньше будет число молекул, движущихся с такой скоростью. Значение квадратичной скорости  $v_c$  зависит от температуры газа, повышаясь вместе с последней.

Для поверхности каждого небесного тела можно указать такое значение скорости  $v_k$ , при котором траектория тела, имеющего такую скорость, будет параболой. Это значение  $v_k$  выражается формулой (8) §7.

Отдельные молекулы на границе атмосферы, непрерывно меняя свою скорость при столкновениях, могут получить скорость, превосходящую  $v_k$ . При известных условиях это ведет к тому, что молекула выбрасывается из атмосферы и уходит в мировое пространство. Потеря молекул за счет такого процесса и составляет явление диссипации. Скорость диссипации зависит от соотношения  $v_k$  и  $v_c$ . Теория показывает, что если  $v_c$  превосходит  $1/5 v_k$ , то атмосфера разлетается довольно быстро, и при таких условиях газовая оболочка сколько-нибудь длительное время существовать не может. Напротив, если  $v_c$  меньше  $1/5 v_k$ , то диссипация идет крайне медленно, и атмосфера может существовать миллиарды лет без заметного уменьшения.

Подставив данные для Земли в формулу (8), мы получим для  $v_k$  значение 11,2 км/сек. Одна пятая от этого значения составляет 2,2 км/сек. В то же время значения средней квадратичной скорости при 0° для разных газов таковы: водород 1,8 км/сек, гелий 1,31 км/сек, водяной пар 0,62 км/сек, азот 0,49 км/сек, кислород 0,46 км/сек, углекислый газ 0,39 км/сек. Мы видим, что даже для водорода скорость  $v_c$  меньше критического значения  $1/5 v_k$ . Поэтому земная атмосфера — это стойкое образование, которое будет существовать очень долго.

Теперь рассмотрим Луну. Для нее формула (8) дает  $v_k = 2,38$  км/сек;  $1/5$  от этого числа составляет 0,48 км/сек. Это

значение меньше средней квадратичной скорости для водорода и водяного пара и того же порядка, что для кислорода и азота. Но выше мы привели значение  $v_k$  для 0°C; при температурах, имеющих место на лунной поверхности днем, они будут на 20% выше. Из этого следует, что Луна из-за своей малой массы не способна удержать около себя газовую оболочку, по составу аналогичную земной атмосфере. Таким образом, установленный наблюдениями факт отсутствия на Луне атмосферы получает исчерпывающее теоретическое объяснение.

## § 26. Чем покрыта Луна?

Длительная и упорная работа астрономов по изучению яркости, окраски, поляризации и других особенностей лучей, отражаемых различными деталями Луны при разных фазах, имеет своей конечной целью решить вопрос о том, что же представляет собой вещество, устилающее лунную поверхность. Припомним здесь основные особенности этого вещества, которые удалось установить путем наблюдений и измерений, описанных в предыдущих параграфах.

1. Поверхность Луны везде сильно изрыта, сплошь покрыта острыми и глубокими неровностями, которые и определяют особенности отражения световых лучей от лунной поверхности. В то же время радиоволны отражаются от Луны, как от гладкого шара с зеркальной поверхностью. Это означает, что неровности лунной поверхности значительно больше длины световых волн, но меньше длины радиоволн. Вероятно, их размеры имеют порядок нескольких миллиметров или сантиметров.

2. Лунная поверхность повсюду имеет очень темную окраску и характерна очень низкой отражательной способностью. Белых или просто светлых участков на Луне нет.

3. Поверхность нашего спутника во всех своих точках имеет примерно одинаковый, слегка красноватый цветовой тон, т. е. (принимая во внимание низкую светлоту) является коричневато-серой или черновато-бурой.

4. Поверхность Луны поляризует отражаемые ею лучи, хотя и слабо.

5. Вещество поверхности Луны обладает крайне низкой теплопроводностью и потому должно представлять собой сильно пористый, губчатый или рыхлый материал.

Пока весь этот комплекс специфических особенностей не был окончательно установлен, неоднократно высказывались предположения, что видимая нами поверхность Луны представляет собой обнаженные коренные горные породы, не подвергшиеся никаким позднейшим изменениям типа выветривания. Эту точку зрения обосновывали тем, что на Луне нет ни воды, ни атмосферы. У нас на Земле именно эти два фактора непрерывно разрушают и изменяют скалы и камни, покрывая их корками и налетами продуктов химического и физического разрушения, а затем превращают коренные породы в мелкораздробленный материал типа гравия, щебня, песка, глины и пыли. Скопления такого измельченного вещества составляют так называемую кору выветривания земного шара, которая снаружи благодаря жизнедеятельности растений, бактерий и других живых организмов превращена в специфический слой, называемый почвой.

Покровами такого характера коренные горные породы, составляющие собственно кору Земли, всюду скрыты от нашего взора, и мы видим их лишь на так называемых «обнажениях», т. е. по крутым горным обрывам, на берегах рек, ручьев и в оврагах. Если считать, что воды и воздуха не было на Луне и в отдаленном прошлом, то возможна точка зрения, согласно которой первозданные вулканические горные породы, получившиеся путем затвердевания огненной магмы, так и остались на поверхности Луны в своем изначальном виде, не подвергаясь с течением времени никаким изменениям.

