

СОЛНЕЧНОЕ
ЗАТМЕНИЕ
31 июля 1981 года
И ЕГО
НАБЛЮДЕНИЕ

**СОЛНЕЧНОЕ
ЗАТМЕНИЕ
31 июля 1981 года
И ЕГО
НАБЛЮДЕНИЕ**

Под редакцией
академика **А. А. МИХАЙЛОВА**



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1980

22.652

С 60

УДК 521.82

С 60 Солнечное затмение 31 июля 1981 г. и его наблюдение / Под ред. акад. А. А. Михайлова. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980.— 160 с.— 30 к.

Книга посвящена предстоящему полному солнечному затмению, которое будет наблюдаться на территории СССР. В начале ее рассказывается о физической природе Солнца и Луны, о движениях Земли вокруг Солнца и Луны вокруг Земли, о причинах затмений. Затем подробно описываются обстоятельства затмения для разных пунктов нашей страны, приводится карта затмения. В заключительных разделах разъясняются методы любительских наблюдений солнечного затмения. Изложение доступно для лиц со средним образованием, а большая часть книги — для лиц с неполным средним образованием.

Для школьников старших классов, участников астрономических кружков, преподавателей и широкого круга лиц, интересующихся явлениями природы.

С $\frac{20604-100}{053(02)-80}$ 204-80. 1705050000

ББК 22.652
526

Scan © ANL, 2022

С $\frac{20604-100}{053(01)-80}$ 204-80. 1705050000

© Издательство «Наука».
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1980

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
1. Физическая природа Солнца (<i>Э. В. Кононович</i>)	7
2. Движение Земли вокруг Солнца (<i>М. М. Дагаев</i>)	28
3. Физическая природа, движение и фазы Луны (<i>М. М. Дагаев</i>)	38
4. Солнечные затмения и условия их наступления (<i>М. М. Дагаев</i>)	58
5. Научные задачи наблюдений солнечных затмений (<i>М. М. Дагаев</i>)	74
6. Обстоятельства и карта солнечного затмения 31 июля 1981 г. (<i>Л. И. Румянцева</i>)	80
7. Полоса полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. (<i>Л. И. Румянцева</i>)	108
8. Любительские наблюдения солнечного затмения (<i>В. А. Бронштэн и М. М. Дагаев</i>)	115
9. Вычисление горизонтальных координат Солнца (<i>М. М. Дагаев</i>)	151
П р и л о ж е н и е. Адреса наиболее крупных отделений Всесоюзного астрономо-геодезического общества при Академии наук СССР	159

ПРЕДИСЛОВИЕ

День 31 июля 1981 г. надолго останется в памяти многих жителей Советского Союза. В этот день на территории нашей страны произойдет величественное и сравнительно редкое явление природы — полное солнечное затмение: Луна, проходя между Землей и Солнцем, полностью заслонит его от тех мест земной поверхности, по которым промчится лунная тень.

Полное солнечное затмение будет видно в узкой полосе, проходящей от побережья Грузии через Северный Кавказ, Казахстан и Южную Сибирь до восточных границ Советского Союза. На разных участках этой полосы длительность полного солнечного затмения будет различной, но даже в местностях, оказавшихся в середине лунной тени, не превысит 125 секунд. Свой путь длиной в 8250 км от побережья Грузии до Курильских островов лунная тень пробежит за 122 минуты, при средней скорости в 1,13 км/с.

По обе стороны, к северу и югу от полосы полного затмения, на всей территории СССР, кроме самых западных ее районов, солнечное затмение будет частным, т. е. Луна закроет Солнце не полностью.

Для лиц, не предупреденных о предстоящем солнечном затмении, частное затмение небольшой фазы проходит незамеченным, так как при нем ослабления солнечного света почти не происходит. Полное же солнечное затмение поражает внезапно наступившей в дневное время темнотой, необычным видом вместо Солнца темного диска, окруженного короной, и появлением на потемневшем небе наиболее ярких звезд. Поэтому оповещение населения страны о предстоящем 31 июля 1981 г. солнечном затмении не только желательно, но и необходимо, чтобы такое впечатляющее явление не оказалось внезапным, и к его наблюдениям можно было бы подготовиться заранее.

Среди населения СССР имеется много любителей астрономии, которые имеют возможность провести научные наблюдения солнечного затмения доступными им способами с использованием небольшого по размерам и простого по устройству астрономического оборудования. Но для этого, естественно, нужно поставить перед ними определенные научные задачи и разъяснить способы их выполнения. Этим и объясняется, что в предлагаемой книге содержится не только разъяснение причин и условий видимости солнечных затмений, но подробно изложены обстоятельства предстоящего затмения, а также рекомендации к проведению его любительских наблюдений. Весьма желательно, чтобы несложные по выполнению наблюдения солнечного затмения были проведены возможно большим числом любителей астрономии и их коллективами. Это тем более необходимо, что полное солнечное затмение 31 июля 1981 г. будет в XX в. последним, полоса которого на территории СССР имеет наибольшую протяженность и проходит по благоприятным для наблюдений районам. При очередных солнечных затмениях 22 июля 1990 г. и 9 марта 1997 г. путь лунной тени по территории СССР будет значительно короче и пройдет по малонаселенным местностям.

Так как территория Советского Союза имеет большую протяженность, то в местностях, расположенных значительно восточнее Москвы, принятое там местное время отличается от декретного московского времени на определенное целое число часов. Поэтому солнечное затмение в разных местностях будет происходить в различное время суток. На побережье Грузии полное затмение начнется утром, при восходе Солнца, в Амурской области — вблизи полудня, а на Сахалине — уже после полудня, в 15 ч. Во избежание ошибок при определении моментов начала и конца затмения, все эти моменты приведены в данной книге по московскому времени. Чтобы найти те же моменты по местному времени какого-либо часового пояса, достаточно к указанным моментам прибавить целое число часов, на которое время данного пояса отличается от московского. Так, например, в Братске это различие составляет 5 часов, и там полное солнечное затмение начнется в $5^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}}$ по московскому времени, или в $10^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}}$ по местному времени.

При подготовке к наблюдениям полного солнечного затмения необходимо ограничиться только теми задачами, которые посильны наблюдателям или их коллективам,

и не ставить перед собой задач, невыполнимых за короткую длительность этого явления, составляющую в разных местностях от нескольких секунд до двух минут. Поэтому при выборе задач наблюдений нужно прежде всего уточнить по обстоятельствам и по карте затмения его продолжительность в той местности, где будут проводиться наблюдения.

Безусловным долгом любителей астрономии является также разъяснение широким слоям населения причин и времени предстоящего солнечного затмения, а во время самого затмения — демонстрации его хода населению.

Всесоюзное астрономо-геодезическое общество при Академии наук СССР надеется, что выпуск в свет этой небольшой книги поможет любителям астрономии внести полезный вклад в науку как непосредственными наблюдениями солнечного затмения, так и разъяснением его причин в лекционной пропаганде.

1. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА СОЛНЦА

Солнце — центральное тело нашей планетной системы (рис. 1). Вокруг него обращаются девять больших планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон) и множество малых планет — астероидов. Поперечник Солнца — около 1,4 млн. км., а расстояние от него до Земли чуть меньше 150 млн. км.

Хорошо известно, какую важную роль Солнце играет для Земли, формирования ее атмосферы, создания условий, необходимых для существования на ней жизни. Неудивительно поэтому, что исследования Солнца крайне необходимы для астрономов и геофизиков, биологов и врачей, для нужд техники и народного хозяйства.

Солнце — единственная звезда, находящаяся буквально рядом с нами, а звезды — это тигантские космические лаборатории, исследование процессов в которых обогащает современную науку. Однако чрезвычайная удаленность звезд от нас затрудняет их изучение. Тем важнее роль Солнца, которое мы можем, выражаясь фигурально, «пощупать руками».

Первый вопрос, который возникает у исследователя Солнца: из чего оно состоит?

На основании спектрального анализа на Солнце обнаружено свыше 70 известных на Земле химических элементов примерно в тех же относительных количествах, что и на многих других звездах. Преобладающим элементом является водород (около 70% массы), на втором месте — гелий, число атомов которого примерно в 10 раз меньше числа атомов водорода. Более тяжелых элементов еще меньше. Например, число атомов кислорода, углерода и азота почти в 1000 раз, а атомов металлов — в 10 000 раз меньше, чем атомов водорода. Почти все атомы металлов во внешних слоях Солнца ионизованы, т. е. лишены одного или

нескольких своих электронов. В отличие от обычных, электрически нейтральных атомов, ионы имеют положительный электрический заряд. Ионизованные атомы, свободные электроны и оставшиеся нейтральные атомы вме-

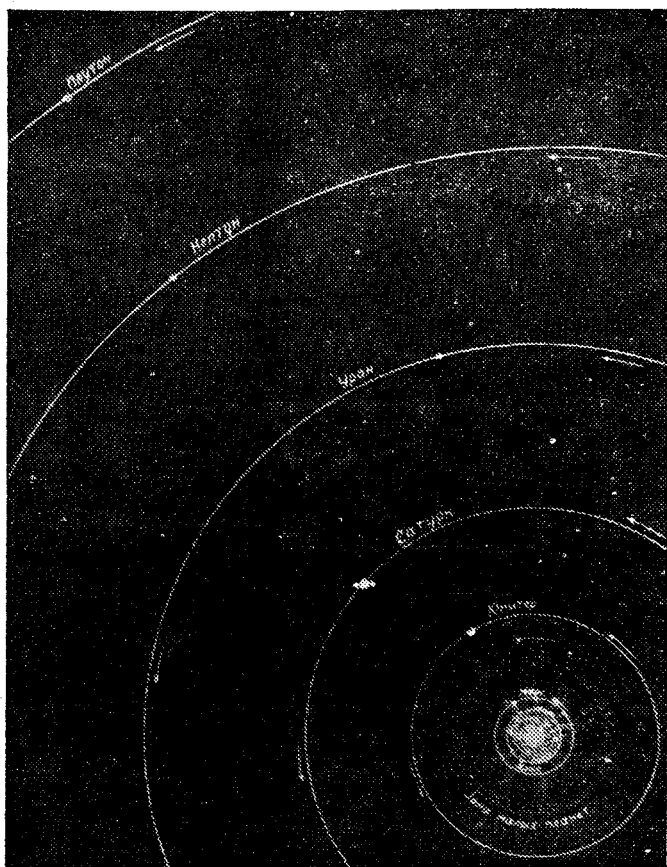


Рис. 1. Планетная система.

сте с фотонами в целом составляют электрически нейтральную плазму. Солнце как раз и состоит из такой плазмы.

Подобно большинству звезд Солнце находится в устойчивом состоянии или, как говорят, в равновесии: на любой глубине внутри него сила тяжести уравновешена суммар-

ным давлением газа со всех сторон. Плотность плазмы в недрах звезды распределяется так, что всюду выполняется это условие механического равновесия. Кроме того, должно иметь место равенство количества приходящей и уходящей энергии. Это условие определяет распределение температуры по глубине.

Температура наружных слоев Солнца близка к 6000 К (кельвинов), а в центре, согласно расчетам, около $13 \cdot 10^6$ К. Во внешних слоях плотность плазмы такая же, как в земной атмосфере на высотах 80—90 км, т. е. близка к 10^{-7} г/см³, а в центре — в 13 раз выше, чем у свинца, и порядка 130 г/см³. Давление при этом достигает двухсот миллиардов атмосфер. При таких условиях в недрах Солнца самопроизвольно происходят термоядерные реакции превращения водорода в гелий, в результате которых увеличивается энергия частиц, а также излучаются мощные гамма- и рентгеновские лучи.

В основном в недрах Солнца происходит реакция, называемая протон-протонной, потому что она начинается с тесного сближения (столкновения) двух ядер водорода. Преодолев силы отталкивания одноименных электрических зарядов, они попадают в область действия ядерных сил и образуют ядро атома тяжелого водорода — дейтерия. «Лишний» заряд при этом уносит позитрон, а энергию — нейтрино. Затем дейтерий реагирует еще с одним протоном, образуя, с испусканием гамма-кванта, легкий изотоп гелия, после чего одним из нескольких способов может образоваться ядро обычного гелия. Помимо тепловой энергии и мощных квантов, важным итогом этих реакций является образование нейтрино. В течение последних двух десятилетий ведутся трудоемкие эксперименты по регистрации нейтрино, которые, наконец, начинают давать успешные результаты, подтверждающие правильность наших представлений о внутреннем строении Солнца.

Замечательной особенностью происходящего в звездах процесса энерговыделения является саморегулируемость. Она обусловлена тем, что фактически у звезды есть два источника энергии: термоядерный, мощность которого очень быстро растет с увеличением температуры, и гравитационный, «включающийся» при сжатии звезды. Поэтому звезда не может начать остывать, так как остывание сопровождается сжатием и разогревом звезды, что поддерживает температурную ее «печку» точно на таком уровне, какой требуется для равновесия.

Термоядерная энергия выделяется только в самой центральной области Солнца, где температура превышает 10 млн. градусов. Эту область часто называют ядром Солнца (рис. 2). Его поперечник не превышает четверти солнечного. В окружающем ядро веществе Солнца энергия не

возникает. Она только передается от атома к атому, от слоя к слою и постепенно «просачивается» во внешние слои. В целом энергия, выделившаяся в ядре, непрерывным потоком проходит через всё Солнце. Это значит, что какой бы объем вещества мы ни выделили, он излучает столько же энергии, сколько сам поглощает. Иными словами, имеет место равновесие поглощаемой и излучаемой энергии (лучистое равновесие). Такое равновесие имеет место во всех слоях Солнца, окружающих ядро и называемых лучистой зоной.

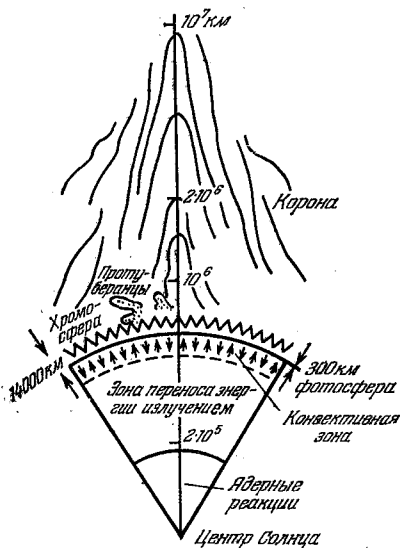


Рис. 2. Схема строения Солнца и его атмосферы.

Исключением являются лишь самые внешние слои Солнца, протяженностью около 1/4 солнечного радиуса. В них процессы последовательного поглощения и излучения оказываются недостаточно эффективными, чтобы перенести всю ту энергию, поток которой идет от центра. Причина та, что вещество с уменьшением температуры в наружных слоях становится сильно непрозрачным, а отдельные массы более горячего газа приобретают способность легко всплывать и тем самым более эффективно переносить энергию. Процесс этот аналогичен кипению воды в сосуде, подогреваемом снизу; он называется конвекцией, а весь слой — конвективной зоной.

Конвективная зона, как мы увидим дальше, играет огромную роль для всего Солнца. С нею тесно связаны физические свойства верхних слоев солнечной атмосферы,

она определяет тонкую структуру всех слоев солнечной атмосферы и в конечном счете приводит к возникновению на Солнце сильных магнитных полей и формированию активных областей в его атмосфере.

Квант электромагнитного излучения, возникающий в недрах Солнца в результате какой-либо ядерной реакции, прежде чем достигнуть наружных слоев, испытывает миллиарды поглощений, постоянно переизлучаясь в самых различных направлениях в виде других квантов все меньшей и меньшей энергии. В результате вместо очень мощных рентгеновских и гамма-лучей, рождающихся в ядре Солнца, внешние его слои излучают уже малоэнергичные, главным образом видимые лучи. Любопытно, что на «путешествие» какого-либо кванта из недр Солнца уходят миллионы лет!

По мере удаления от центра Солнца температура его вещества все время уменьшается, поскольку поток излучения, возникший в ядре, распределяется по все большей и большей площади, пропорциональной квадрату соответствующего радиуса. В самых внешних слоях Солнца, где излучение может беспрепятственно уходить из него, температура уменьшается наружу еще быстрее. Конвекция здесь внезапно прекращается, и мы переходим в область, называемую солнечной атмосферой, т.е. в те слои Солнца, которые можно непосредственно увидеть.

Атмосферу Солнца условно можно разделить на три слоя, постепенно переходящие друг в друга (см. рис. 2). Самый глубокий, в котором возникает основная доля излучаемого Солнцем света и тепла, называется фотосферой (по-гречески «сфера света»). Ее-то мы фактически и видим. Вещество фотосферы очень непрозрачно, так как в нем возникают особые атомы водорода, которые имеют по два электрона. (У обычного водородного атома один электрон.) Эти отрицательные ионы водорода легко теряют второй электрон, а потому сильно поглощают кванты видимых и инфракрасных лучей. В итоге слой фотосферы толщиной всего в 300 км оказывается для этих лучей существенно непрозрачным. На краю солнечного диска, где луч зрения проходит сквозь толщу внешних, самых холодных слоев фотосферы, наблюдаемое излучение уменьшается, а потому к краю солнечный диск кажется менее ярким. Это явление называется потемнением диска Солнца к краю. Оно хорошо заметно на рис. 3, который иллюстрирует любопытное свойство солнечных газов; образованный ими

плоский слой излучает неодинаково по разным направлениям: перпендикулярно к слоям излучение максимально а в боковых направлениях уменьшается, причем для видимых лучей примерно вдвое.