Взгляд, согласно которому темные площади лунных морей, а также дно кратеров с темной окраской, покрыты горной породой типа базальта и диабазы, довольно широко распространен среди селенологов. Соответственно этому менее темные материи считают состоящими из гранита, трахита, липарита и других горных пород «кислого» состава, т. е. содержащих сравнительно много кремниевой кислоты ( $\text{SiO}_2$ ).

По вопросу о петрографическом составе лунной поверхности иногда высказывались и другие предположения. Например, утверждали, что в далеком прошлом на Луне была плотная атмосфера и было так много воды, что могли образоваться настоящие осадочные горные породы типа песчаников и сланцев. Темный цвет морей объясняли тем, что некогда это были действительно бассейны, наполненные

водой, на дне которых накапливались осадки с темной окраской. Однако взгляды такого рода не получили ни серьезного обоснования, ни широкого распространения. Еще меньше признания выпало на долю тех уже совсем фантастических гипотез, которые видели в особенностях окраски лунных пейзажей признаки снега, инея, льда, а также покровов растительного происхождения.

В настоящее время все перечисленные мнения о составе вещества лунной поверхности нужно признать устаревшими. Вещество, устилающее поверхность Луны, не может быть не только льдом, но и каменной горной породой изверженного происхождения, поскольку и его отражательная способность, и его тепловые свойства (крайне малая теплопроводность) этому противоречат. К тому же самая идея абсолютной неизменности наружной поверхности Луны на протяжении миллиардов лет отнюдь не кажется правдоподобной. Наилучшее согласие с теми фактами, которые были перечислены выше, дает предположение, что лунная поверхность всюду покрыта каким-то рыхлым продуктом позднейшего происхождения. Глядя на лунный диск невооруженным глазом, рассматривая детали лунного ландшафта в телескоп, определяя светлоту, окраску, поляризацию, теплопроводность и другие характеристики лунной поверхности при помощи специальных приборов, мы, по видимому, всегда имеем дело только с этим пока неизвестным нам налетом позднейшего происхождения, скрывающим от нас те горные породы, из которых сложен наружный слой лунной коры.

Из чего состоит и как образовался этот внешний покров на Луне? Об этом пока можно строить только догадки. Перечислим наиболее существенные предположения, которые были высказаны по этому поводу.

1. Г и п о т е з а в ы в е т р и в а н и я. Признав мало правдоподобным мнение, будто на Луне когда-то были обширные моря и океаны, мы, однако, легко можем допустить наличие в прошлом некоторой, пусть разреженной, атмосферы и даже влаги. Самое незначительное количество последней должно было порождать на Луне явления, аналогичные тому выветриванию, которое наблюдается на Земле, например в земных пустынях. К этому присоединялось интенсивное действие солнечных лучей и растрескивание и измельчение горных пород (сильное нагревание и последующее быстрое охлаждение). Наблюдения

в пустынях в и условиях высокогорья показывают, что такое разрушение чаще всего сводится к отделению тонких листочков поверхностного слоя, к своеобразному «шелушению» наружной поверхности камня, носящего в геологии специальное наименование «эсквамация». Что касается до совместного действия воздуха, небольшого количества влаги и очень интенсивного солнечного облучения, то оно создает на поверхности скал в пустынях пленку с черной или темно-бурой окраской, носящую название «загар пустыни». Естественно задать вопрос, не получилась ли специфическая черноватая окраска Луны в результате аналогичных процессов?

2. Г и п о т е з а в у л к а н и ч е с к о г о п е п л а. Взгляд на лунные кольцевые горы как на вулканические образования, а также существование на Луне обширных систем светлых лучей, по всей вероятности представляющих собой продукты, выброшенные при возникновении кратера, наводят на мысль, что материал типа вулканического пепла может иметь большое распространение на Луне. Известно, что «пепел», осаждающийся на Землю при извержениях земных вулканов, представляет собой мелкую минеральную пыль, получившуюся при вулканических взрывах. Неоднократно наблюдались случаи, когда такой пепел покрывал окружающую вулкан местность сплошным слоем на много километров вокруг. Ближе к кратеру вулкана к мельчайшему материалу, образующему «пепел», примешиваются более крупные частицы, составляющие так называемый вулканический песок и еще большего размера «лапилли», которые являются сильно ноздреватыми и поэтому легкими кусочками застывшей лавы. Как мы упоминали в конце § 22 характер поляризации лунных лучей ближе всего соответствует тому, что получается для вулканических пеплов. Это, несомненно, подкрепляет взгляд на лунную поверхность как на слой такого происхождения.

3. Г и п о т е з а к о с м и ч е с к о й п ы л и. На Землю непрерывно поступает материал метеорного происхождения. На ночном небе то и дело вспыхивают огоньки падающих звезд, каждый из которых означает, что в земную атмосферу врзалась и в ней испарилась очередная метеорная частичка. Анализы пыли, оседающей в местностях с очень чистым воздухом, например на снегах высоких горных вершин, всегда обнаруживают среди пылинок земного происхождения черные частички окисленного железа, пред-

ставляющие собой продукты разрушения метеоров. В условиях Земли такой материал уносится ветром, смывается водами и теряется среди земных веществ. На Луне, где условия совершенно иные, он может накапливаться повсюду, образуя покров из принесенного извне материала. Количество метеорного вещества, поступающего на поверхность Луны, должно быть таким же, как и для Земли. Статистика метеорных явлений показывает, что оно должно составлять примерно 10 г на 1 квадратный километр в год или 10 т в сутки на всю Землю. За миллиард лет это дало бы на Луне повсюду равномерный слой толщиной порядка 1 см. Правда, такой покров, не будучи связан с природой погребенных им участков лунной поверхности, повсюду должен был бы иметь одинаковую отражательную способность. Различия в окраске материков, морей и прочих деталей были бы им скрыты от нашего взора, подобно тому как белый снег скрывает зимой расцветку почвы на наших полях. Но на это можно возразить, что тонкий покров метеорного происхождения может и не быть сплошным или сомкнутым; кое-где он образует прогалины, сквозь которые проглядывает подстилающая поверхность лунных скал. Если это так, то свойства окраски самой лунной поверхности будут метеорным налетом сильно сглажены и завуалированы, но все же в какой-то мере видимы. Так предлагает согласовать гипотезу метеорного покрова с различными альbedo лунной поверхности советский астроном Л. Н. Радлова.