Край солнечного диска кажется очень резким, потому что соответствующие ему верхние слои фотосферы — самые холодные на Солнце, их температура «всего лишь»

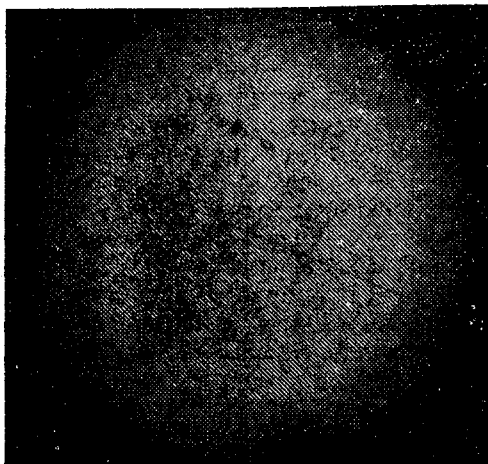


Рис. 3. Общий вид Солнца с пятнами.

около 4300 К! Глубже они, естественно, горячее, и в среднем температура фотосферы около 6000 К, а самые глубокие слои фотосферы имеют температуру 8000—9000 К.

Однако любопытнее всего то, что за видимым краем диска Солнца, т. е. выше фотосферы, температура в его атмосфере снова растет.

Те слои солнечной атмосферы, в которых происходит этот рост температуры (сначала он идет очень медленно, а затем весьма быстро), называются хромосферой, т. е. цветной (окрашенной) сферой. Повод к такому названию дает красновато-фиолетовый или розовый цвет хромосферы, наблюдаемой во время полной фазы солнечного затмения. Причиной этого красивого оттенка является наличие в спектре хромосферы ярких эмиссионных линий. Эти линии внезапно вспыхивают в момент полной фазы затмения, если наблюдать спектр края диска в спектроскоп. Такой

спектр называют спектром вспышки (рис. 4). Самые яркие линии излучения в нем — красная и голубая, принадлежащие водороду, и фиолетовые — ионизованного кальция. Последние линии расположены на границе видимого света и невидимых ультрафиолетовых лучей, так что

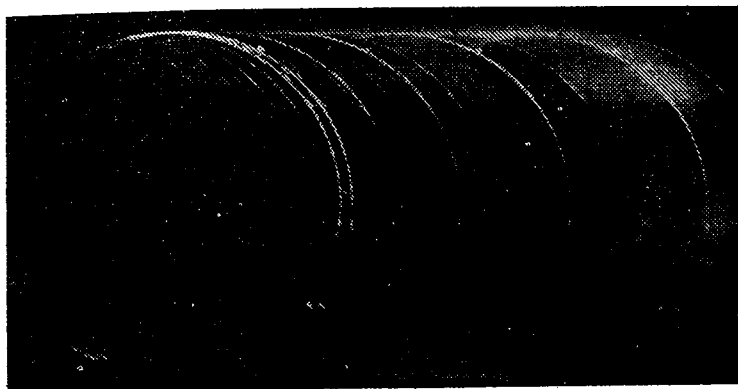


Рис. 4. Фотография хромосферы во время полной фазы солнечного затмения (спектр вспышки).

глаза не всех людей воспринимают их. Сочетание этих спектральных линий и определяет кажущийся цвет хромосферы. Заметим, что в силу только что упомянутой особенности фиолетовых линий различным наблюдателям цвет хромосферы может показаться неодинаковым. Спектр хромосферы усиленно изучают во время полных солнечных затмений, что позволяет получить надежные представления о ее физических свойствах и природе.

Если хромосфера — область быстрого роста температуры, то корона — это протяженная и разреженная самая внешняя оболочка солнечной атмосферы, в которой температура примерно одинакова и принимает такое же значение, как и в глубоких слоях Солнца у основания конвективной зоны, т. е. 1—2 млн. кельвинов.

Теперь можно уточнить сказанное ранее о том, что Солнце состоит из плазмы. При температуре в миллионы градусов газ очень сильно ионизован и от атомов оторваны почти все электроны, а при 4—6 тысячах кельвинов электронов лишены только атомы металлов (число которых

в 10 тысяч раз меньше, чем атомов водорода). Здесь плазма ионизована слабо. Итак, Солнце состоит из очень сильно ионизованной плазмы, внутри которой находится тоненькая «корочка» почти нейтрального газа!

Причина того, что вопреки ожиданиям, начиная с некоторого уровня температура начинает расти во внешних слоях солнечной атмосферы, как полагают в настоящее время, связана с конвективной зоной, непосредственно примыкающей к нижней границе фотосферы.

Заметим, кстати, что фотосфера обладает замечательной ячеистой структурой, которую можно наблюдать в сильный телескоп или сфотографировать при исключительно хороших атмосферных условиях. Кажется, что

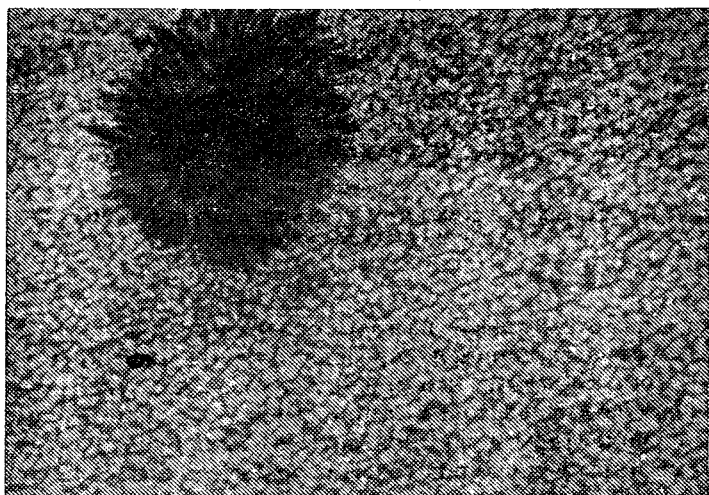


Рис. 5. Фотосферная грануляция и солнечное пятно.

фотосфера как бы состоит из огромного числа мелких, похожих друг на друга кучевых облаков, весьма различных по размерам и формам, но чаще всего имеющих вид многоугольников. Эта структура называется грануляцией (рис. 5).

Особенно интересно приглядеться к темным промежуткам между этими облаками (гранулами), которые нередко образуют длинные дорожки и замысловатые фигуры. Без сомнения, грануляция — следствие происходящей

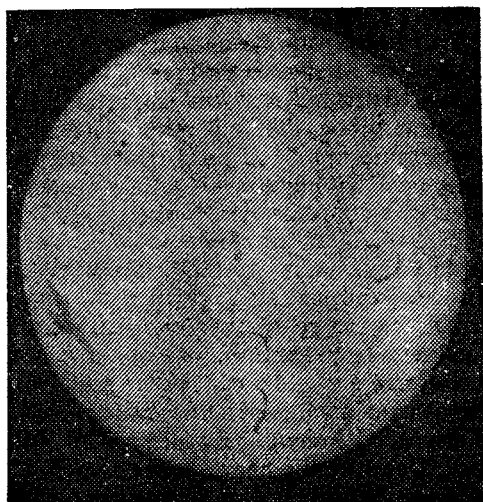


Рис. 6. Фотография солнечной хромосферы в лучах ионизованного кальция (вверху) и водорода (внизу).

непосредственно под фотосферой конвекции. Однако в настоящее время не вполне еще ясно, как эти явления взаимосвязаны.

Таким же следствием конвекции является характерная структура хромосферы. На фотографиях Солнца в лучах водорода или ионов кальция эта структура наблюдается в виде отдельных ячеек, но более крупных (размеры фотосферных гранул около 1000 км, а хромосферных ячеек 30—40 тыс. км). Причина того, что конвективная зона «прорисовывается» в хромосфере, заключается в магнитном поле, которое потоками газов в конвективной зоне «сгребается» к границам конвективных ячеек. Проникая в хромосферу, эти поля увлекают газ к тем же границам, образуя там уплотнения.

Наблюдать структуру хромосферы на диске Солнца труднее, чем структуру фотосферы: для этого надо из всего солнечного спектра при помощи специального светофильтра выделить узкую полоску, соответствующую излучению определенного химического элемента, например, красной спектральной линии водорода. С таким же успехом наблюдают хромосферу и в лучах ионизованного кальция (рис. 6). Эти наблюдения позволяют установить, что хромосфера состоит из множества облаков газа различной температуры и плотности. В нижних слоях хромосферы плотность в миллиард раз меньше, чем у воздуха при нормальном давлении, а в верхних слоях она уменьшается еще в тысячи раз. Температура же в хромосфере растет от нескольких десятков до сотен тысяч кельвинов, достигая в короне 1—2 млн. кельвинов.

Солнечную корону вне затмения наблюдать значительно труднее, чем хромосферу. Поэтому основная задача, которую ставят перед собой астрономы, организуя экспедиции на солнечные затмения, — это исследование короны. Дело в том, что в короне плотность вещества еще в сотни и тысячи раз меньше, чем в хромосфере, и она излучает очень мало света. Солнечная фотосфера в миллионы раз ярче короны. Солнечный свет, рассеянный в земной атмосфере, создает вокруг Солнца яркий ореол, в сотни и тысячи раз более интенсивный, чем корона, и последняя на этом фоне не видна.

Во время затмений удается рассмотреть и сфотографировать исключительно сложную структуру короны (рис. 7). Наиболее крупные и заметные детали — лучи, придающие всему явлению красивый и загадочный вид. У основания

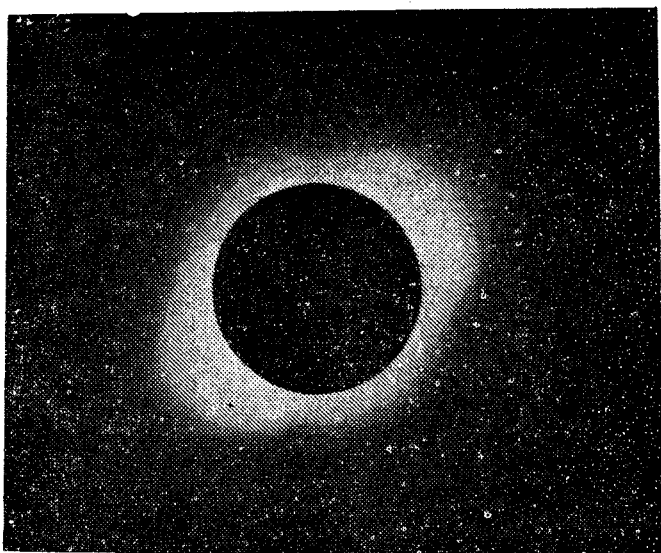
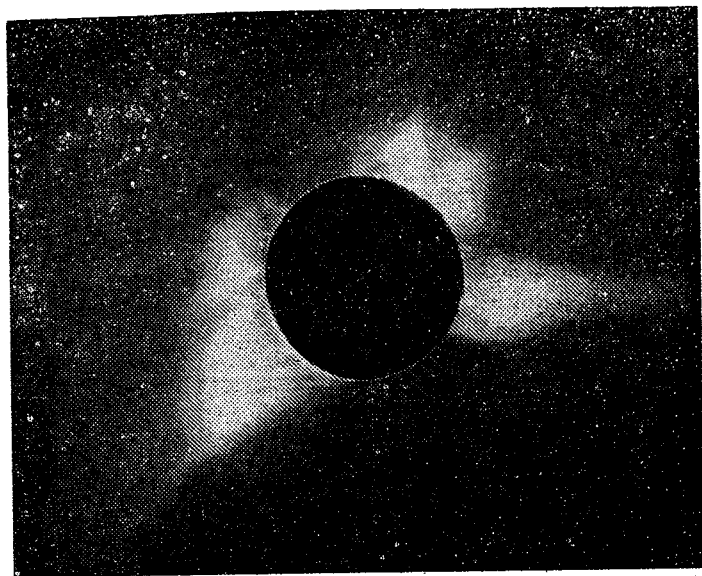


Рис. 7. Солнечная корона в максимуме (вверху) и в минимуме (внизу) солнечных пятен.

короны эти лучи обычно расширяются, а вдали от Солнца они нередко изгибаются и простираются на много солнечных радиусов. Иногда (особенно вблизи полюсов Солнца) лучи бывают прямые и короткие, напоминая как бы щеточки. Структура солнечной короны очень тесно связана с солнечной активностью, а потому мы еще вернемся к ней несколько позже. Однако прежде чем это сделать, необходимо рассказать о том, почему в верхней солнечной атмосфере так сильно увеличивается температура.

В настоящее время полагают, что причина этого явления тесно связана с конвективной зоной, о которой мы говорили выше. Движения газов в конвективной зоне создают возмущения, которые распространяются в плазме в виде волн. Мы привыкли, что в земном воздухе возмущения распространяются в виде звука. В плазме, особенно если она намагничена, помимо звуковых, точнее, магнитозвуковых волн возможны и многие другие, что создает весьма сложную картину, трудно подлежащую излучению.

Проникая в солнечную атмосферу, различные типы волн приводят к периодическим смещениям частиц плазмы на большие расстояния (говорят, что увеличивается амплитуда волн). В этих условиях энергия волны легко переходит в тепловую энергию отдельных частиц газа, в результате чего газ нагревается. С другой стороны, по мере удаления от Солнца плотность его атмосферы сильно уменьшается, а вместе с тем снижается излучательная способность единицы объема газа. Поэтому поступающая от волн тепловая энергия накапливается частицами газа, и в хромосфере и еще больше в короне температура увеличивается.

Температура в солнечной короне растет до тех пор, пока средняя скорость тепловых движений частиц не превысит параболическую (т. е. скорость убегания от Солнца). Для этого надо, чтобы скорости частиц превышали сотни километров в секунду. При температуре в миллион кельвинов водородный атом движется со скоростью около 100 км/с. Скорость значительно более легких и подвижных электронов в десятки раз больше. Поэтому на расстоянии в несколько радиусов Солнца от его центра корона начинает как бы испаряться в окружающее пространство. Однако этот процесс «испарения» имеет очень любопытный динамический характер: по мере удаления от Солнца скорость убегających частиц вначале быстро возрастает д

нескольких сотен километров в секунду, а затем очень медленно начинает убывать. На расстоянии Земли эта скорость обычно превышает 400 км/с, временами увеличиваясь до 700—800 км/с и даже более.

Эта важная особенность внешних частей солнечной короны объясняет ее лучистую форму: лучи — это просто потоки плазмы, движущейся от Солнца.

Жемчужный цвет сияния, который так поражает наблюдателей солнечных затмений, связан с высокой температурой короны: белый цвет этого излучения, очень похожий на цвет Солнца, а также некоторые важные особенности излучения короны (например, спектр и значительная наблюдаемая степень поляризации) свидетельствует о том, что излучение короны — не что иное, как свет Солнца, рассеянный на свободных электронах, движущихся с тепловыми скоростями в плазме наряду с атомами водорода, гелия и других элементов. При высокой температуре часто происходят сильные столкновения частиц, в результате которых от атомов отрываются почти все связанные с ними электроны. При температуре в миллион кельвинов большая часть атомов совсем «ободрана», а принадлежавшие им электроны движутся как свободные частицы. Они и рассеивают свет Солнца, создавая вокруг него жемчужное сияние.

Сильно ионизованный газ прозрачен для видимого излучения и очень слабо сам его создает, так как электроны крайне редко попадают на свои «родные» орбиты в атоме, откуда они излучают обычный свет.

Поэтому корона не мешает нам видеть фотосферу. Однако совсем иная картина получается, если наблюдать Солнце в рентгеновских лучах, которые при высоких температурах излучаются сильно ионизованными атомами, сохранившими немногие свои электроны. За последние годы при помощи космических аппаратов получено большое количество фотографий Солнца в рентгеновских лучах. На этих фотографиях обнаружено множество ярких пятен. Эти пятна — излучение наиболее горячих областей солнечной короны, так что без всякого затмения непосредственно на диске Солнца в рентгеновских лучах можно изучать структуру короны. Она очень сложна и тесно связана с активными областями на Солнце, о которых пойдет речь ниже. Обратим внимание на сильное различие между двумя видами короны, изображенной на рис. 7. Пулковский астроном А. П. Ганский в начале нашего сто-

летия заметил, что наблюдаемая форма короны тесно связана с важной особенностью Солнца: степенью его активности, которая проявляется в периодическом появлении в солнечной атмосфере различных образований, чья необычная красота вознаграждает астрономов, ежедневно наблюдающих Солнце. Количество этих образований меняется с периодом около 11 лет. С такой же периодичностью меняется и форма солнечной короны.

О том, что на Солнце бывают пятна, люди узнали уже очень давно. В древних русских и китайских летописях, а также в хрониках других народов нередко встречались упоминания о наблюдениях пятен на Солнце. Записи помогли подтвердить установленную уже позже (в 1841 г.) закономерность периодического увеличения числа солнечных пятен примерно каждые 11 лет. Когда количество пятен наибольшее, говорят о максимуме солнечной деятельности, или о его активности. В это время на Солнце появляются наиболее крупные пятна, которые при соблюдении мер предосторожности (сквозь густо закопченное стекло или засвеченную негативную фотопленку) можно видеть даже невооруженным глазом как черные точки на ослепительно ярком диске Солнца.

В русских летописях отмечалось, что они были видны «как гвозди». Чтобы заметить такой объект простым глазом, необходимо, чтобы его размер на Солнце был не менее 50—100 тыс. км, что в десятки раз превышает радиус Земли.

Итальянский ученый Галилео Галилей одним из первых заметил, что пятна возникают не всюду на Солнце, а главным образом на средних широтах, в пределах так называемых королевских зон. В начале 11-летнего цикла пятна в небольшом количестве начинают появляться в северном и южном полушариях на сравнительно высоких широтах (30—45°), а затем постепенно зона пятнообразования спускается к экватору, до широт примерно $\pm 10^\circ$ но на самом экваторе, как правило, пятен не бывает. Сначала обычно появляются одиночные пятна, но затем из них возникает целая группа, в которой выделяются два больших пятна — одно на западном, другое — на восточном краю группы. В начале нашего века выяснилось, что во всех пятнах газ намагничен, причем полярность западного и восточного пятен всегда противоположна. Они образуют как бы два полюса одного магнита, а поэтому такую группу пятен называют биполярной.

Галилей, зарисовывая пятна, отмечал вокруг некоторых из них серую каемку полутени. На современных фотографиях (см. рис. 5) видно, что полутени состоят из радиальных волокон, разделенных также радиальными темными промежутками

В XIX в. было замечено, что когда пятно подходит к краю солнечного диска и происходит его перспективное сокращение, круглое пятно становится эллипсом, а полутень сильнее сокращается со стороны, обращенной к центру диска Солнца. Так должно быть, если пятно является углублением, а полутень — наклонные стенки этого углубления, подобные краям тарелки. Это явление называют по имени открывшего его шотландского ученого эффектом Вилсона. Создается впечатление, что более глубокие слои Солнца гораздо холоднее наружных. В свое время это привело к предположению, что у Солнца холодное и твердое ядро. На самом деле впечатление черноты пятен связано с большой контрастностью световых ощущений при больших яркостях. В действительности пятна не такие уж «черные», хотя их яркость и может быть раз в десять меньше, чем яркость окружающей фотосферы. В пересчете на температуру такое соотношение яркостей говорит о том, что пятна на 1—2 тыс. кельвинов холоднее окружающей фотосферы.

Причина этого тесно связана с упоминавшимся сильным магнитным полем в пятне. Это поле, напряженность которого достигает нескольких тысяч эрстед, на большой глубине в области пятна останавливает конвективные движения. Кроме того, оно создает дополнительное к газовому давлению и как бы распирает изнутри газ в пятне, из-за чего плотность вещества в пятне оказывается меньше, чем на той же глубине в фотосфере. Поэтому в пятне мы видим более глубокие слои. Но они одновременно являются и более холодными, так как из-за скованности конвективных движений, обычно выравнивающих температуру на большом интервале глубин, в пятне температура очень быстро уменьшается вверх и наблюдаемые слои, хотя и более глубокие, чем обычная фотосфера, оказываются более холодными и темными.

Излучение солнечной фотосферы, которое удерживается в области пятна, обходит эту область и дает дополнительное свечение газов вокруг пятна. Частично с ним связаны яркие протяженные кольца вокруг пятен, называемые кольцами Секки, а также факелы.

Факелы в белом свете (рис. 8) наблюдаются вокруг пятен, как правило, вблизи края солнечного диска. В центре диска избыточное свечение факелов незаметно и кажется, что к самой границе полутени пятна подступают точ-



Рис. 8. Факелы.

но такие же гранулы, как и в невозмущенных областях солнечной атмосферы. На краю же диска (рис. 8) факелы проступают в виде отдельных гранул, отличающихся большей яркостью, чем обычные фотосферные, и образующих цепочки, сливающиеся в прожилки, которые в целом совпадают с границами ячеек супергрануляции и хромосферной сетки.

То, что наблюдается на краю диска Солнца, видно сбоку по отношению к солнечному радиусу (вертикальное направление на Солнце). Отсюда следует, что факелы — любопытные образования, излучающие подобно морским маякам, преимущественно вбок, но вверх они не дают избытка излучения и потому в центре солнечного диска не видны.

Факельные уплотнения продолжаются в хромосферу, а также, по-видимому, и в корону. Здесь они оказываются слегка горячее короны, окружающей их. Поэтому на спектрогелиограммах в спектральных линиях ионизованного кальция и водорода (см. рис. 6) активные области, содержащие пятна и группы пятен, проступают в виде более ярких площадок, одинаково хорошо заметных на всем диске Солнца. В эпоху максимума солнечной активности эти площадки видны в большом количестве и могут занимать более половины видимой площади диска. Сливаясь, они образуют на диске две широкие полосы, параллельные экватору и совпадающие с королевскими зонами.

В хромосфере эти яркие площадки обычно называют хромосферными факелами, или флоккулами. Они продолжаются и в корону в виде коротких компактных лучей, наблюдаемых в невозмущенных ее областях.

В целом область солнечной атмосферы, занятая какой-либо группой пятен и факелов, называется центром солнечной активности. С ним обычно связаны и другие активные образования на Солнце. Крупнейшие из них, протуберанцы, или выбросы, наблюдаются у краев Солнца в виде больших, часто очень длинных облаков более холодного газа. Протуберанец — это как бы вещество хромосферы, заброшенное в корону и поддерживаемое в ней магнитными полями.

Самая интересная особенность протуберанцев — необычайное многообразие их форм и типов. Одни долгое

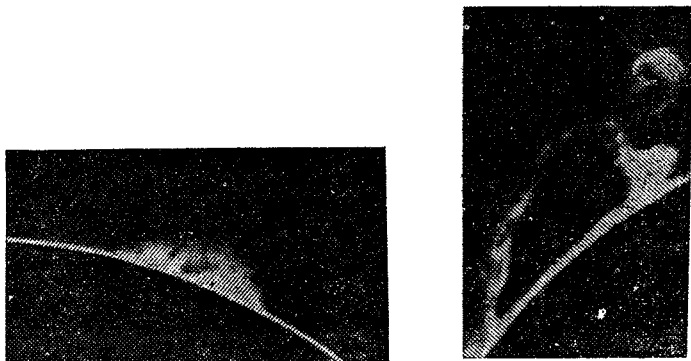


Рис. 9. Протуберанцы: спокойный (слева) и активный (справа).

время неподвижны и сохраняют свою форму, напоминающую стог сена, кусты, забор или водопад. Другие, хотя и сохраняют общий свой вид, явно состоят из сгустков и струй движущейся плазмы. Эти два типа называют соответственно спокойными и активными протуберанцами (рис. 9). Протуберанцы третьего типа — эруптивные или взрывающиеся. Чаще всего это определенная стадия развития протуберанцев первых двух типов. Протуберанец, несколько месяцев просуществовав в виде спокойного, внезапно может взорваться, «улететь» в корону и образовать мощный выброс вещества, которое затем по тем же плавным траекториям возвращается назад. В результате взрыва протуберанец может разлететься во все стороны или, образовав обширную дугу — оболочку, «выдуться» в корону на расстояние целого радиуса Солнца,

как, например, в случае гигантского протуберанца, изображенного на рис. 10.

Физическая природа протуберанцев и движение вещества в них тесно связаны с эволюцией структуры поддерживающих их магнитных полей. Чаще всего протуберанцы либо висят в ложбинах «продавленных» их весом

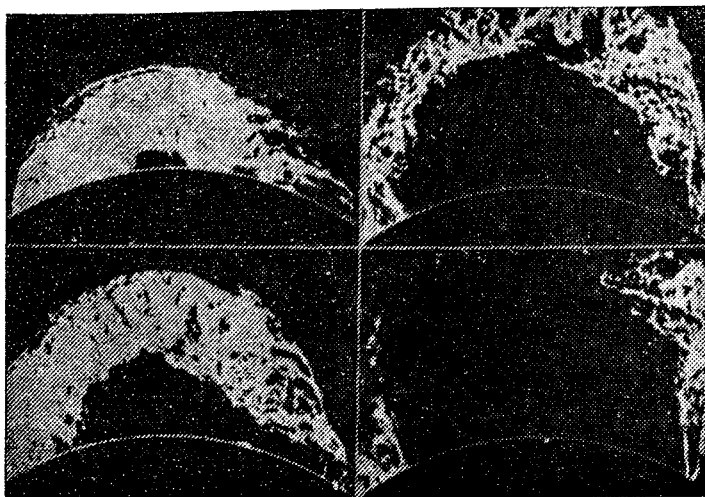


Рис. 10. Стадии развития эруптивного протуберанца.

вершук дуг силовых линий магнитного поля, замыкающих два полюса биполярной группы, либо располагаются между противоположными магнитными полями смежных активных областей.

Если протуберанцы — самые большие по размерам проявления солнечной активности, то по мощности явления первое место занимают солнечные вспышки. Вспышка — это взрыв, во время которого выделяется энергия, превышающая энергию миллиардов атомных бомб. Величина этой энергии измеряется огромными числом 10^{21} — 10^{22} килоджоулей! Все явление происходит за время от одного до нескольких часов на сравнительно небольшой площади, не превышающей размеров поверхности Земли. Первая фаза — возгорание вспышки — происходит всего лишь за 5—10 мин. В это время мощность так велика, что в некоторых, правда, редких случаях, область вспыш

ки становится ярче фотосферы и явление может наблюдаться в белом свете. Именно так впервые и были обнаружены вспышки на Солнце еще в середине прошлого века.

Большинство же вспышек обычно наблюдается в хромосфере в лучах водорода (рис. 11).

Возникновение вспышек также тесно связано с солнечными магнитными полями. Однако здесь играют роль не

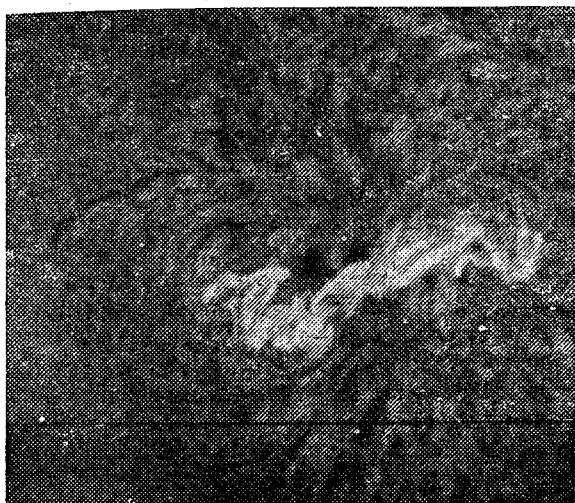


Рис. 11. Солнечная вспышка.

те области, где магнитные поля больше всего способны удерживать газ, а те, где напряженность магнитного поля наименьшая и даже уменьшается до нуля. Это чаще всего происходит в нейтральной зоне, где встречаются сильные противоположно направленные магнитные поля, например, при сближении двух биполярных групп или при зарождении нового центра активности в недрах старого. В этих случаях рядом с нейтральной зоной (или, как говорят, нейтральной линией) имеются очень сильные магнитные поля, оказывающие большое давление на плазму и стремящиеся ее сжать. Однако газовое давление противодействует этому сжатию, хотя только до определенного момента, пока в плазме не возникнет множество различных движущихся сгустков, образующих так называемую плаз-

менную турбулентность. Как только такая турбулентность возникнет, плазма сразу теряет свою электрическую проводимость. Такая плазма не может больше сдерживать натиск окружающих магнитных полей, которые устремляются друг на друга, еще сильнее сжимая газ. При этом происходит важный процесс нейтрализации магнитных полей, когда их энергия превращается в тепло. В сильно ионизованной плазме магнитное поле не может исчезнуть, так как возникающий при этом по законам электромагнитной индукции ток немедленно приводит к восстановлению поля. Но когда из-за турбулентности сопротивление плазмы возрастает, по закону Ома сила тока падает, его магнитное действие ослабевает и энергия тока, а следовательно, и энергия породившего его магнитного поля переходит в тепло, в точности следуя закону Джоуля — Ленца. Поскольку неустойчивость плазмы возникает очень быстро, весь процесс имеет характер взрыва, в результате которого выделяется огромная тепловая и механическая энергия. Первая идет на излучение плазмы в видимой ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра, вторая — на образование выброса вещества, распространение мощной ударной волны и ускорение электронов, а иногда и протонов плазмы до очень больших энергий.

Во время вспышек происходит необычайно сильное увеличение потока солнечного радиоизлучения. В обычное время Солнце излучает радиоволны как тело, нагретое до миллиона градусов. Столь большая температура уже не должна нас удивлять: подобно тому как фотосфера Солнца непрозрачна для видимых лучей, для радиоволн дециметрового и метрового диапазонов непрозрачна солнечная корона. Поэтому радиотелескоп, направленный на Солнце, фактически «видит» не привычное нам светило, а внешие слои короны, т. е. примерно то же, что получается на фотографиях Солнца в рентгеновских лучах.

Однако во время вспышек характер радиоизлучения резко меняется. Поток радиоизлучения на некоторых частотах быстро и сильно увеличивается (иногда в миллионы раз). В некоторых случаях наблюдается изменение частоты этого излучения со временем. Эти явления, которые можно разделить на несколько типов, называются всплесками солнечного радиоизлучения. Большинство из них связано с прохождением через корону потока быстрых частиц, возникших в результате вспышки. Этот поток

вызывает смещение отдельных сгустков корональной плазмы, которая начинает колебаться и излучать мощный поток радиоволн. Роль потока быстрых частиц здесь аналогична движению смычка скрипки, а наблюдаемый всплеск подобен звучанию струны.

Существование определенной связи земных явлений с деятельностью Солнца было замечено уже очень давно. Так, например, еще в XVIII в. отмечалось, что полярные сияния чаще всего наблюдаются во время прохождения большой группы пятен на Солнце через его центральный меридиан. В настоящее время установлено, что наибольшее влияние на Землю оказывают солнечные вспышки, а точнее, порождаемое ими электромагнитное и корпускулярное излучение.

Самым быстрым солнечным агентом, связанным со вспышкой, является ее рентгеновское излучение. За $8\frac{1}{3}$ минут оно достигает Земли и полностью поглощается в ее атмосфере на высоте около 70 км. Здесь расположен так называемый ионосферный слой D, обычно возникающий днем и отражающий короткие радиоволны, что позволяет использовать их для дальней радиосвязи. Рентгеновское излучение вспышки, поглощаемое в слое D, усиливает его ионизацию раз в десять, так что он начинает отражать более длинные радиоволны, а короткие — сильно поглощать. Первое обстоятельство приводит к тому, что внезапно на некоторое время устанавливается дальняя радиосвязь на длинных волнах, что ранее было невозможно. Однако на коротких волнах при этом происходит нарушение радиосвязи (замирание).

Внезапная дополнительная ионизация верхних слоев земной атмосферы сопровождается появлением в ней электрического тока, магнитное действие которого приводит к небольшому, но резкому уменьшению напряженности общего магнитного поля Земли (магнитное кроше). Через некоторое время, однако, наведенное магнитное возмущение исчезает и земное поле восстанавливается.

Быстрые частицы, ускоренные во вспышке, движутся со скоростью, раза в три меньшей, чем скорость света. Поэтому их называют солнечными, или мягкими космическими лучами, в отличие от обычных, или жестких космических лучей, приходящих в нам из далеких областей Галактики со скоростями, близкими к скорости света. Торгуясь в атмосферу Земли несколько позже, чем рентгеновские лучи, солнечные космические лучи вызывают

дополнительную ионизацию главным образом в околополярных областях, называемых полярными шапками, что усиливает поглощение коротких радиоволн.

Выброшенная вспышкой плазма, — корпускулярный поток, — распространяется со скоростью от 100 до 1000 км/с и приводит к увеличению скорости и плотности плазмы солнечного ветра в секторе своего распространения. Поэтому примерно через сутки после вспышки корпускулярный поток достигает орбиты Земли и встречает на своем пути преграду в виде земного магнитного поля.

Корпускулярный поток сначала сжимает магнитное поле Земли, а затем начинает обтекать магнитосферу. При этом образуются сложные системы электрических токов магнитное действие которых приводит к сильным, быстрым и неправильным изменениям магнитного поля Земли препятствующим использованию магнитного компаса. Это явление называется магнитной бурей.

Часть корпускулярного потока, обтекающего Землю в полярных областях заходит в магнитные каспы — воронкообразные структуры магнитосферы, образованные магнитными силовыми линиями дневной и ночной стороны магнитосферы. Это позволяет солнечным частицам проникнуть в области радиационных поясов и горячей плазмы, а вместе с ними и в более низкие слои земной атмосферы. Сталкиваясь с молекулами воздуха на высотах, превышающих 100 км, энергичные частицы вызывают красивые причудливые разноцветные свечения — полярные сияния.