4. Гипотеза шлака метеоритного происхождения. Многолетние работы по фотометрическому и колориметрическому изучению различных деталей лунной поверхности, проводившиеся на Астрономической обсерватории Ленинградского университета и в других местах, заставляют отвергнуть все перечисленные выше предположения.

Прежде всего, как уже было указано, изучение распределения яркости по лунному диску при разных фазах приводит к выводу, что поверхность Луны повсюду сильно изрыта и покрыта сплошными мелкими неровностями размером не свыше 10 см, отличающимися изорванными краями и крутыми стенками. Ни один вид обычной горной породы не имеет такой структуры. Это обстоятельство, независимо от данных, касающихся теплопроводности и пока относящихся лишь к немногочисленным образованиям, позволяет утверждать, что нигде на Луне нет сколько-нибудь

обширного участка, покрытого гладкой скальной породой, будь эта порода вулканического или осадочного происхождения. Яркость такого гладкого участка менялась бы на протяжении месяца совсем не так, как это происходит для окружающей изрытой местности, что вело бы к резким изменениям видимости такого участка на окружающем фоне. Но телескопические наблюдения Луны ведутся уже три столетия и ни разу такое явление не было обнаружено, если не считать светлых лучей, для которых изрытость еще выше, чем у нормальных участков.

Всякого рода формы коры выветривания, поскольку мы о них можем судить по примерам земных ландшафтов, также не обладают той иссеченностью, которая характерна для лунной поверхности, а «загар пустыни» придает камням и скалам даже зеркальный блеск.

Предположения о наличии на Луне покрова из порошкообразного или сыпучего материала, как например, пыли или пепла, также находятся в противоречии с данными фотометрии. Дело в том, что для сыпучих материалов существует предельный угол откоса и потому такие вещества не могут давать неровности с крутыми, а тем более с изорванными склонами. Повседневный опыт показывает, что рыхлый покров, напротив, сглаживает резкие неровности рельефа. Это мы видим на примере снега, пелена которого придает неровностям местности мягкость и округлость.

Но если поверхность Луны не скалы, не налеты выветривания, не пыль и не пепел, то что же она такое? Учитывая, что закон отражения света во всех частях лунной поверхности совершенно одинаков, а следовательно, одинакова и геометрическая структура неровностей, мы, естественно, приходим к предположению, что наружный покров на Луне везде создан одним и тем же процессом. Что же это за процесс, который действует одинаково и на экваторе и в полярных областях Луны, на равнинах морей и на гористых участках? Таким фактором является воздействие метеорных тел, бомбардирующих Луну со всех сторон.

Рассматривая в § 17 воздействие метеорных тел на лунную поверхность, мы указали, что удар каждой метеорной частицы сопровождается на Луне взрывом, который обращает в пар не только саму эту частицу, но и какую-то часть окружающего вещества лунной поверхности. Этот пар быстро охлаждается и оседает обратно в форме какого-то нового, измененного высокой температурой продукта, масса

которого намного превосходит массу вызвавшей взрыв частицы. Это позволяет предположить, что в результате падения метеорных тел Луна покрывается не столько метеорной пылью, сколько переработанным и обожженным действием взрывов веществом самой лунной поверхности. Если сама эта поверхность состоит из горных пород, подобных магматическим породам Земли, то полученный продукт должен иметь черную окраску вследствие выделения окислов железа из кремнекислых соединений — силикатов. Известно, что кора плавления, образующаяся на поверхности метеорита в результате его нагревания при прохождении через земную атмосферу, имеет, как правило, черный цвет именно по этой причине. Черный цвет приобретают и кусочки горных пород, расплавленные в электрической дуге. Естественно допустить, что оседающий после взрыва материал будет иметь очень рыхлое, ноздреватое, губчатое строение, образуя либо нечто подобное слою из отдельных мохнатых частичек, или же сильно пузыристую спекшуюся массу, похожую на так называемый вулканический шлак. Последний представляет собой застывшую пену на поверхности лавового потока, сильно ноздреватую и потому очень легкую и мало теплопроводную. Многолетние занятия фотометрией и колориметрией Луны привели автора этой книги к мнению, что именно такого рода шлаком, но возникшим под влиянием сильного жара метеорных взрывов, и устилается вся поверхность лунного шара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ни один человек на Луне пока еще не побывал. Тем не менее, опираясь на длительные исследования природы Луны, проводившиеся в разных странах и, в частности, в СССР, мы можем достаточно полно описать ту обстановку, которая существует на Луне.

Есть все основания предполагать, что первые люди, вступившие на лунную поверхность, не найдут там ничего неожиданного, хотя окружающий их мир и будет сильно отличаться от привычных для нас земных условий.