Ионосферные возмущения, магнитные бури и полярные сияния — только часть множества геофизических проявлений солнечной активности, которая через сложную цепь взаимодействий распространяется на климатические, биологические и многие другие явления.

Исследования Солнца и его активности, в частности проводимые во время солнечных затмений, помогают выяснить детали известных и характер еще не изученных закономерностей воздействия центрального светила нашей Солнечной системы на Землю.

2. ДВИЖЕНИЕ ЗЕМЛИ ВОКРУГ СОЛНЦА

Небесные светила разбросаны в бесконечном пространстве на самых разнообразных расстояниях от Земли, и эти расстояния настолько велики, что мы не в состоянии

их различить. Из-за этого все небесные светила представляются нам одинаково удаленными, т. е. расположенными на сферической поверхности, на воображаемом небе. Видимые взаимные расстояния светил или иных точек на небе определяются углами между направлениями на них и поэтому измеряются в угловых единицах — градусах ($^{\circ}$), минутах ($'$) и секундах ($''$) дуги. Этими же единицами измеряются угловые (видимые) размеры светил. Так, например, видимые диаметры Солнца и Луны близки к $0^{\circ},5$.

Земля вращается вокруг своей оси с запада к востоку, а нам, не ощущающим этого вращения, представляется, будто бы небо вместе со всеми светилами вращается с востока на запад с периодом в одни сутки и при этом происходит восход и заход небесных светил. Когда светила поднимаются над горизонтом, их угловое расстояние от него, называемое высотой, увеличивается, а при приближении к горизонту уменьшается. Рельеф местности различен, и чтобы не было ошибок в измерениях, высота светил отсчитывается не от видимого, а от истинного горизонта — большого небесного круга, плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии. Точка пересечения отвесной линии с небесной сферой называется зенитом.

Видимое суточное вращение неба происходит вокруг земной оси, и поэтому две диаметрально противоположные точки неба, в которые эта ось направлена, неподвижны. Они называются полюсами мира. В небе северного полушария Земли расположен северный полюс мира, вблизи которого (на расстоянии около 1°) находится главная звезда созвездия Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Из-за своей близости к северному полюсу мира она кажется неподвижной.

Как и на Земле, на небе тоже есть свой экватор, называемый небесным экватором; все его точки удалены от полюсов мира ровно на 90° . Он делит небо на северное и южное полушария и пересекается с истинным горизонтом в точках востока и запада (рис. 12). Точки юга и севера лежат на истинном горизонте, на расстоянии 90° от точек востока и запада.

В каждой местности небесный экватор пересекается с истинным горизонтом под углом, равным $90^{\circ} - \varphi$, где φ — географическая широта этой местности, и на этой же высоте $\varphi = 90^{\circ} - \varphi$ над точкой юга находится наивысшая точка небесного экватора. Так, в Ленинграде ($\varphi \approx 60^{\circ}$) небесный экватор поднимается над горизонтом до высоты в 30° , а в

Ашхабаде ($\varphi \approx 38^\circ$) — до высоты в 52° , и поэтому там видна значительно бóльшая часть южного неба, чем в Ленинграде.

Через точку юга, зенит, северный полюс мира и точку севера проходит на небе большой круг, называемый небесным меридианом. Он образован пересечением небесной сферы плоскостью географического меридиана местности. В суточном вращении неба небесные светила достигают

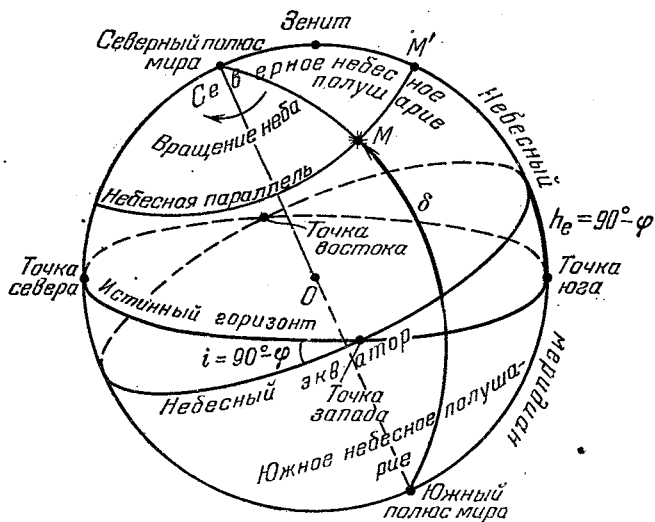


Рис. 12. Небесная сфера: O — наблюдатель; δ — склонение светила M ; M' — наивысшее положение того же светила M над горизонтом.

наибольшей высоты в тот момент, когда они пересекают небесный меридиан на его участке между северным полюсом мира и точкой юга. Так как вращение неба лишь кажущееся и происходит вокруг земной оси, то суточное движение звезд происходит по малым кругам — небесным параллелям, и их угловые расстояния от небесного экватора остаются неизменными. Угловое расстояние, отсчитываемое от небесного экватора, называется склонением (δ) и в северном небесном полушарии считается положительным ($\delta > 0$), а в южном небесном полушарии — отрицательным ($\delta < 0$). Из-за колоссального удаления звезд их склонения практически неизменны на протяжении мно-

тих лет, и каждая звезда ежесуточно пересекает небесный меридиан на одной и той же высоте.

Но присмотримся к Солнцу. Летом Солнце восходит на северо-востоке, вблизи полудня высоко поднимается над точкой юга и вечером заходит на северо-западе. Зимой же оно восходит на юго-востоке, его суточный путь над горизонтом низок, и заходит оно на юго-западе. Следовательно, в отличие от звезд, Солнце не занимает определенного положения на небе, а, участвуя в его суточном вращении (из-за вращения Земли), еще само медленно по нему перемещается. Действительно, достаточно пронаблюдать в разные месяцы года вид звездного неба вскоре после окончания сумерек, как сразу можно убедиться в перемещении Солнца на фоне звезд. В начале весны вечером, около 21 ч, в западной области неба вблизи горизонта видно созвездие Овна, в юго-западной области — созвездия Тельца и Ориона, в южной стороне — созвездие Близнецов, а восточнее него — созвездие Льва. Через месяц, в апреле, в те же часы созвездия Овна уже не видно — оно зашло за горизонт вместе с Солнцем; значит, за прошедший месяц Солнце сместилось по небу к востоку и пришло в созвездие Овна. Из-за этого и все созвездия сдвинулись к западу: созвездия Тельца и Ориона находятся вблизи в западной части горизонта, созвездие Близнецов — на юго-западе, созвездие Льва — в южной области неба, а на юго-востоке поднялось созвездие Девы.

Еще через месяц в те же часы уже не видно созвездия Тельца, так как теперь оно зашло вместе с Солнцем, которое за истекший месяц опять заметно сместилось к востоку и перешло из созвездия Овна в созвездие Тельца. Так постепенно меняется вид звездного неба, регулярно повторяющийся по сезонам года. Следовательно, на протяжении года Солнце медленно перемещается на фоне звезд с запада к востоку (навстречу суточному вращению неба) по определенным созвездиям и за год (365 суток) совершает по небу один оборот (360°), смещаясь за сутки примерно на 1° или на два своих видимых диаметра. Это смещение сводится к отставанию Солнца от звезд в суточном вращении неба: если Солнце взошло одновременно с какими-то звездами, то к вечеру оно отстает от них к востоку на $0^\circ,5$ и заходит раньше них примерно на 2 мин. Из-за этого моменты восхода и захода звезд ежедневно наступают на 4 мин (точнее, на 56^с) раньше, чем накануне, а за месяц сдвигаются вперед на 2 часа.

Но видимое годовое движение Солнца происходит не по небесному экватору. Измерения положения Солнца на небе показали, что ежегодно 20 или 21 марта, в день весеннего равноденствия, Солнце пересекает небесный экватор (склонение Солнца $\delta = 0^\circ$), переходит из южного в северное небесное полушарие и с каждым днем отходит от небесного экватора, в связи с чем положительное склонение Солнца постепенно возрастает и поэтому увеличивается его дневной путь над горизонтом, располагаясь над небесным экватором. Ко дню летнего солнцестояния 21—22 июня Солнце удаляется от небесного экватора на $23^\circ 27'$ (склонение Солнца $\delta = +23^\circ 27'$), его дневной путь наиболее продолжителен и занимает наивысшее положение над горизонтом, а затем склонение Солнца постепенно уменьшается, его дневной путь укорачивается, и 22—23 сентября оно опять пересекает небесный экватор, переходя из северного в южное небесное полушарие. Теперь склонение Солнца становится отрицательным, и дневное светило проходит свой суточный путь над горизонтом ниже небесного экватора, все время удаляясь от него, пока ко дню зимнего солнцестояния 21—22 декабря не отойдет на $23^\circ 27'$ (склонение Солнца $\delta = -23^\circ 27'$), и полуденная высота Солнца станет наименьшей. После этого дня склонение Солнца снова возрастает, Солнце опять приближается к небесному экватору и в очередной день весеннего равноденствия вновь пересечет его и перейдет в северное небесное полушарие. Годовой цикл видимого движения Солнца окончен и далее снова повторяется в той же последовательности.

Итак, на протяжении года Солнце поочередно отходит от небесного экватора в обе стороны на одно и то же угловое расстояние, равное $23^\circ 27'$, а это означает, что видимый годовой путь Солнца на небе представляет собой большой круг, пересекающийся с небесным экватором под тем же углом $\epsilon = 23^\circ 27'$. Этот большой круг получил название эклиптики, происшедшее от греческого слова «эклипсис» — затмение, поскольку, как мы увидим дальше, солнечные затмения происходят при подходе Луны к эклиптике.

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, называемых точками равноденствий (рис. 13). В точке весеннего равноденствия, находящейся в созвездии Рыб и обозначаемой знаком Υ , Солнце весной переходит из южного небесного полушария в северное, а в точке осеннего равноденствия (знак \cap), расположенной в созвездии Девы, Солнце че

полгода возвращается в южное полушарие неба. У обеих этих точек склонение $\delta = 0^{\circ}0'$. Точно посередине между точками равноденствий на эклиптике расположены точки солнцестояния, в которых Солнце достигает наибольшего удаления от небесного экватора: точка летнего солнцестояния находится в северном полушарии неба, в созвездии

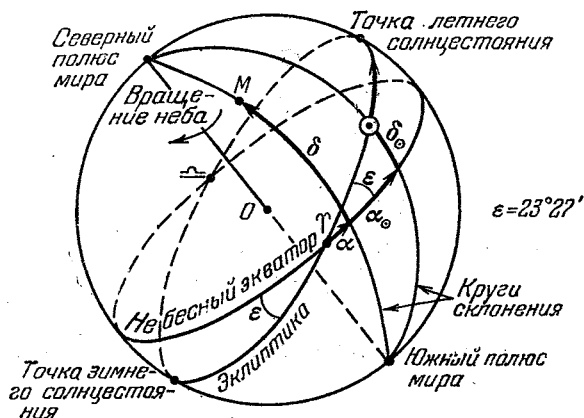


Рис. 13. Небесный экватор и эклиптика. γ — точка весеннего равноденствия; \odot — Солнце и направление его годичного движения; экваториальные координаты Солнца (α_{\odot} и δ_{\odot}) и звезды M (α и δ).

Близнецов, и имеет склонение $\delta = +23^{\circ}27'$, а противоположная ей точка зимнего солнцестояния — в южном полушарии неба, в созвездии Стрельца, и ее склонение $\delta = -23^{\circ}27'$ (см. рис. 13).

Видимое положение любого небесного светила, в том числе Солнца и Луны, определяется двумя величинами, называемыми небесными экваториальными координатами, аналогичными географическим координатам, широте и долготе. Для этого через полюсы мира мысленно проводят большие круги, сходные с земными меридианами, но называют их кругами склонения (см. рис. 13). Одна экваториальная координата нам уже известна — это склонение (δ), показывающее угловое расстояние светила от небесного экватора. Другая экваториальная координата, аналогичная географической долготе, называется прямым восхождением (α) и отсчитывается от точки весеннего равноденствия (γ) по небесному экватору всегда в одну сторо-

ну, с запада к востоку, до круга склонения светила. Прямое восхождение тоже может быть указано в градусах и минутах дуги, в пределах от 0° до 360° , но чаще всего оно выражается в единицах времени — в часах (ч), минутах (м) и секундах (с), из расчета, что $24^{\text{ч}} = 360^\circ$, $1^{\text{ч}} = 15^\circ$, $4^{\text{м}} = 1^\circ$, $1^{\text{м}} = 15'$ и $1^{\text{с}} = 15''$. Эта система единиц более удобна для расчетов времени наступления астрономических явлений. Таким образом, на протяжении года экваториальные координаты Солнца непрерывно изменяются в пределах: прямое восхождение α от $0^{\text{ч}}$ до $24^{\text{ч}}$ и склонение δ от $+23^\circ 27'$ до $-23^\circ 27'$.

Тут же следует оговориться, что экваториальные координаты небесных светил непосредственно измерить нельзя, так как ни небесный экватор, ни точки эклиптики на небе ничем не отмечены. Однако обе координаты легко вычисляются по моменту времени и по измеренной высоте светила, когда оно пересекает небесный меридиан. По этим координатам положения звезд, небесного экватора и эклиптики наносятся на звездные карты.

В астрономии постоянно приходится отличать видимые явления от истинных, и годовое движение Солнца по эклиптике неслучайно названо видимым: в действительности это Земля обращается вокруг Солнца с годичным периодом, чему теперь имеется множество доказательств. Нам же, не ощущающим движения Земли, кажется, что Солнце на протяжении года последовательно перемещается по 12 созвездиям, именуемым зодиакальными (от греческого «зоон» — животное или «зодиакос» — звериный) потому что большинство из них имеет наименования реальных мифических живых существ; это созвездия Рыб, Овна, Тельца, Близнецов, Рака, Льва, Девы, Весов, Скорпиона, Стрельца, Козерога и Водолея. Значит, истинный путь Земли в пространстве вокруг Солнца, называемый земной орбитой (от латинского слова *orbita* — колея, дорога) лежит в той же плоскости, что и эклиптика, и эта плоскость образует с плоскостью земного экватора угол в $23^\circ 27'$ (рис. 14). Так, из наблюдений видимого годового движения Солнца установили наклон оси вращения Земли к плоскости ее орбиты, который теперь показывается на земных глобусах.

Вокруг Солнца движется не одна наша Земля, а целая семья планет. Еще в 1608—1609 гг. выдающийся немецкий математик и астроном Иоганн Кеплер (1571—1630) установил, что планеты обращаются вокруг Солнца по эллиптам

ческим орбитам, и чем ближе планета к Солнцу, тем быстрее она движется. Земля не является исключением и тоже

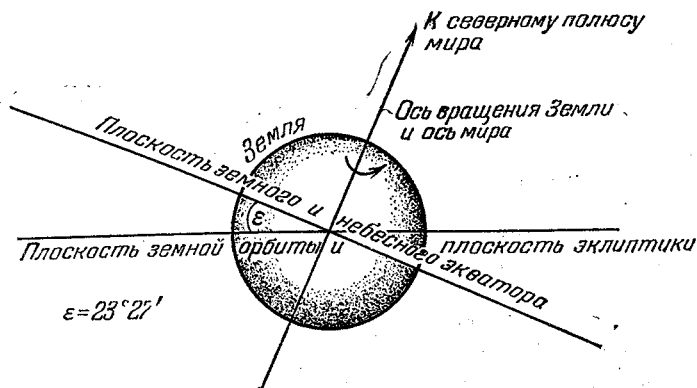


Рис. 14. Наклон земной оси и наклонение эклиптики.

обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите. Эллипс (рис. 15) — это один из овалов, обладающий, в отличие от окружности, двумя взаимно перпендикулярными и различными по величине осями — большой ($AP = 2a$) и малой ($DE = 2b$). На большой оси, на равных расстояниях от центра O эллипса, имеются две точки (C и F), называемые фокусами, характерные тем, что сумма расстояний от них до любой точки эллипса есть величина постоянная и всегда равная длине большой оси, т. е.

$$r + r_1 = 2a.$$

В одном из фокусов эллиптической орбиты планеты находится Солнце (C на рис. 14), так что расстояние планеты P от него непрерывно меняется в определенных пределах, от наименьшего $q = CP$, до наибольшего $Q = CA$. Так как на греческом языке слово «Гелиос» означает Солн-

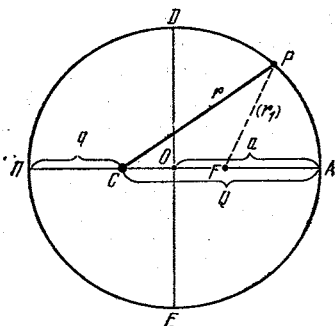


Рис. 15. Эллиптическая орбита планеты.