Главной причиной различий будет, конечно, практически полное отсутствие атмосферы. Одним из его следствий явится то, что в дневное время небесный свод на Луне окажется столь же темен, как и ночью, а звезды на нем будут видны одновременно с Солнцем.

Для астронома такие условия представляют огромный интерес. Например, достаточно будет заслонить от себя сверкающий солнечный диск пальцем, и мы увидим солнечную корону в столь великолепном аспекте, какого на Земле не бывает даже во время полных солнечных затмений. По обе стороны от Солнца на темном фоне дневного лунного неба будет резко выступать туманное свечение зодиакального света. Вот когда представится возможность проверить и изучить постепенный переход короны в зодиакальный свет, переход, существование которого пока является только предположением!

Звезды на Луне не мерцают, а светят совершенно спокойно, ибо мерцание является следствием волнения слоев воздуха, сквозь которые мы смотрим на небесные светила. Для астронома это тоже открывает самые заманчивые перспективы. Ибо если рассматривать мерцающую звезду

в телескоп, то действие мерцания возрастет соответственно увеличению инструмента. Вместо точки или маленького кружка, каким должна выглядеть звезда при любом увеличении, в поле зрения телескопа оказывается бесформенное мечущееся пламя, которое непрерывно шевелится, дрожит, как бы кипит. Диск планеты, наблюдаемой при таких условиях, тоже волнуется и размазывается, так что на нем ничего не видно. От всех этих неприятностей будет полностью избавлен наблюдатель, пользующийся телескопом на Луне. Там изображения звезд будут всегда неподвижны и резки, а детали на дисках планет — очень отчетливы. К тому же само небо на Луне будет гораздо чернее, чем на Земле, так как свет ночного неба у нас в значительной мере создается собственным свечением воздуха. Не удивительно, что построить обсерватории на Луне — давнишняя мечта астрономов.

Что касается звезд и созвездий, то их общий облик и взаимное расположение с Луны будут видны точно в том же виде, как и с Земли. Те же семь звезд Большой Медведицы будут образовывать всем знакомую характерную конфигурацию «ковша», так же будут стоять на одной прямой три звезды «пояса Ориона», а красавец Сириус по-прежнему будет занимать среди звезд первое место по интенсивности света.

На Луне, как и на Земле, звезды будут восходить на восточной стороне неба и, проплывая над головой, закатываться на западе. Но только это видимое суточное вращение небесного свода там будет происходить в 27 раз медленнее, чем у нас, соответственно периоду вращения Луны вокруг оси, составляющему, как мы уже знаем, 27,3 земных суток. Иное положение будет занимать на лунном небе и тот небесный полюс, вокруг которого совершается это круговращение небесных светил. Поскольку лунный экватор составляет с плоскостью эклиптики постоянный угол в  $1^{\circ}32'$ , «полюс мира» на Луне всегда будет располагаться недалеко от полюса эклиптики, т. е. будет виден в созвездии Дракона. Он будет довольно быстро перемещаться среди звезд, обходя вокруг полюса эклиптики за 18 лет.

Лунное небо характерно еще одной замечательной особенностью. На нем видно светило, которое нам с Земли никогда не придется видеть: сам земной шар. Будучи в 3,7 раза больше Луны, он и на лунном небе будет сиять во столько же раз более крупным светлым диском, а по площади

он будет превосходить лунный диск примерно в 14 раз. Благодаря сравнительно высокому альбедо Земли (около 0,5) полная Земля светит на Луне почти в 100 раз сильнее, чем полная Луна у нас. Это яркое освещение земным светом мы и видим на лунном диске в качестве пепельного света.

Разумеется, диск Земли проходит ту же последовательность фаз, что и Луна для нас, но время их наступления противоположно. Когда у нас полнолуние, то на Луне наступает «новоземелие» и, наоборот, «полноземелие» по времени совпадает с новолунием.

У Земли, как светила лунного неба, есть одна характерная особенность: она не восходит и не заходит и лишь немного перемещается по небосводу каждого места обращенного к ней полушария Луны вследствие явления либрации (§ 8). Земля никогда не бывает видима с другой половины лунного шара.

Еще одно обстоятельство привлекает астрономов к лунному миру. Дело в том, что земная атмосфера пропускает к нам только некоторые виды лучей, поглощая полностью и наиболее коротковолновую часть ультрафиолетового излучения светил, и космические лучи, и гамма-лучи, и рентгеновы лучи, и солнечные корпускулы. Все эти виды излучений, которые, находясь на Земле, удается изучать лишь с большим трудом и нередко только при помощи малонадежных косвенных методов, в условиях лишенной атмосферы Луны можно будет наблюдать и исследовать совсем просто. Однако берегись, астронавт! Ведь все эти виды лучей для человека опасны, а в больших дозах даже смертельны. И если укрыться от ультрафиолетовых лучей сравнительно легко (их полностью поглощает даже стекло), то проблема защиты человека от космических лучей пока не решена даже теоретически.

На Земле мы привыкли жить в мире звуков. Поэтому на Луне нас будет поражать тишина. Звуков там не будет потому, что звук в его обычном понимании представляет собою колебания воздуха.

Само собою разумеется, что на Луне не бывает ветра, облаков, тумана, дождя, инея, росы, снега, словом, всего того, что составляет погоду на Земле. Там нет не только озер, рек и ручьев, но и абсолютно никаких следов какой-либо влаги.

Лунное море будет казаться обширной однообразной равниной, повсюду покрытой почти черной ноздревато-



пузыристой коркой, строением своим напоминающей губку. Кое-где, быть может, будут видны невысокие пологие холмы, покрытые все той же темной коркой.

Корка эта — результат обработки поверхности лунных скал ударами метеоритов. Вглядевшись внимательнее, астронавты увидят вокруг себя эту непрерывную работу экзотических сил. То тут, то там будут сверкать огненные точки. Это — вспышки микрометеоритов, непрерывным дождем осыпающих лунную поверхность и продолжающих свою работу по ее перепахиванию. Согласно данным о микрометеоритах, полученным с помощью высотных ракет и искусственных спутников Земли, частота столкновений микрометеоритов с Луной должна составлять один удар на квадратный сантиметр в минуту.

Время от времени происходит падение крупного метеорита, сопровождающееся сильным взрывом, яркой огненной вспышкой, образованием большого облака раскаленного пара—вещества испарившихся камней и скал. Но пар быстро остывает, оседает вниз и, слипаясь в темный шлак, порождает все ту же ноздреватую темно-коричневую корку.

В горных районах Луны ландшафт живописнее. Тут можно встретить громадные утесы, изломанные скалы, разбитые трещинами крутые горные склоны, почти отвесные обрывы. Но и здесь в результате непрерывной обработки метеорными частицами разных размеров, вся местность тоже покрыта однообразной губчатой коркой, правда, менее темной, чем на морях.

Вся эта темная ноздреватая поверхность гор и равнин на протяжении лунного дня, продолжающегося 14,8 наших суток (половина синодического месяца), непрерывно освещается Солнцем и потому сильно нагревается. Как мы знаем, в тех местах, где Солнце стоит в зените, температура поверхности доходит до  $+130^{\circ}$ . Но это относится только к тонкому наружному слою. Губчатый покров метеорного шлака является превосходным теплоизолятором и не пропускает солнечное тепло в глубину. Поэтому уже на глубине в несколько дециметров это дневное нагревание почти не сказывается.

Но вот Солнце зашло и наступила ночь. Тонкий слой прогретого за день вещества быстро излучает тепло в окружающее пространство, и температура его стремительно понижается. На протяжении двухнедельной лунной ночи она падает до  $150^{\circ}$  мороза, а может быть, и ниже.

Но если мир Луны столь безрадостен и столь мало приспособлен для обитания человека, то зачем туда стремиться, да и как там существовать даже участникам кратковременной экспедиции?

Конечно, трудностей в этом деле встретится много. Например, высаживаться на лунную поверхность можно будет только в скафандрах — специальных герметических костюмах, напоминающих водолазные. Такое одеяние должно полностью охватывать все тело и содержать в себе запас воздуха не только для дыхания человека, но и для поддержания необходимого давления по всей поверхности его кожи. Кислород будет быстро расходоваться за счет дыхания, и, значит, надлежащий запас его необходимо нести на себе, например, в ранце, наполненном сжиженным газом.

Окраска костюма тоже имеет очень большое значение. Поскольку нет атмосферы, нет и температуры среды, ибо безвоздушное пространство не имеет никакой температуры, если последнюю понимать в обычном смысле, т. е. как выражение скорости движения молекул вещества. Поэтому температура поверхности фигуры человека будет определяться соотношением между поглощением солнечных лучей и интенсивностью испускания тепла в окружающее пространство. При одной окраске костюм может так нагреться, что заключенный в нем человек заживо испечется, при другой окраске он так остынет, что человек замерзнет. На ночной стороне Луны опасность всегда будет представлять холод и потому придется устраивать какой-то искусственный обогрев.

Однако защита от безвоздушного пространства и от неблагоприятной температуры — еще не главные трудности. Гораздо сложнее защитить человека от метеоритов, способных пробить его скафандр, и особенно от вредных излучений, в первую очередь — от космических лучей. Как это сделать — пока неясно.

Однако есть одно обстоятельство, которое облегчает решение таких задач. Это — малая сила тяжести на Луне. Вес всякого предмета там в 6 раз меньше, чем на Земле. Поэтому на Луне человек сможет нести на себе довольно тяжелый груз, так что можно будет применить такие приборы и приспособления, воспользоваться которыми на Земле было бы невозможно из-за большого веса.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### СПИСОК ЛУННЫХ МОРЕЙ

(номера соответствуют числам на рис. 24, стр. 73)

1. Море Гумбольдта	Mare Humboldtianum
2. Краевое Море	Mare Marginis
3. Южное Море	Mare Australe
4. Море Кризисов (Опасностей)	Mare Crisium
5а. Море Волн	Mare Undarum
5б. Море Пены	Mare Spumans
6. Море Изобилия	Mare Foecunditatis
7. Море Спокойствия	Mare Tranquillitatis
8. Болото Сонное	Palus Somnii
9. Море Нектара	Mare Nectaris
10. Море Ясности	Mare Serenitatis
11. Озеро Смерти	Lacus Mortis
12. Озеро Сновидений	Lacus Somniorum
13. Море Холода	Mare Frigoris
14. Море Паров	Mare Vaporum
15. Залив Зноя (Волнений)	Sinus Aestuum
16. Залив Срединный	Sinus Medium
17. Болото Гнилое	Palus Putredinis
18. Болото Туманное	Palus Nebularum
19. Море Дождей	Mare Imbrium
20. Залив Радуги	Sinus Iridum
21. Океан Бурь	Oceanus Procellarum
22. Залив Росы	Sinus Roris
23. Море Облаков	Mare Nubium
24. Море Влажности	Mare Humorum
25. Море Смита	Mare Smythii
26. Море Новое	Mare Novum
27. Море Восточное	Mare Orientalis