це, слово «пери» — близко или около, а слово «апо» — вдали, то любое произвольное расстояние от Солнца называется гелиоцентрическим, наименьшее расстояние (q) — перигельным расстоянием, а наибольшее (Q) — афелийным расстоянием, хотя правильнее было бы называть его апогельным. Соответственно и концевые точки большой оси орбиты называются перигелием (ближайшая точка, Π) и афелием (наиболее удаленная точка, A). Очевидно, что среднее гелиоцентрическое расстояние планет численно равно большой полуоси ($OP = OA = a$) орбиты, так как

$$a = \frac{q + Q}{2} = \frac{OP + OA}{2}.$$

Вытянутость эллиптической орбиты характеризуется отношением расстояния между фокусом и центром к длине большой полуоси, т. е. величиной

$$e = \frac{OC}{a},$$

называемой эксцентриситетом орбиты.

Легко видеть, что перигельное расстояние

$$q = a(1 - e),$$

а афелийное расстояние

$$Q = a(1 + e).$$

Большая полуось земной орбиты или, что одно и то же, среднее расстояние Земли от Солнца принимается за единицу измерений гелиоцентрических и межпланетных расстояний и поэтому именуется астрономической единицей (а.е.). Согласно радиолокационным измерениям, проведенным в 1961—62 г. в СССР, США и Англии, астрономическая единица $a_0 = 1 \text{ а.е.} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$ (149,6 млн. км).

В последующие годы точность измерений неуклонно повышалась, и теперь известно, что астрономическая единица $a_0 = 1 \text{ а.е.} = 149\,597\,870 \text{ км}$. Однако во многих расчетах вполне достаточно принимать $a_0 = 149,6 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Движение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите доказывается периодическим изменением в определенных пределах угловой скорости годового движения Солнца по эклиптике и в видимых размерах его диска. Наибольший диаметр солнечного диска $D = 32'35''$ бывает в самом начале января и в то же время угловая скорость Солнца по эклиптике составляет $61'$ в сутки. В самом же

начале июля диаметр солнечного диска уменьшается до $d = 31'31''$, а угловая скорость — до $57'$ в сутки. Значит, в начале января Земля ближе всего к Солнцу и поэтому движется быстрее, чем в начале июля, когда ее гелиоцентрическое расстояние наибольшее.

По этим данным нетрудно вычислить эксцентриситет земной орбиты и пределы изменения гелиоцентрического расстояния Земли. В самом деле, так как размеры солнечного диска малы, то они обратно пропорциональны расстояниям, т. е.

$$\frac{D}{d} = \frac{Q}{q} = \frac{a_0(1+e)}{a_0(1-e)},$$

или

$$\frac{1+e}{1-e} = \frac{32'35''}{31'31''} = \frac{1955''}{1891''} = 1,0339,$$

откуда эксцентриситет земной орбиты $e = 0,0167$, или приближенно $e = 0,017$.

Используя значение эксцентриситета земной орбиты, можно по формулам, приведенным на с. 36, определить пределы изменения гелиоцентрического расстояния Земли при ее обращении вокруг Солнца: в самом начале января это расстояние бывает наименьшим,

$$q = a_0(1 - e) = 1 \cdot (1 - 0,017) = 0,983 \text{ а. е.},$$

или $q = 0,983 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 147,1$ млн. км, а в самом начале июля — наибольшим,

$$Q = a_0(1 + e) = 1 \cdot (1 + 0,017) = 1,017 \text{ а. е.},$$

или $Q = 1,017 \cdot 149,6 \cdot 10^6 = 152,1$ млн. км.

На среднем же расстоянии $a_0 = 149,6$ млн. км от Солнца Земля находится в начале апреля и в начале октября.

Свой годовой путь вокруг Солнца Земля проходит за промежуток времени $\tau_0 = 365,256$ суток, а так как в каждых сутках содержится 86 400 с, то $\tau_0 = 365,256 \cdot 86\,400 = 31,56 \cdot 10^6$ с. Отсюда нетрудно вычислить среднюю скорость движения Земли по своей орбите или, что одно и то же, ее среднюю орбитальную скорость

$$V_0 = \frac{2\pi a_0}{\tau_0} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 149,6 \cdot 10^6}{31,56 \cdot 10^6 \text{ с}} = 29,8 \text{ км/с},$$

т. е. приблизительно можно принимать $V_0 = 30$ км/с.

Но поскольку Земля обращается вокруг Солнца не по окружности, а по эллиптической орбите, то и скорость

движения Земли не остается постоянной, а тоже несколько меняется: в начале января, когда Земля проходит перигелий, ее скорость возрастает до 30,3 км/с, а в начале июля при прохождении афелия, уменьшается до 29,3 км/с.

Таким образом, Земля проходит в пространстве за 1 (3600 с) путь в $29,8 \cdot 3600 = 107\,280$ км, а за сутки — 2 574 720 км. Вблизи же перигелия (в начале января) часовой путь Земли увеличивается до $30,3 \cdot 3600 = 109\,080$ км, а суточный путь — до 2 617 920 км; зато вблизи афелия (в начале июля) ее часовой путь сокращается до $29,3 \cdot 3600 = 105\,480$ км, а суточный — до 2 531 520 км.

Так, из наблюдений видимого годового движения Солнца астрономы получили сведения об истинном движении Земли и ее орбите.

3. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА, ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

В своем движении вокруг Солнца Земля не одинока, сопровождает единственный естественный спутник Луна — самое близкое к Земле небесное тело. Уже со времен великого итальянского физика Г. Галилея (1564—1642), впервые направившего в 1609 г. свой несовершенный телескоп на Луну, стало ясно, что спутник Земли похож на нее: тоже является холодным темным шаром с твердой поверхностью, видимой лишь при освещении ее Солнцем.

В наше время Луна хорошо изучена всеми доступными науке и технике средствами. Уже обычные фотографии показывают обилие на ее поверхности горных хребтов, пиков, огромного количества крупных и мелких кратеров, обширных долин, затянутых затвердевшей лавой и называемых морями и озерами, хотя на Луне вода совершенно отсутствует (рис. 16). Луна лишена и атмосферы, из-за чего четко видны не только края ее диска и рельеф ее поверхности, но и резкие тени, отбрасываемые освещенными Солнцем лунными горами (рис. 17).

С осени 1959 г. началось активное изучение Луны сначала советскими, а вслед затем и американскими автоматическими станциями и искусственными спутниками Луны. Фотография рельефа одного из участков лунной поверхности, полученная искусственным спутником с высоты 25 км над нею, показана на рис. 18. Затем настала очередь исследования Луны советскими самоходными аппаратами луноходами (1970—1973), управляемыми с Земли, и амер-

канскими экспедициями (1969—1972). Доставленный на Землю американскими космонавтами и советскими автоматическими станциями лунный грунт изучен в лабораториях и в принципе не отличается от земных пород. В рамках нашего повествования мы не имеем возможности даже вкратце изложить результаты этих исследований и интересующимися ими рекомендуем прочитать интересную книгу Ф. Ю. Зигеля «Сокровища звездного неба» (3-е изд. — М.: Наука, 1976), в которой подробно описана лунная поверхность и содержатся сведения о ее изучении за последние годы. Здесь же мы подчеркнем, что эти исследования еще раз подтвердили правильность марксистско-ленинского учения о единстве материи и разнообразии ее форм во Вселенной.

Как Солнце и звезды, так и Луна восходит над горизонтом в восточной стороне неба, постепенно поднимается и смещается в сторону южной его области, а достигнув в ней наибольшей высоты, медленно опускается к западной стороне горизонта и наконец исчезает за ним. Это точное движение Луны вместе с небом с востока к западу объясняется враще-

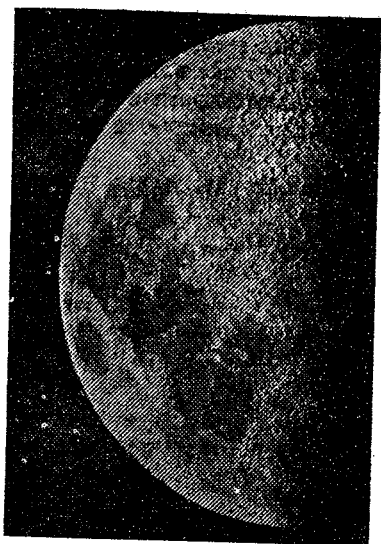


Рис. 16. Луна в фазе первой четверти (вид в телескоп).



Рис. 17. Резкие тени на лунной поверхности.

нием Земли вокруг своей оси. Но, наверное, многие читатели замечали, что Луна восходит и заходит не в одно и то же время суток, а ежесуточно запаздывает на небольшие промежутки времени, иногда достигающие 4,5 часа. Присмотревшись внимательно к положению

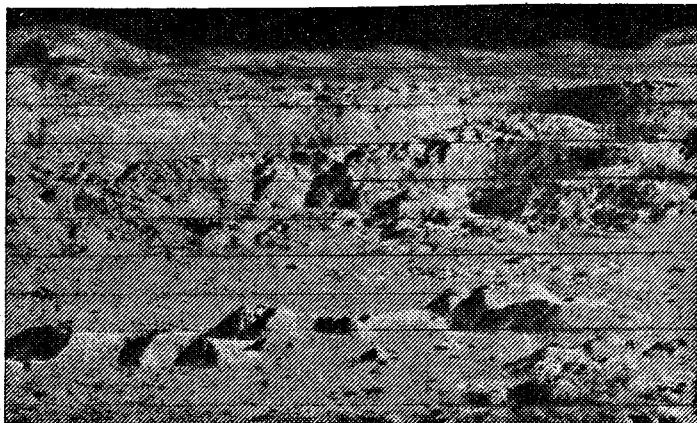


Рис. 18. Кратер Коперник (фотография с высоты 25 км).

Луны на звездном небе, нетрудно непосредственно заметить, что она, подобно Солнцу перемещается по зодиакальным созвездиям с запада к востоку, но значительно быстрее Солнца: на протяжении одного часа она смещается примерно на величину своего видимого (углового) диаметра, равную $0^{\circ},5$, а за сутки — приблизительно на 13° и поэтому сравнительно быстро переходит из одного зодиакального созвездия в другое, ни в одном не задерживаясь более двух-трех суток.

Наблюдения показывают, что перемещение Луны с запада к востоку на фоне зодиакальных созвездий происходит по большому кругу — лунному пути, который совпадает с эклиптической, а пересекается с нею под углом $5^{\circ}09'$ (периодически изменяющимися от $4^{\circ}59'$ до $5^{\circ}19'$). Точки пересечения лунного пути с эклиптической отстоят друг от друга на 180° и называются лунными узлами. В одном из них, получившем название восходящего узла Луна в своем движении пересекает эклиптику, поднимается над ней в северном направлении и постепенно удаляется

ее на $5^{\circ}09'$, а затем приближается к эклиптике, снова ее пересекает в противоположном, нисходящем узле и отходит от него на то же расстояние в $5^{\circ}09'$, после чего опять приближается к эклиптике и пересекает ее в восходящем лунном узле. Так непрерывно повторяется цикл движения Луны по диакальным созвездиям.

В астрономии сохранились многие обозначения (знаки), введенные еще в глубокой древности, и, в частности, знаки для лунных узлов: восходящий лунный узел обозначается знаком Ω , изображающим дракона, набрасывающегося на Солнце и вызывающего, по древним поверьям, его затмение, а нисходящий лунный узел — перевернутым знаком φ .

Свой путь по небу вокруг Земли в направлении с запада на восток Луна совершает за период времени $T = 27,32$ суток (точнее, $T = 27,3217$ суток $= 27^{\text{д}}7^{\text{ч}}43^{\text{м}}12^{\text{с}}$), называемый звездным, или сидерическим месяцем. Такое название этот период получил от латинского слова *sideralis* — звездный и от греческого слова «менискос» — лунный серп, так как по истечении этого промежутка времени Луна снова проходит на небе в зоне тех же самых звезд, а еще в древние времена месяцем считался промежуток времени между одинаковыми серповидными фазами Луны. И до сих пор периоды времени, связанные с движением Луны, называются месяцами, но только, как мы увидим дальше, эти периоды несколько различаются по длительности и поэтому получают дополнительные наименования. Здесь же необходимо отметить, что звездный месяц представляет собой период реального обращения Луны вокруг Земли в пространстве.

Если бы Луна перемещалась равномерно по небесному экватору, который пересекается с горизонтом в точках востока и запада, то она всегда восходила бы и заходила соответственно в этих точках, а поднималась над горизонтом на одну и ту же наибольшую высоту. Тогда ежедневное запаздывание восхода и захода Луны составляло бы 52 мин, т. е. ровно столько, сколько требуется Земле, чтобы повернуться вокруг оси на те $13^{\circ},2$, на которые Луна смещается к востоку за сутки. Но лунный путь наклонен к эклиптике на угол в $5^{\circ}09'$, а сама эклиптика наклонена на $23^{\circ}27'$ к небесному экватору, и поэтому наклонение лунного пути к небесному экватору временами достигает $28^{\circ}36'$, т. е. почти 30° . Следовательно, на протяжении половины звездного месяца склонение Луны (ее угловое удаление от небесного

экватора) может изменяться примерно от $+29^\circ$ до -29° т. е. больше, чем у Солнца за полгода. При большом положительном склонении Луна восходит на северо-востоке, ее суточный путь над горизонтом очень высок и долог, как у Солнца в летнее время, и заходит она на северо-западе. Когда же Луна находится в южном небесном полушарии и ее отрицательное склонение значительно по величине, то она восходит на юго-востоке и заходит на юго-западе, а ее путь над горизонтом еще ниже и короче, чем зимний дневной путь Солнца. К тому же Луна движется неравномерно, периодически несколько ускоряя и замедляя свое движение. Отсюда и ежедневное запаздывание ее восхода и захода неодинаково по продолжительности и на протяжении месяца может изменяться от мин до 1,5 ч, что в среднем составляет 52 мин.

Итак, непосредственно из наблюдений следует, что Луна обращается вокруг Земли по большому кругу лунному пути, с периодом в 27,32 суток, причем это движение неравномерное. Но, как уже упоминалось, астрономии все время приходится на основе изучения видимых явлений вскрывать явления истинные, для чего приходится многократно проводить соответствующие измерения и тщательно их анализировать.

Для изучения реального движения Луны вокруг Земли проведены (и до сих пор проводятся) многочисленные измерения не только видимых положений Луны на небе и ее расстояния от Земли, а по результатам этих измерений вычислена скорость ее движения в пространстве.

Один из способов измерения расстояния до Луны основан на радиолокации, ныне широко используемой в геодезии и в навигации. К Луне направляется мощный радиосигнал, который, отразившись от лунной поверхности, возвращается к Земле и воспринимается приемной радиопаратурой. Моменты времени отправления и приема радиосигнала отмечаются с высокой точностью, достигающей одной миллионной доли секунды. Разность (Δt) этих моментов представляет собой промежуток времени, течение которого радиосигнал проходит удвоенное расстояние от Земли до Луны. А так как скорость распространения радиоволн известна из физики и равна $c = 299\,792$ км/с, искомое расстояние в километрах

$$r = c \cdot \frac{\Delta t}{2}.$$

Многочисленные измерения расстояния до Луны показали, что оно не имеет строго определенного значения, периодически в правильной последовательности изменяется в определенных пределах. При каждом своем обороте Луна то приближается к Земле, то несколько удаляется от нее, и с такой же правильностью возрастает и уменьшается скорость движения Луны в пространстве. Происходит это

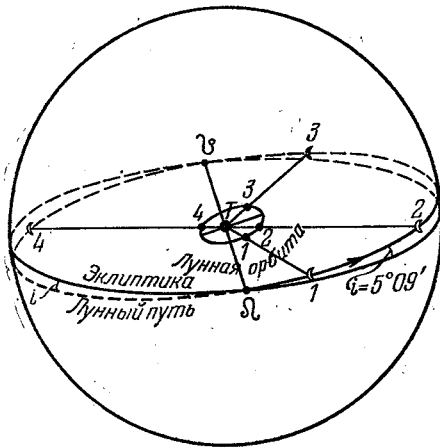


рис. 19. Лунная орбита и лунный путь. T — Земля; ● — положения Луны на орбите; ☾ — видимые положения Луны на небе; Ω — восходящий узел, ♁ — нисходящий узел; i — наклонение лунной орбиты.

потому, что Луна обращается вокруг Земли с запада к востоку не по круговой, а по эллиптической орбите, одним из фокусов которой расположена наша планета (рис. 19). Плоскость лунной орбиты в пересечении с небом образует большой круг — лунный путь, а плоскость земной орбиты, как нам уже известно, пересекается с небом по эклиптике, и так как в пространстве первая плоскость образует со второй угол в $5^{\circ}09'$, то поэтому и лунный путь наклонен к эклиптике под таким же углом (см. рис. 19). Обе эти плоскости пересекаются друг с другом по прямой линии, проходящей через центр Земли и называемой линией узлов лунной орбиты, и как раз на этой линии лежат противоположные узлы лунной орбиты, и как раз на этой линии лежат противоположные направления от Земли, т. е. на 180° друг от друга.

В греческом языке Земля именуется словом «Гейя», и с этого слова произошли следующие названия (см. рис. 1) на котором теперь C будет обозначать Землю, а P Луну) * геоцентрическое расстояние — расстояние от Земли; перигей (P) — ближайшая к Земле точка лунной орбиты; перигейное расстояние (q) — расстояние перигея от Земли; апогей (A) — наиболее удаленная от Земли точка лунной орбиты; апогейное расстояние (Q) — геоцентрическое расстояние апогея.

Перигей и апогей лежат на большой оси лунной орбиты, а средним геоцентрическим расстоянием Луны является большая полуось ее орбиты

$$a = \frac{q + Q}{2}.$$

Из измерений выяснилось, что среднее расстояние Луны от Земли, или большая полуось лунной орбиты, $a = 384\,400$ км, перигейное расстояние Луны $q = 363\,300$ км и ее апогейное расстояние $Q = 405\,500$ км. По этим данным вычислен эксцентриситет лунной орбиты, характеризующий ее вытянутость. Поскольку перигейное расстояние (q) связано с большой полуосью (a) и эксцентриситетом (e) орбиты равенством

$$q = a(1 - e),$$

то эксцентриситет лунной орбиты

$$e = 1 - \frac{q}{a} = 1 - \frac{363\,300 \text{ км}}{384\,400 \text{ км}} = 0,0549,$$

или, приближенно, $e = 0,055$, т. е. лунная орбита значительно более вытянута, нежели земная орбита, эксцентриситет которой $e = 0,0167 \approx 0,017$.

Луна обращается вокруг Земли под действием их взаимного тяготения. Масса Луны значительно меньше массы Земли. В природе действует неизменный закон, согласно которому тела меньшей массы обращаются вокруг более массивных тел. Массу Луны в сравнении с массой Земли легко определить, если воспользоваться законом, известным в астрономии под названием третьего обобщенного закона Кеплера. Этот закон был найден великим английским ученым Исааком Ньютоном (1643—1727).

*) Такие же названия используются для орбит искусственных спутников Земли.

Представим себе, что какое-то небесное тело, масса которого m_1 , обращается с периодом T_1 по эллиптической орбите с большой полуосью a_1 вокруг более массивного небесного тела, имеющего массу M_1 . Вокруг же другого массивного тела с массой M_2 движется спутник с массой m_2 по эллиптической орбите с большой полуосью a_2 и периодом обращения T_2 . Тогда, согласно третьему обобщенному закону Кеплера,

$$\frac{T_2^2 (M_2 + m_2)}{T_1^2 (M_1 + m_1)} = \frac{a_2^3}{a_1^3}.$$

Применим этот закон к определению массы Луны M_2 в сравнении с массой Земли M_1 , для чего воспользуемся сведениями о полетах искусственных спутников вокруг обоих этих тел. Так, советский искусственный спутник Земли «Молния-1», запущенный 14 октября 1965 г., обращался вокруг нее с периодом $T_1 = 11^h 59^m = 719^m$ по эллиптической орбите с большой полуосью $a_1 = 26\,600$ км; советский искусственный спутник «Луна-12», выведенный 25 октября 1966 г. на окололунную орбиту с большой полуосью $a_2 = 2660$ км, обращался вокруг Луны с периодом $T_2 = 3^h 25^m = 205^m$.

Подставляя эти данные в формулу третьего закона Кеплера и помня, что массы искусственных спутников ничтожно малы в сравнении с массами Земли и Луны (т. е. можно считать, что $m_1 = m_2 = 0$), получим:

$$\frac{M_2}{M_1} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^3 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left(\frac{2660}{26600} \right)^3 \cdot \left(\frac{719}{205} \right)^2 = \frac{1}{81,3},$$

т. е. масса Луны меньше массы Земли примерно в 81 раз.

Геометрические размеры Луны тоже меньше размеров Земли. Видимый, или угловой диаметр Луны (диаметр лунного диска) близок к $0^\circ,5$, а более точные измерения показывают, что при среднем геоцентрическом расстоянии Луны $a = 384\,400$ км диаметр ее диска $d = 31',1$. Тогда по правилам тригонометрии легко найти, что линейный диаметр Луны

$$D = a \sin d = 384\,400 \text{ км} \cdot \sin 31',1 = 384\,400 \text{ км} \cdot 0,009043,$$

т. е.

$$D = 3476 \text{ км}.$$

Так как экваториальный диаметр Земли равен 12756 км, то приближенно можно считать, что линейный диаметр Луны меньше земного в четыре раза (точнее,

в 3,67 раза), а ее объем меньше объема Земли примерно в 50 раз.

Лунная орбита с большой полуосью $a = 384\,400$ км и эксцентриситетом $e = 0,055$ называется невозмущенной орбитой. Она была бы неизменной, если бы на Луну действовала своим притяжением только шарообразная Земля. Но на Луну воздействуют и другие небесные тела и особенно сильно — массивное Солнце. Оно-то, главным образом, и заставляет Луну периодически несколько отклоняться от той эллиптической орбиты, по которой она должна двигаться под действием только земного тяготения. Эти отклонения называются возмущениями, а сама изменяющаяся орбита — возмущенной орбитой.

Отметим наиболее значительные возмущения в движении Луны. Как уже упоминалось, в невозмущенной лунной орбите перигейное расстояние $q = 363\,300$ км, а апогейное расстояние $Q = 405\,500$ км. В действительности же оба эти расстояния не сохраняют неизменных значений: в перигее Луна может приближаться к Земле на расстояние от 356 410 км до 369 960 км, а в апогее удаляться от Земли в пределах от 404 180 км до 406 740 км. В связи с этим, когда Луна проходит свой перигей, ее видимый диаметр может быть от $33',5$ до $32',5$, а при прохождении ею апогея изменяться от $29',6$ до $29',3$. Эксцентриситет лунной орбиты тоже несколько изменяется в обе стороны от его среднего значения ($e = 0,055$), как, впрочем, и большая полуось орбиты, длина которой периодически то увеличивается, то уменьшается приблизительно на 2000 км. Из-за этого длительность сидерического месяца не остается строго постоянной, а периодически несколько изменяется.

Лунная орбита не занимает в своей плоскости неизменного положения, а быстро поворачивается в ней с запада к востоку, в направлении движения Луны, почти на 41° (точнее, на $40^\circ,68$) за год, или на 3° (шесть видимых лунных поперечников!) за один оборот Луны. Это возмущение известно под названием поворота большой оси лунной орбиты, или движения перигея в прямом направлении. Полный поворот на 360° в своей плоскости лунная орбита завершает за период времени $T_{\pi} = 360^\circ : 40^\circ,68 = 8,85$ года, или за 3232 суток. В свою очередь плоскость лунной орбиты, пересекаясь с плоскостью земной орбиты (или, что одно и то же, с плоскостью эклиптики), периодически слегка покачивается в пределах от $4^\circ59'$

до $5^{\circ}19'$, и все время сравнительно быстро поворачивается в пространстве в направлении с востока к западу. Поэтому линия узлов лунной орбиты тоже поворачивается в плоскости эклиптики, а лунные узлы перемещаются по эклиптике в том же направлении, т. е. навстречу движению Луны. Такое перемещение лунных узлов по эклиптике в направлении с востока к западу называется отступлением лунных узлов. Наблюдения показывают, что за год лунные узлы отступают к западу на $19^{\circ},3$, а за сидерический месяц примерно на $1^{\circ},5$ (точнее, на $1^{\circ},44$), т. е. почти на три видимых (угловых) диаметра Луны. Из-за этого лунный путь на небе непрерывно смещается с востока к западу на те же $19^{\circ},3$ за год. Период полного поворота на 360° плоскости лунной орбиты, лунного пути на небе и линии лунных узлов составляет $T_y = 360^{\circ} : 19^{\circ},3 = 18,61$ года, т. е. 18 лет 7 месяцев, или 6798 суток. Через этот период времени плоскость лунной орбиты в пространстве, лунный путь на небе и лунные узлы на эклиптике возвращаются к прежнему положению.

Из-за отступления лунных узлов Луна, пройдя один из них, снова к нему возвращается несколько раньше, чем завершает один оборот по орбите, т. е. до окончания сидерического месяца. Период времени, через который Луна возвращается к одному и тому же лунному узлу, называется драконическим месяцем. Так как Луна перемещается по своему пути с запада к востоку в среднем на $13^{\circ},2$ за сутки, сидерический месяц $T = 27,32$ суток, а за этот период времени лунные узлы смещаются навстречу Луне на $1^{\circ},44$, то продолжительность драконического месяца

$$S_{\Omega} = 27,32 \text{ сут.} - \frac{1^{\circ},44}{13^{\circ},2} = 27,21 \text{ суток,}$$

а точнее $S_{\Omega} = 27,2122 \text{ сут.} = 27^{\text{д}}5^{\text{ч}}05^{\text{м}}36^{\text{с}}$.

Так как Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите, то скорость движения Луны относительно Земли, называемая геоцентрической скоростью, не может быть постоянной. Среднее значение этой скорости легко найти по среднему геоцентрическому расстоянию Луны $a = 384\,400$ км и по звездному периоду ее обращения $T = 27,32$ суток $= 23,60 \cdot 10^5$ с^{*}). Тогда средняя гео-

^{*}) Сутки содержат 86 400 секунд и поэтому $27,32 \text{ сут.} = 27,32 \cdot 86\,400 \text{ с} = 2\,360\,450 \text{ с} \approx 23,60 \cdot 10^5 \text{ секунд}$.

центрическая скорость Луны

$$v = \frac{2\pi a}{T} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 384\,400 \text{ км}}{23,60 \cdot 10^5 \text{ с}} = 1,02 \text{ км/с} \approx 1 \text{ км/с}.$$

По мере приближения Луны к Земле геоцентрическая скорость Луны постепенно возрастает и в перигее достигает 1,08 км/с, а затем, с удалением Луны от Земли, снова уменьшается и в апогее снижается до 0,97 км/с.

Из физики известно, что всякое движение относительно, и не представляет труда подсчитать скорость движения Луны относительно Солнца, т. е. ее гелиоцентрическую скорость. Вспомним, что аналогичная скорость Земли $V_0 = 30 \text{ км/с}$ (см. с. 37).

Коль скоро Луна значительно ближе к Земле, чем Солнце, а именно в 390 раз, то она при своем обращении

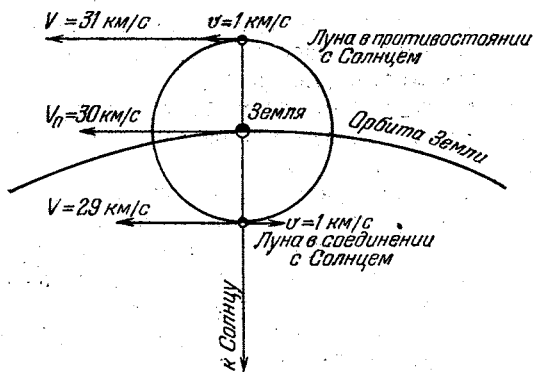


Рис. 20. Геоцентрическая (v) и гелиоцентрическая (V) скорость Луны.

периодически проходит как между Солнцем и Землей, так и за земной орбитой (рис. 20). Положение Луны, при котором она видна с Земли в направлении, прямо противоположном Солнцу, получило название противостояния Луны, а положение, совпадающее с направлением к Солнцу, названо ее соединением с Солнцем. Во время противостояний, когда Луна движется за земной орбитой, ее геоцентрическая скорость $v = 1 \text{ км/с}$ направлена в ту же сторону, что и скорость Земли $V_0 = 30 \text{ км/с}$, и поэтому гелиоцентрическая скорость Луны $V = V_0 + v = 31 \text{ км/с}$; следовательно, Луна и Земля движутся вокруг

Солнца в одном направлении. И хотя во время соединений геоцентрическая скорость Луны противоположна орбитальной скорости Земли, но ее гелиоцентрическая скорость $V = V_0 - v = 29$ км/с все равно совпадает по направлению со скоростью Земли, т. е. оба небесных тела все время обращаются вокруг Солнца в прежнем направлении, хотя и с переменной скоростью.

Таким образом, вполне возможно считать, что Луна движется не вокруг Земли, а вместе с нею и подобно ей обращается вокруг Солнца по своей гелиоцентрической орбите, несколько отличающейся от земной орбиты, и поэтому следует рассматривать Луну не только как спутник Земли, сопровождающий ее в стремительном полете вокруг Солнца, но и как полноправный член двойной планеты «Земля — Луна». Мы вправе считать Землю и Луну двойной планетой, ибо масса Луны лишь в 81 раз меньше земной массы, в то время как подобное различие масс других планет и масс их спутников составляет от тысячи до сотен миллиардов раз.

Представим себе, что мы умчались далеко от Земли в сторону Солнца и оттуда наблюдаем нашу планету с ее спутником. Тогда на фоне темного звездного неба мы увидим два очень близко расположенных друг к другу, движущихся звездообразных светила, одно из которых голубоватое и такое же яркое, как планета Венера в небе Земли, а другое — желтое и почти в 80 раз более слабое, т. е. сходное по цвету и блеску с Проционом, главной звездой созвездия Малого Пса. Яркое голубоватое светило — это Земля, а более слабое и желтое — ее спутник Луна.

Но нам не удастся обнаружить обращение Луны вокруг Земли в буквальном смысле этого слова. Мы увидим, как оба светила движутся по небу всегда в одном направлении, но периодически Луна, ускоряя свое движение, заходит на Землю, опережает ее и уходит немного вперед, затем замедляет движение и, перемещаясь в том же направлении перед Землей, постепенно отстает от нее, а вслед за тем снова догоняет и заходит за нее. Следовательно, мы вправе утверждать, что Луна подобно Земле обращается вокруг Солнца, т. е. движется по гелиоцентрической орбите, которую возмущает уже не Солнце, а Земля.

Гелиоцентрическая орбита Луны всегда направлена вогнутостью к Солнцу (рис. 21), близка по расположению и форме к земной орбите, но все же отличается от эллип-

тической из-за возмущающего действия Земли. Образно говоря, Земля своим тяготением то разгоняет Луну, заставляя ее обгонять себя за своей орбитой, то, наоборот, тормозит ее движение, и Луна, несколько уменьшая скорость, снова отстает от Земли, проходя уже внутри

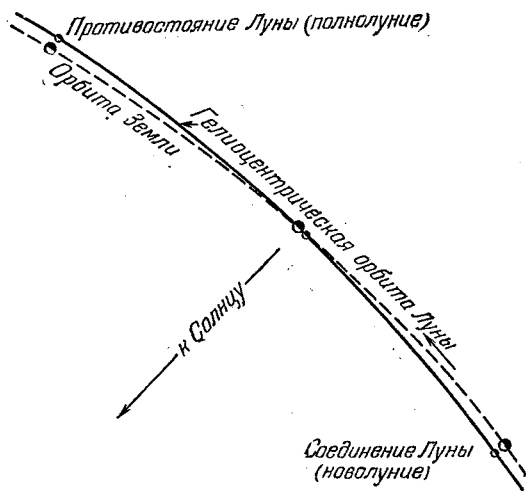


Рис. 21. Гелиоцентрическая орбита Луны.

земной орбиты. Наглядной моделью такого обращения может быть совместное движение двух автомобилей по периферии площади вокруг ее центра. Представим себе, что первый автомобиль объезжает площадь по окружности со скоростью в 30 км/ч, а второй автомобиль, всегда находясь вблизи первого, совершает аналогичный путь с переменной скоростью от 29 км/ч до 31 км/ч и притом так, что отстает от первого автомобиля внутри его траектории, а обгоняет — за нею. Тогда путь второго автомобиля, хотя и близок к окружности, все же отличается от нее, а наблюдатель, находящийся в первом автомобиле, видя, как второй автомобиль последовательно проходит со всех сторон от него, вправе утверждать, что этот автомобиль является спутником первого и обращается вокруг него со скоростью $v = 31 \text{ км/ч} - 30 \text{ км/ч} = 30 \text{ км/ч} - 29 \text{ км/ч} = 1 \text{ км/ч}$. В этом и проявляется относительность движения.

Таким образом, движение Луны очень сложно и его можно рассматривать как вокруг Солнца, так и вокруг Земли; поскольку мы находимся на Земле, нас интересует видимое движение Луны, как оно проектируется на звездное небо, и поэтому будем считать ее движущейся вокруг Земли по эллиптической орбите, возмущаемой солнечным

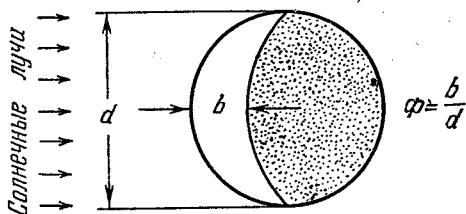


Рис. 22. Лунная фаза.

притяжением. Несмотря на чрезвычайную сложность движения Луны, оно детально изучено астрономами, и поэтому они имеют возможность вычислять с высокой точностью истинное положение Луны в пространстве и ее видимое положение на небе для любого момента времени даже на сотни лет вперед.

Обращаясь вокруг Земли, Луна, последовательно занимает различные положения относительно Солнца, и так как с Земли видна только освещенная часть шарообразной лунной поверхности, то происходит изменение вида Луны, или смена лунных фаз (от греческого «фазис» — проявление). Лунная фаза представляет собой видимую в солнечном освещении часть лунного диска и определяется отношением наибольшей ширины (b) этой части к его диаметру (d), т. е. фаза $\varphi = b/d$ и математически всегда выражается десятичной дробью с точностью, как правило, до 0,01 (рис. 22).