### СПИСОК ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

А. В порядке обозначения на карте, приложенной к книге

1. Ньютон	4. Манзин	7. Казат
2. Шорт	5. Морет	8. Клапрот
3. Симпелий	6. Грумберггер	9. Вильсон

10. Кирхер	64. Гезиод	118. Реомюр
11. Бетгин	65. Меркатор	119. Гиппарх
12. Бланкан	66. Вителло	120. Летрон
13. Клавий	67. Фурье	121. Билли
14. Шейнер	68. Лагранж	122. Фонтана
15. Цухий	69. Виета	123. Ганстин
16. Сегнер	70. Доппельмайер	124. Дамуазо
17. Бэкон	71. Кампан	125. Гримальди
18. Неарх	72. Кис	126. Флемстид
19. Влакк	73. Пурбах	127. Ландсберг
20. Гоммель	74. Лакайль	128. Местинг
21. Лицет	75. Плейфер	129. Деламбр
22. Магин	76. Азофи	130. Тейлор
23. Лонгомонтан	77. Сакробоско	131. Мессье
24. Шиллер	78. Фракастор	132. Маскелайн
25. Фоциклид	79. Сантбек	133. Сабин
26. Варгентин	80. Петавий	134. Риттер
27. Ингирами	81. В. Гумбольдт	135. Годин
28. Шиккард	82. Полибий	136. Зоммеринг
29. Вильгельм	83. Гебер	137. Шретер
30. Тихо	84. Арзахель	138. Гамбар
31. Соссюр	85. Фебит	139. Рейнгольд
32. Штефлер	86. Буллиальд	140. Энке
33. Мавролик	87. Гиппал	141. Гевелий
34. Бароций	88. Кавендиш	142. Риччиоли
35. Фабриций	89. Мерсенн	143. Лорман
36. Меций	90. Гассенди	144. Кавалерий
37. Фернелий	91. Любинецкий	145. Рейнер
38. Гейнзий	92. Альпетрагий	146. Кеплер
39. Гайнцель	93. Эри	147. Коперник
40. Бувар	94. Альманун	148. Стадий
41. Пиаци	95. Катарина	149. Паллас
42. Рамсен	96. Кирилл	150. Триснеккер
43. Капуан	97. Феофил	151. Агриппа
44. Цих	98. Колумб	152. Араго
45. Вурпельбауер	99. Венделин	153. Тарунций
46. Гаурик	100. Лангрэн	154. Аполлоний
47. Гелл	101. Гоклен	155. Шуберт
48. Вальтер	102. Гуттенберг	156. Фирминик
49. Ноннус	103. Исидор	157. Зильбершлаг
50. Риччи	104. Капелла	158. Гигин
51. Рейта	105. Кант	159. Укерт
52. Фурнерий	106. Декарт	160. Боскович
53. Стевин	107. Абульфеда	161. Росс
54. Газе	108. Парро	162. Прокл
55. Снеллий	109. Альбатегний	163. Пикар
56. Борда	110. Альфонс	164. Кондорсе
57. Неандр	111. Птолемей	165. Литтров
58. Пикколомини	112. Гершель	166. Менелай
59. Понтан	113. Дэви	167. Манилий
60. Пуассон	114. Герике	168. Эратосфен
61. Альяцен	115. Пэрри	169. Гей-Люссак
62. Вернер	116. Бонплан	170. Майер
63. Питат	117. Лаланд	171. Марий

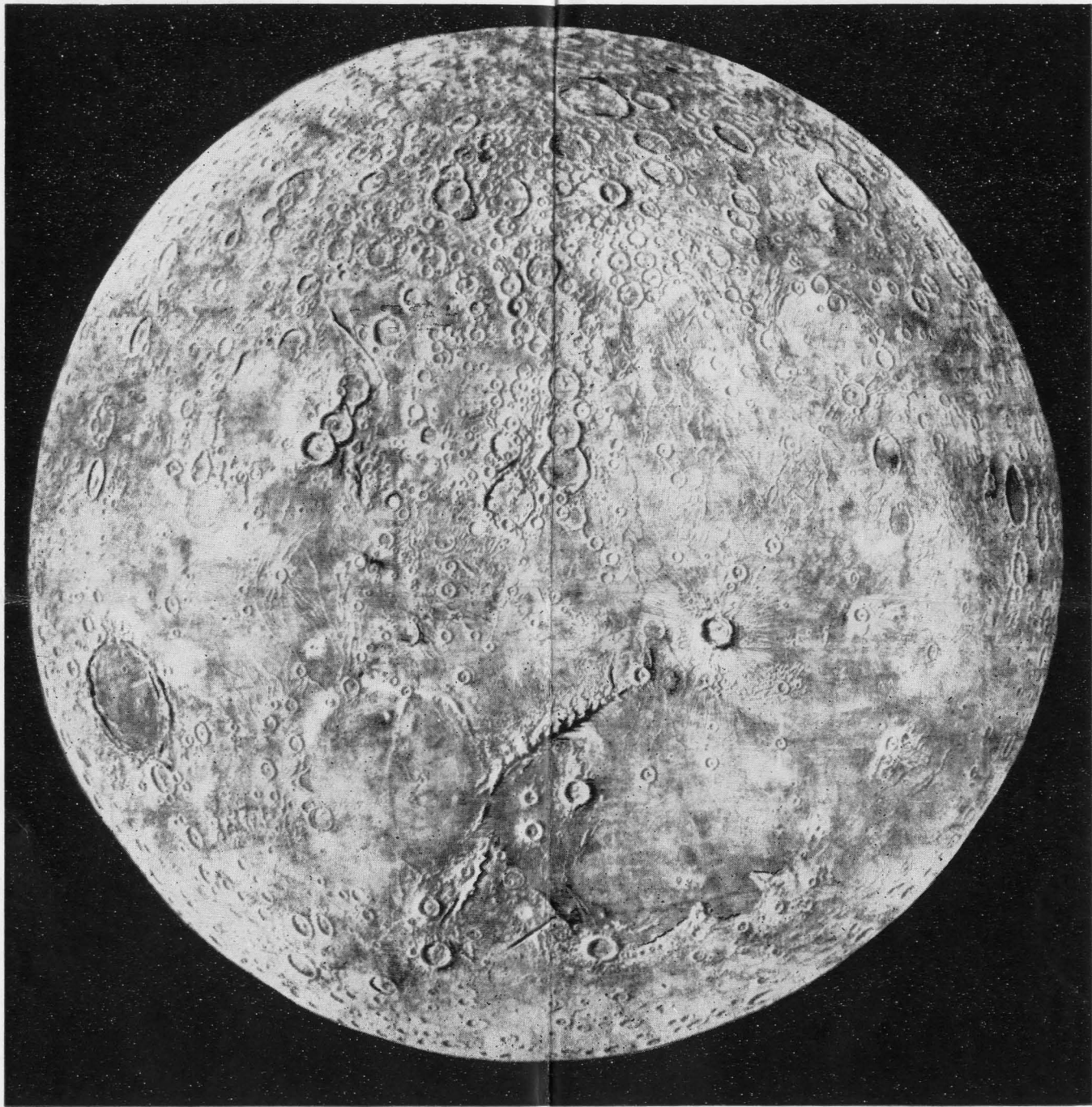
172. Ольберс	192. Тимохарис	212. Геликон
173. Васко да Гама	193. Ламберт	213. Мопертюн
174. Селевк	194. Диофант	214. Кондамин
175. Геродот	195. Делиль	215. Бианчини
176. Аристарх	196. Бригг	216. Шарп
177. Ла Гир	197. Лихтенберг	217. Майран
178. Пифей	198. Фетат	218. Жерар
179. Бессель	199. Аристилл	219. Репсольд
180. Витрувий	200. Кассини	220. Пифагор
181. Маральди	201. Гаусс	221. Фонтенель
182. Макробий	202. Мессала	222. Тимей
183. Клеомед	203. Эрстед	223. Эпиген
184. Ремер	204. Мазон	224. Гертнер
185. Плиний	205. Плана	225. Фалес
186. Посидоний	206. Бург	226. Страбон
187. Гемин	207. Бэйли	227. Эндимион
188. Линней	208. Эвдокс	228. Атлас
189. Автолик	209. Аристотель	229. Геркулес
190. Калипп	210. Платон	
191. Архимед	211. Пико	

**Б. В алфавитном порядке латинских названий**

Abulfeda	Абульфед	107	Bouvard	Бувар	40
Agrippa	Агриппа	151	Briggs	Бригг	196
Airy	Эри	93	Bullialdus	Буллиальд	86
Albategnius	Альбатегний	109	Bürg	Бург	206
Aliacensis	Альяцен	61	Calippus	Калипп	190
Almanon	Альманун	94	Campanus	Кампан	71
Alpetragius	Альпетрагий	92	Capella	Капелла	104
Alphons	Альфонс	110	Capuanus	Капуан	43
Arianus	Ариан	62a	Casatus	Казат	7
Apollonius	Аполлоний	154	Cassini	Кассини	200
Arago	Араго	152	Catharina	Катарина	95
Archimedes	Архимед	191	Cavalierius	Кавалерий	144
Aristarchus	Аристарх	176	Cavendish	Кавендиш	88
Aristillus	Аристилл	199	Cichus	Цих	44
Aristoteles	Аристотель	209	Clavius	Клавий	13
Arzachel	Арзахель	84	Cleomedes	Клеомед	183
Atlas	Атлас	228	Colombo	Колумб	98
Autolycus	Автолик	189	Condamine	Кондамин	214
Azophi	Азофи	76	Condorcet	Кондорсе	164
Bacon	Бэкон	17	Copernicus	Коперник	147
Baily	Бэйли	207	Cyrillus	Кирилл	96
Barocius	Бароций	34	Damoiseau	Дамуазо	124
Bessel	Бессель	179	Davy	Дэви	113
Bettinus	Беттин	11	Delambre	Деламбр	129
Bianchini	Бианчини	215	Delisle	Делиль	195
Billy	Билли	121	Descartes	Декарт	106
Blancanus	Бланкан	12	Diophantus	Диофант	194
Bonpland	Бонплан	116	Doppelmayr	Доппель-майер	70
Borda	Борда	56	Enke	Энке	140
Boscovich	Боскович	160			