На рис. 23 показаны различные положения Луны на своей орбите и рядом — ее фазы, видимые с Земли. Когда Луна проходит между Землей и Солнцем (положение I), к Земле обращено неосвещенное лунное полушарие, Луна не видна, и ее фаза $\varphi = 0,00$ называется новолунием как будто бы рождается «новая» Луна. Поэтому лунную фазу иногда характеризуют условным возрастом Луны, т. е. числом суток, протекших после новолуния, при котором

принимается возраст $v = 0^d,0$ (буквой «д» обозначаются сутки — «дни»).

Из-за наклона лунного пути к эклиптике на $5^{\circ}09'$, Луна в новолуние проходит на небе несколько выше или ниже Солнца и в этот день восходит и заходит почти одновременно с ним. После новолуния Луна постепенно отходит к востоку от Солнца (она восходит днем и поэтому ее

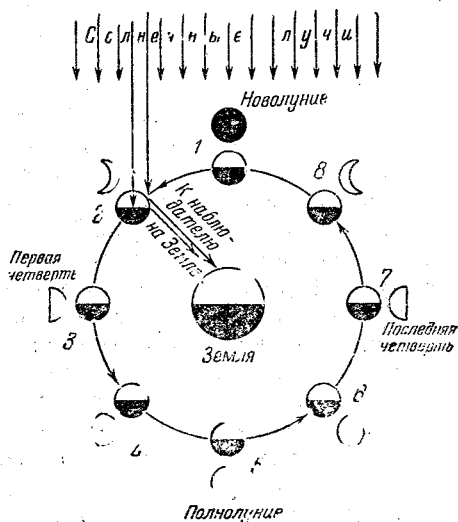


Рис. 23. Смена лунных фаз.

восход не заметен) и через двое-трое суток, при удалении от него примерно на 30° (положение 2 на рис. 23), становится видимой по вечерам в западной половине еще светлого неба в форме узкого серпа (фаза близка к 0,1), выпуклость которого обращена вправо, к горизонту, под которым в это время находится Солнце, освещающее Луну. Краевые точки лунного серпа, или его рога, всегда расположены на концах одного диаметра лунного диска. Если рога лунного серпа мысленно соединить прямой линией, то получится буква «Р» — легко запоминающийся символ «растущей», или «молодой» Луны. Через полтора-два часа после захода Солнца серповидная Луна тоже заходит за горизонт.

Линия, отделяющая освещенную часть лунного диска от неосвещенной его части, называется лунным термина-

тором (от латинского *terminare* — ограничивать) и видна с Земли в форме полуэллипса. На шаровой же поверхности Луны терминатор имеет вид окружности, если, конечно, не считать отклонений от нее из-за неровного рельефа лунной поверхности. При возрастающих фазах Луны на ее терминаторе восходит Солнце и наступает день. Поскольку Луна вращается вокруг своей оси в прямом направлении, то терминатор перемещается по лунной поверхности, как и на Земле, с востока к западу, предшествуя Солнцу, т. е. в направлении от правого края видимого с Земли лунного диска к его левому краю. Поэтому хотя правая половина лунного диска обращена к западной стороне земного горизонта, она называется восточной половиной и входит в восточное полушарие Луны, а левая половина лунного диска называется западной и принадлежит западному полушарию Луны*).

Часто при серповидной фазе виден очень слабо освещенный весь лунный диск. Создается впечатление, что в яркий лунный серп вложен темный диск меньшего диаметра. Это явление получило название пепельного света и объясняется тем, что лунный серп освещается непосредственно солнечными лучами, а остальная лунная поверхность — рассеянным солнечным светом, отраженным от Земли. Видимое же различие в диаметрах темного диска и яркого серпа — явление чисто кажущееся, называемое иррадиацией (от латинского *irradiare* — сиять), и объясняется особенностями нашего зрения: яркий предмет воспринимается нами несколько больших размеров, нежели темный.

По мере смещения Луны к востоку от Солнца, видимая с Земли освещенная часть лунной поверхности увеличивается, лунная фаза растет, и через неделю после новолуния, когда Луна отойдет на 90° от Солнца (это положение Луны называется восточной квадратурой), уже видна вся правая половина лунного диска — наступает фаза первой четверти ($\phi = 0,50$, возраст $v = 7^{\text{д}},4$), названная так потому, что в солнечном освещении видима четвертая часть всей шаровой поверхности Луны (см. рис. 23, положение 3). В этой фазе Луна восходит днем, к вечеру видна в южной области неба и заходит ночью.

*) До недавнего времени считалось наоборот, т. е. ориентировали края лунного диска по сторонам земного горизонта, что необходимо иметь в виду при использовании книг прежних изданий.

Через 14—15 суток после новолуния Луна приходит в противостояние с Солнцем (на 180° от него), и ее фаза становится полной ($\phi = 1,00$, $v = 14^{\text{ч}}, 8$), так как солнечные лучи освещают все лунное полушарие, обращенное к Земле (положение 5 на рис. 23). Такая фаза называется полнолунием. Поскольку полная Луна находится в противоположной Солнцу области неба, она восходит при заходе Солнца, заходит при его восходе, а в середине ночи видна в южной стороне неба.

После полнолуния Луна постепенно приближается к Солнцу с запада, освещается им слева (с востока) и поэтому ущерб Луны, т. е. уменьшение ее фазы, начинается с правого края, а выпуклость освещенной части обращена к востоку. Теперь уже на лунном терминаторе, видимом с Земли, Солнце заходит, и там наступает ночь.

Примерно через неделю, когда угловое расстояние между Луной и Солнцем сократится до 90° (Луна в западной квадратуре), наступает фаза третьей, или последней, четверти ($\phi = 0,50$, $v = 22^{\text{ч}}, 2$; положение 7 на рис. 23), при которой Луна восходит вблизи полуночи, к восходу Солнца оказывается в южной стороне неба, исчезает на его ярком фоне и заходит днем.

При дальнейшем сближении Луны с Солнцем (положение 8 на рис. 23) ее убывающие фазы становятся серповидными с выпуклостью влево (к востоку), напоминая букву «С» («старая» Луна), она восходит и видна в восточной области неба незадолго до восхода Солнца, четко выделяется на светлеющем фоне утренней зари, но постепенно блекнет и при восходе Солнца сливается с ярким голубым небом. В этой фазе Луна заходит в светлое время суток, перед заходом Солнца, и через несколько дней снова вступает с ним в соединение — наступает очередное новолуние.

Все лунные фазы легко воспроизвести на опыте, для чего достаточно в затемненном помещении зажечь настольную лампу и, отойдя от нее на расстояние 3—4 м, обводить вокруг себя против часовой стрелки шаровидный предмет. Освещаемый лучами лампы, он покажет последовательную смену лунных фаз.

Период смены лунных фаз, называемый синодическим (от греческого «синодос» — соединение), или лунным месяцем, продолжительнее сидерического месяца. Представим себе (рис. 24), что в некоторый момент времени произошло противостояние Луны (L_1) с Солнцем, и Луна в полной

Девы. Таким образом, промежуток времени между соседними полнолуниями, или синодический месяц, равен

$$S = T + \Delta t = 27^{\text{д}},32 + 2^{\text{д}},21 = 29^{\text{д}},53,$$

а точнее, $S = 29^{\text{д}},5306 = 29^{\text{д}}12^{\text{ч}}44^{\text{м}}03^{\text{с}}$. Такова средняя продолжительность синодического месяца, истинная длительность которого из-за неравномерного движения Луны и Земли колеблется от $29^{\text{д}},25$ до $29^{\text{д}},83$.

Аналогичным образом повторяются все фазы Луны, в том числе и новолуния, и следовательно, одинаковые

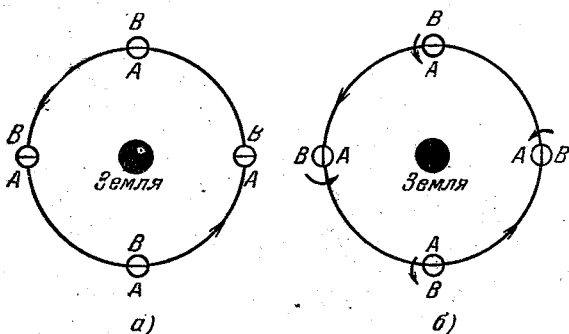


Рис. 25. Видимая с Земли поверхность Луны при отсутствии ее вращения (а) и при синхронном вращении (б).

фазы наступают в различных точках лунной орбиты и поочередно во всех зодиакальных созвездиях. Этим и объясняется, почему на протяжении года условия видимости Луны в одной и той же фазе резко различны. Зимой, когда Солнце проходит по южным зодиакальным созвездиям и его суточный путь над горизонтом низок и короток, полная Луна перемещается по северным зодиакальным созвездиям, высоко поднимается и подолгу находится над горизонтом. Летом картина противоположная: полная Луна повторяет зимний суточный путь Солнца и в северных странах иногда даже бывает не видна, скрываясь за неровным рельефом местности.

С Земли видно только одно полушарие Луны, всегда обращенное к нашей планете. Создается впечатление, будто Луна, в отличие от Земли, не вращается вокруг своей оси. Но это впечатление ошибочно: если бы Луна не вращалась, то с Земли поочередно были бы видны оба ее по-

лушария, в чем легко убедиться, обводя вокруг себя не-
вращающийся шаровидный предмет. Если же медленно
поворачивать этот предмет вокруг его оси в направлении

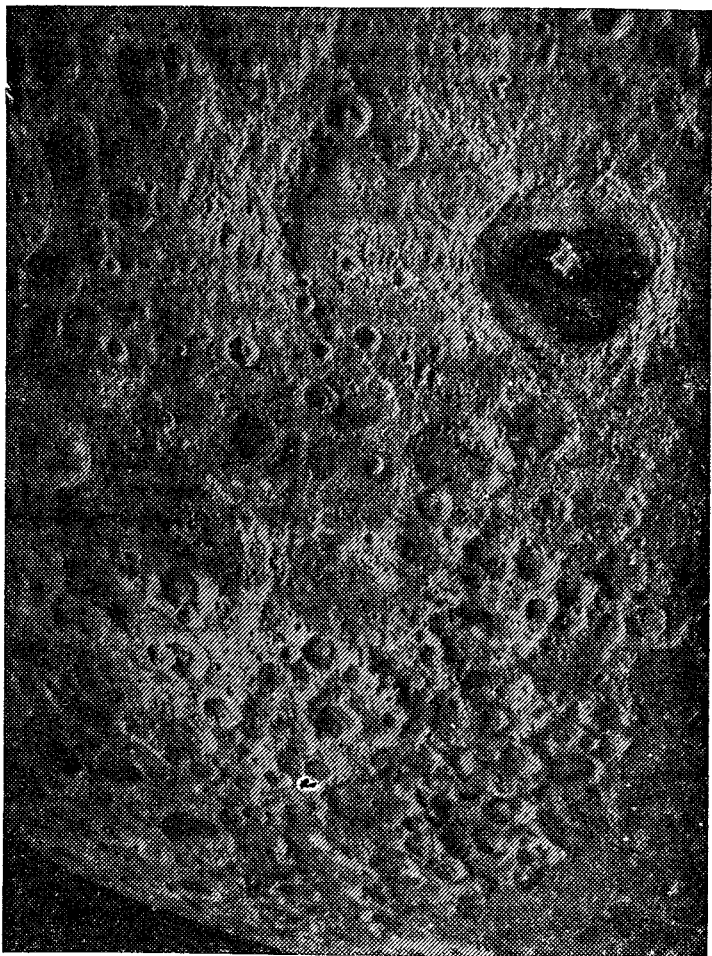


Рис. 26. Фотография участка невидимого полушария Луны.

обвода и с тем же периодом, то будет видно только одно
его полушарие.

Эти объяснения могут быть легко проиллюстрированы.
На рис. 25, а изображены четыре положения Луны отно-

сительно Земли, в предположении, что вращение Луны вокруг оси отсутствует. В этом случае лунные полушария, обозначенные буквами *A* и *B*, всегда обращены в пространстве в неизменных направлениях и, следовательно, поочередно обозримы с Земли. При вращении же Луны вокруг оси с тем же периодом, за который Луна обходит Землю (рис. 25, б), одно лунное полушарие (*A*) всегда обращено к Земле, а второе (*B*) отвернуто от нее и никогда с нее не видно. Луна именно поэтому и обращена к Земле одним своим полушарием, что медленно вращается вокруг оси в направлении своего движения вокруг Земли (с запада к востоку) с периодом, равным звездному, или сидерическому, месяцу. Другими словами, периоды вращения Луны и ее обращения вокруг Земли строго одинаковы. Такое вращение называется синхронным.

Из-за совпадения периодов вращения и обращения Луны продолжительность ее солнечных суток равна синодическому месяцу, так что на Луне 14,8 земных суток длится день и столько же ночь.

Невидимое, или обратное, лунное полушарие сейчас хорошо изучено по фотографиям, полученным советскими и американскими лунными станциями. Одна из таких фотографий воспроизводится на рис. 26.

4. СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ И УСЛОВИЯ ИХ НАСТУПЛЕНИЯ

В своем движении вместе с Землей вокруг Солнца Луна часто заслоняет (покрывает) звезды зодиакальных созвездий, по которым проходит лунный путь. Значительно реже происходят покрытия Луной планет, оказавшихся на небе в непосредственной близости к лунному пути. Периодически Луна частично или полностью заслоняет Солнце — происходят солнечные затмения.

Солнечные затмения возможны только при новолуниях, когда Луна проходит между Солнцем и Землей, но далеко не при всех, поскольку Луна может отходить от эклиптики (на которой находится Солнце) на $5^{\circ},2$, а диаметры солнечного и лунного дисков близки к $0^{\circ},5$ и, следовательно, покрытия Солнца Луной не всегда осуществимы. Условия наступления солнечных затмений мы рассмотрим несколько позже, а сейчас покажем, что солнечные затмения видны отнюдь не из всех местностей дневного полушария Земли, так как из-за своих небольших размеров Луна не может скрыть Солнца от всего земного полушария.

Солнце дальше от Земли, чем Луна, примерно в 390 раз, но его линейный диаметр (1 392 000 км) почти в 400 раз превышает диаметр Луны (3476 км), и поэтому освещаемая Солнцем Луна отбрасывает в пространство сходящийся конус тени и окружающий его расходящийся конус полутени. Когда эти конусы пересекаются с земной поверхностью, то лунная тень и полутень падают на нее, и на ней происходит солнечное затмение (рис. 27). Из мест земной

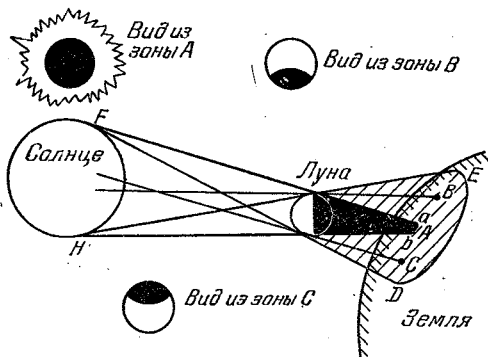


Рис. 27. Схема полного солнечного затмения.

поверхности, оказавшихся в лунной тени (A на рис. 27), видно полное солнечное затмение (Солнце полностью закрыто Луной), а в местностях, покрытых лунной полутенью (B и C на рис. 27), происходит частное солнечное затмение (солнечный диск заслонен Луной не полностью): из-за близости Луны к Земле из южной зоны (C) полутени видна закрытой северная (верхняя) часть солнечного диска, а из северной зоны (B) — южная (нижняя) его часть. Таким образом, из разных мест земной поверхности Луна видна в несколько различающихся направлениях, и такое кажущееся смещение называется параллактическим (от греческого «параллаксис» — уклонение). Его легко продемонстрировать на опыте, для чего достаточно посмотреть на очень близкий предмет (хотя бы на свой собственный палец) поочередно то правым, то левым глазом. У Луны параллактическое смещение может достигать 1° .

Степень покрытия Солнца Луной называется фазой солнечного затмения и измеряется отношением закрытой части (d) диаметра солнечного диска ко всему его диаметру (d_\odot), т. е. фаза солнечного затмения (рис. 28, a) есть

величина

$$\Phi = \frac{d}{d_{\odot}},$$

и всегда выражается десятичной дробью. Для любого момента затмения его фаза может быть вычислена по радиусам лунного (r_{ζ}) и солнечного (r_{\odot}) дисков и угловому

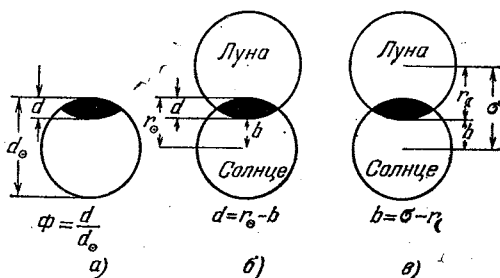


Рис. 28. Фаза солнечного затмения.