Endymion	Эндимион	227	Lambert	Ламберт	193
Epigenes	Эпиген	223	Landsberg	Ландсберг	127
Eratosthenes	Эротосфен	168	Langrenus	Лангрен	100
Ersted	Эрстед	203	Letronne	Летрон	120
Eudoxus	Эвдокс	208	Licetus	Лицет	21
Fabricius	Фабриций	35	Lichtenberg	Лихтенберг	197
Fernelius	Фернелий	37	Linné	Линней	188
Firminicus	Фирминик	156	Littrow	Литтров	165
Flamsteed	Флемстид	126	Lohrmann	Лорман	143
Fontana	Фонтана	122	Longomontanus	Лонгомонтан	23
Fontenelle	Фонтенель	221	Lubiniezky	Любинецкий	91
Fourier	Фурье	67	Macrobius	Макробий	182
Fracastor	Фракастор	78	Maginus	Магин	22
Furnerius	Фурнерий	52	Mairan	Майран	217
Gambart	Гамбар	138	Manilius	Манилий	167
Görtner	Гертнер	224	Manzinus	Манзин	4
Gassendi	Гассенди	90	Maraldi	Маральди	181
Gauricus	Гаурик	46	Maraldi	Маральди	181
Gauss	Гаусс	201	Marius	Марий	171
Gay-Lussac	Гей-Люссак	169	Maskelyne	Маскелайн	132
Geber	Гебер	83	Mason	Мазон	204
Geminus	Гемин	187	Maupertuis	Мопертюн	213
Gérard	Жерар	218	Maurolycus	Мавролик	33
Goclenius	Гоклен	101	Menelaus	Менелай	166
Godin	Годин	135	Mercator	Меркатор	65
Grimaldi	Гримальди	125	Mersenne	Мерсенн	89
Gruemberger	Грумбергер	6	Messala	Мессала	202
Guerike	Герике	114	Messier	Мессье	131
Guttenberg	Гуттенберг	102	Metius	Меций	36
Hainzel	Гайнцель	39	Moretus	Морет	5
Hansteen	Ганстин	123	Moesting	Местинг	128
Hase	Газе	54	Neander	Неандр	57
Heinsius	Гейнзий	38	Nearchus	Неарх	18
Helicon	Геликон	212	Newton	Ньютон	1
Hell	Гелл	47	Nonius	Нониус	49
Hercules	Геркулес	229	Olbers	Ольберс	172
Herodot	Геродот	175	Pallas	Паллас	149
Herschel	Гершель	112	Parrot	Парро	108
Hesiodus	Гезиод	64	Petavius	Петавий	80
Hevelius	Гевелий	141	Phocyclides	Фоциклид	25
Hippalus	Гиппал	87	Piazzi	Пиаци	41
Hommel	Гоммель	20	Picard	Пикар	163
Hyginus	Гигин	158	Piccolomini	Пикколомини	58
Inghirami	Ингирами	27	Pico	Пико	211
Isidorus	Исидор	103	Pitatus	Питат	63
Kant	Кант	105	Plana	Плана	205
Kepler	Кеплер	146	Plato	Платон	210
Kies	Кис	72	Playfair	Плейфер	75
Kircher	Кирхер	10	Plinius	Плиний	185
Klaproth	Клапрот	8	Poisson	Пуассон	60
Lacaille	Лакайль	74	Polybius	Полибий	82
Lagrange	Лагранж	68	Pontanus	Понтон	59
La Hire	Ла Гир	177	Posidonius	Посидоний	186
La Lande	Лаланд	117			

Proclus	Прокл	162	Soemmering	Зоммеринг	136
PtoJemaeus	Птолемей	111	Stadius	Стадий	148
Purbach	Пурбах	73	Stevinus	Стевин	53
Pythagoras	Пифагор	220	Stoefler	Штефлер	32
Pytheas	Пифей	178	Strabon	Страбон	226
Ramsden	Рамсден	42	Taruntius	Тарунций	153
Reaumur	Реомюр	118	Thales	Тейлор	130
Reiner	Рейнер	145	Thales	Фалес	225
Reinhold	Рейнгольд	139	Thebit	Фебит	85
Repsold	Репсольд	219	Theophilus	Феофил	97
Rheita	Рейта	51	Timaeus	Тимей	222
Riccioli	Риччиоли	142	Timocharis	Тимохарис	192
Ricci	Риччи	50	T. Mayer	Маьер	170
Ritter	Риттер	134	Triesnecker	Триснеккер	150
Roemer	Ремер	184	Tycho	Тихо	30
Ross	Росс	161	Ukert	Укерт	159
Sabina	Сабин	133	Vasco de	Васко да	
Sacrobosco	Сакробоско	77	Gama	Гама	173
Santbech	Сантбек	79	Vendelinus	Венделин	99
Saussure	Соссюр	31	Vieta	Виета	69
Scheiner	Шейнер	14	Vitello	Вителло	66
Schickard	Шиккард	28	Vitruvius	Витрувий	180
Schiller	Шиллер	24	Vlacq	Влакк	19
Schröter	Шретер	137	Walter	Вальтер	48
Schubert	Шуберт	155	Wargentiu	Варгентин	26
Segner	Сегнер	16	Werner	Вернер	62
Seleucus	Селевк	174	Wilhelm	В. Гум-	
Sharp	Шарп	216	Humboldt	больдт	81
Short	Шорт	2	Wilhelm	Вильгельм	29
Silberschlag	Зильбер- шлаг	157	Wilson	Вильсон	9
Simpelius	Симпелий	3	Wurzelbauer	Вурцель- бауер	45
Snelius	Снеллий	55	Zuchius	Цухий	15



Рельефная карта Луны.