расстоянию (σ) между их центрами (рис. 28, б и в). Поскольку $d_{\odot} = 2r_{\odot}$, $d = r_{\odot} - b$ (см. рис. 28, б), а $b = \sigma - r_{\zeta}$ (см. рис. 28, в), то $d = r_{\zeta} + r_{\odot} - \sigma$, и фаза солнечного затмения

$$\Phi = \frac{r_{\zeta} + r_{\odot} - \sigma}{2r_{\odot}}.$$

В зоне лунной полутени, где происходит частное солнечное затмение, $r_{\zeta} < r_{\odot} + \sigma$ (см. рис. 28, в), и поэтому $r_{\zeta} + r_{\odot} - \sigma < 2r_{\odot}$, т.е. всегда фаза затмения $\Phi < 1$ и уменьшается в направлении к внешней границы зоны (DE на рис. 27), на которой видно внешнее касание дисков, и, следовательно, $\sigma = r_{\zeta} + r_{\odot}$, а фаза $\Phi = 0$; за этой границей затмение вообще не происходит. Следовательно, солнечные затмения принадлежат к чисто оптическим явлениям.

Лунная тень и полутень на земной поверхности имеют вид овальных пятен, форма которых зависит от положения Солнца и Луны над горизонтом: чем меньше их высота, тем более полого к земной поверхности направлена ось обоих конусов и тем более вытянуты пятна тени и полутени. Если же солнечное затмение происходит вблизи зенита, что возможно только в тропическом поясе Земли,

то ось конусов почти перпендикулярна к земной поверхности и форма лунной тени и полутени на ней близка к круговой.

Читатель, наверное, видел, как движется по земной поверхности тень от облаков или как быстро пробегает по ней тень от низко летящего самолета. Подобно этому из-за движения Луны с запада к востоку ее тень и полутень быстро мчатся по земной поверхности примерно в том же направлении, уклоняясь либо к северу, либо к югу *), и совокупность мест, по которым последовательно пробегает лунная тень, образует на Земле своеобразную полосу, называемую полосой полной фазы, посередине которой проходит центральная линия затмения (см. карту затмения). С центральной линии затмения видно симметричное покрытие солнечного диска лунным, так что в середине затмения центры обоих дисков совпадают, их взаимное расстояние $\sigma = 0$, и, следовательно, наибольшая полная фаза затмения

$$\Phi_m = \frac{r_\zeta + r_\odot}{2r_\odot} = \frac{1}{2} \left(\frac{r_\zeta}{r_\odot} + 1 \right),$$

а продолжительность полной фазы зависит от соотношения радиусов дисков. При $r_\zeta = r_\odot$ даже наибольшая фаза $\Phi_m = 1$ и длится одно мгновение. При самых же благоприятных условиях, когда $r_\zeta = 16',8$ (Луна в перигее) и $r_\odot = 15',8$ (Земля в афелии), что возможно только в самом конце июня и в начале июля, $r_\zeta/r_\odot = 1,06$, наибольшая фаза полного затмения $\Phi_m = 1,03$, а само полное затмение длится не более 7,5 мин.

На границах полосы полной фазы хорошо заметно параллактическое смещение Луны и поэтому покрытие ею Солнца происходит асимметрично, с внутренним касанием их дисков, при котором $\sigma = r_\zeta - r_\odot$, полное затмение длится одно мгновение, а его наибольшая фаза

$$\Phi_m = \frac{r_\zeta + r_\odot - \sigma}{2r_\odot} = \frac{r_\zeta + r_\odot - (r_\zeta - r_\odot)}{2r_\odot} = 1.$$

Ширина полосы полной фазы не одинакова на всем ее протяжении, так как зависит не только от диаметра лунной тени, падающей на земную поверхность, но и от высоты Солнца над горизонтом, которая различна в разных местах полосы. Величина диаметра лунной тени у земной

*) Вспомним, что лунный путь наклонен к небесному экватору на угол, доходящий почти до 29° (см. с. 42).

поверхности обусловлена взаимными расстояниями Земли, Луны и Солнца во время затмения.

Из-за периодического изменения этих расстояний конус лунной тени может иметь длину от 367 000 до 379 700 км, и поэтому даже при наименьшем геоцентрическом расстоянии Луны в 356 410 км (Луна в перигее) и наибольшем

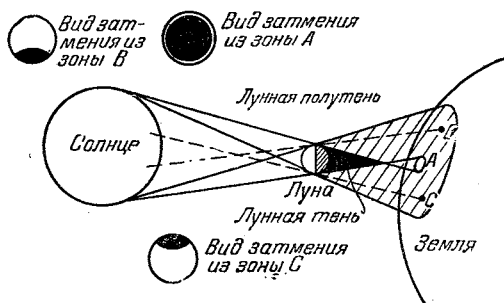


Рис. 29. Схема кольцеобразного солнечного затмения.

диаметре ее диска ($33',5$) диаметр лунной тени у земной поверхности не превышает 270 км. При этих же условиях диаметр лунной полутени близок к 6750 км и, следовательно, частное солнечное затмение видно к югу и к северу от полосы полной фазы до расстояния около 3240 км [$(6750 \text{ км} - 270 \text{ км}) : 2 = 3240 \text{ км}$].

Но уже при средних расстояниях Луны от Земли (384 400 км) и Земли от Солнца лунный диск (диаметр $31',1$) меньше солнечного ($32',0$), а конус лунной тени имеет длину около 373 300 км и не доходит до земной поверхности примерно на 4700 км (рис. 29). Поэтому Луна не закрывает Солнца полностью, и вместо полного происходит кольцеобразное затмение, при котором вокруг темного лунного диска видно узкое яркое кольцо незакрытой солнечной поверхности. Наибольшая фаза кольцеобразного затмения тоже определяется по-прежнему, и так как $r_{\zeta} < r_{\odot}$, то $\Phi_m < 1$, но даже при наименьшем $r_{\zeta} = 14',7$ (Луна в апогее) и наибольшем $r_{\odot} = 16',3$ (Земля в перигелии), что возможно только в самом конце декабря и начале января, кольцеобразная фаза затмения не может быть меньше

$$\Phi_m = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{14',7}{16',3} + 1 \right) = 0,95.$$

Полоса на земной поверхности, из которой видно кольцеобразное затмение, называется полосой кольцеобразной фазы, по обе стороны которой происходит частное затмение. Тут же отметим, что полоса кольцеобразной фазы и полоса полной фазы часто именуется полосой главной фазы, а оба эти вида затмения — центральными.

При наибольшем удалении Луны от Земли до 406 740 км (Луна в апогее) вершина конуса лунной тени не доходит до земной поверхности на 33 360 км, ширина полосы кольцеобразной фазы возрастает до 380 км, а диаметр лунной полутени увеличивается до 7340 км, что все же далеко недостаточно для покрытия всего полушария Земли.

Таким образом, полные солнечные затмения могут происходить лишь при геоцентрических расстояниях Луны меньше среднего расстояния, когда лунный диск равен или больше солнечного, а конус лунной тени направлен к Земле, причем ширина полосы полной фазы при разных затмениях различна, а чаще всего бывает от 40 до 100 км.

Когда на Землю вместе с лунной тенью вступает вся лунная полутень, то по земной поверхности проходят обе границы солнечного затмения, северная и южная, определяемые поперечником полутени. Когда же лунная тень падает на Землю, а полутень частично оказывается вне Земли (рис. 30), то затмение имеет только одну границу, либо северную (полное затмение в южном полушарии Земли), либо южную (полное затмение в северном полушарии Земли). Но нередко бывает и так, что лунная тень мигает Землю, а полутень частично захватывает ее (рис. 31), и тогда происходят только частные солнечные затмения, видимые лишь в средней и полярной зоне либо северного, либо южного земного полушария.

Причину и виды солнечных затмений можно показать на простом опыте, демонстрируемом в затемненном помещении. Поставьте на одном конце длинного стола электрическую лампу (лучше в шаровом матовом

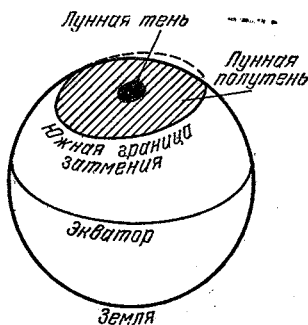


Рис. 30. Солнечное затмение с одной (южной) границей.

абажуре), на другом конце — географический глобус, а между ними подвесьте на нитке небольшой шарик. Освещаемый лампой шарик будет отбрасывать тень и полутень на глобус, т. е. демонстрировать полное

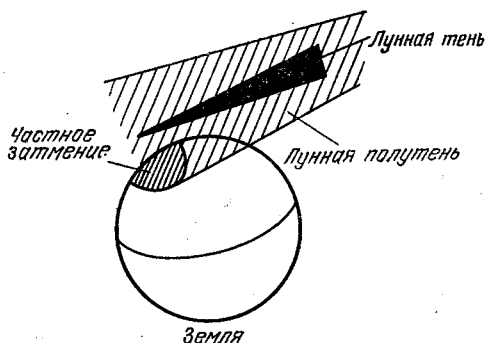


Рис. 31. Частное затмение на Земле; лунная тень мигует Землю.

и частное солнечное затмение. Сместив шарик несколько вверх или вниз, можно пропустить его тень мимо глобуса, оставив на нем только полутень, что покажет причину частных солнечных затмений. Смещение шарика далее в том же направлении до схода его полутени с глобуса продемонстрирует новолуние без солнечных затмений.

Солнечное затмение начинается с правого, западного края Солнца, на диске которого появляется небольшой ущерб, имеющий форму окружности того же радиуса. Постепенно фаза затмения увеличивается, и солнечный диск принимает вид непрерывно суживающегося серпа, значительно отличающегося по своей форме от серповидных лунных фаз, ограниченных не круговым, а эллиптическим терминатором. Если затмение частное (рис. 32), то в середине затмения его фаза достигает некоторого наибольшего значения, а затем снова уменьшается, и затмение оканчивается на левом, восточном краю солнечного диска. При частных затмениях ослабления солнечного света почти не заметно (за исключением затмений с наибольшей фазой, близкой к 1), и фазы затмения видны лишь при наблюдениях сквозь темный светофильтр. В полосе полной фазы

солнечное затмение тоже начинается с частных фаз, но когда Луна полностью закроет Солнце, наступает полумрак, как в темные сумерки, и на потемневшем небе появляются самые яркие звезды и планеты, а вокруг Солнца видно красивое лучистое сияние жемчужного цвета — солнечная корона, представляющая

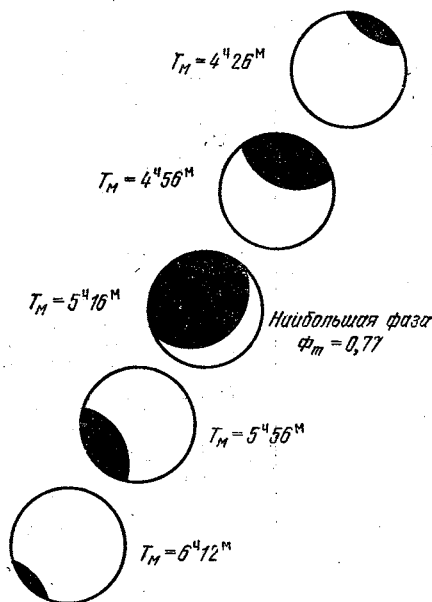


Рис. 32. Фазы частного солнечного затмения 31 июля 1981 г. в Ташкенте в различные моменты московского времени.

собой внешние слои солнечной атмосферы, не видимые вне затмения из-за их небольшой яркости в сравнении с яркостью дневного неба (см. рис. 7). Над всем горизонтом вспыхивает розовое заревое кольцо — это в местность, покрытую лунной тенью, проникает солнечный свет из соседних зон, где полного затмения не происходит, а наблюдается только частное. Ведь синие и голубые лучи, входящие в состав солнечного света, обильно рассеиваются уже верхними слоями земной атмосферы, а красные и оранжевые проходят сквозь них почти беспрепятственно. Поэтому нижние слои воздуха воспринимаются окрашенными в красноваторозовый цвет.

Вскоре, чаще всего через 2—3 минуты, Луна открывает западный солнечный край, полная фаза затмения оканчивается, пропадает заревое кольцо, быстро светлеет, исчезают звезды, планеты и солнечная корона. Далее следуют уменьшающиеся частные фазы и, наконец, солнечное затмение оканчивается. Между прочим, вид солнечной короны меняется из года в год; она бывает то «растрепанной», то вытянутой вдоль солнечного экватора в зависимости от фазы солнечной активности. Вероятно, вытянутая корона дала повод древним египтянам изображать Солнце крылатым.

В каждой местности затмение начинается и оканчивается в различные моменты времени, и его обстоятельства, в том числе и продолжительность, зависят от скорости и направления движения лунной тени (полутени). Вычисленные обстоятельства затмения наносятся на географическую карту, которая в этом случае называется картой солнечного затмения (см. вклейку). Вычисления эти, как и вычисления всех обстоятельств солнечных затмений для разных местностей Земли, очень сложны, поскольку скорость лунной тени (и полутени) на земной поверхности зависит от величины и направления геоцентрической скорости Луны, от географической широты местности и от угла наклона конуса лунной тени к поверхности этой местности. Но все же, ради наглядности, мы приведем очень приближенный метод вычисления продолжительности полного солнечного затмения на центральной линии полосы полной фазы.

Коль скоро движение Луны и вращение Земли происходят в одном направлении, то лунная тень перемещается по земной поверхности примерно со скоростью

$$v_T = v - v_0,$$

где v — геоцентрическая скорость Луны и v_0 — линейная скорость точек земной поверхности в направлении движения лунной тени.

Наибольшая возможная продолжительность полной фазы затмения возможна только при максимальном диаметре лунной тени $D_T = 270$ км и лишь в экваториальной зоне Земли, где линейная скорость точек земной поверхности наибольшая и на экваторе близка к $v_0 = 0,47$ км/с. Максимальный же, диаметр лунной тени возможен лишь при наименьшем геоцентрическом

расстоянии Луны, когда ее скорость приближается к $v = 1,08$ км/с. Поэтому наибольшая возможная продолжительность полной фазы солнечного затмения

$$\tau_m = \frac{D_\tau}{v - v_0} = \frac{270}{1,08 - 0,47} = 443^c = 7^m 23^c,$$

а более точные расчеты приводят к значению $\tau_m = 451^c = 7^m 31^c$.

Но условия для таких продолжительных полных затмений наступают крайне редко. На протяжении полутора тысяч лет, с VII до начала XXIII в., не было и не будет ни одного такого затмения. Но с несколько меньшей продолжительностью полные солнечные затмения в XX в. были 8 июня 1937 г., длительностью $7^m 04^c$ (полоса полной фазы проходила по Тихому океану, Южной и Центральной Америке), 20 июня 1955 г. длительностью $7^m 08^c$ (полоса шла по Индийскому океану, Филиппинским островам и Тихому океану) и 30 июня 1973 г. в Центральной Африке, продолжавшееся в Нигере $7^m 10^c$. Полное же солнечное затмение почти наибольшей возможной продолжительности ($7^m 29^c$) произойдет лишь 16 июля 2186 г. в экваториальном поясе Земли.

Аналогично можно подсчитать, что в исключительных случаях наибольшая продолжительность кольцеобразной фазы солнечного затмения достигает $12^m,3$, а частного затмения — до 3,5 часа. Но подавляющее большинство затмений длится до двух с половиной часов, а их полная или кольцеобразная фаза всего лишь 2—3 минуты. Общая же длительность полного затмения на Земле, с момента вступления лунной тени на нашу планету до момента схода тени с нее, обычно составляет от одного до трех с половиной часов, и за этот промежуток времени лунная тень пробегает по Земле путь от 6000 до 12 000 км. Солнечное затмение начинается в западных районах земной поверхности при восходе Солнца и заканчивается на востоке при его заходе. Общая продолжительность всех фаз солнечного затмения на Земле может достигать шести часов.

Теперь рассмотрим условия наступления солнечных затмений. Представим себе эклиптику, пересекающийся с нею в лунных узлах Ω и \mathcal{S} под углом $i = 5^\circ,2$ лунный путь и положения Солнца и Луны в различные новолуния (рис. 33). При новолуниях, происходящих

вдали от лунных узлов (новолуния 1, 7, 8, 13), солнечные затмения невозможны! Луна проходит на небе ниже (южнее) или выше (севернее) Солнца. И только при новолуниях вблизи лунных узлов наступают частные (новолуния 3, 5, 10) и полные или кольцеобразные (новолуния 4, 11) солнечные затмения. Чтобы произошло

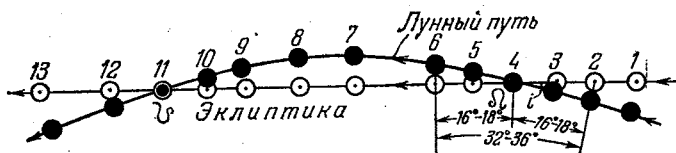


Рис. 33. Условия наступления солнечных затмений (ради наглядности наклонение i лунного пути преувеличено). Солнце (☉) и Луна (☾) при различных новолуниях.

частное затмение, необходимо внешнее касание солнечного и лунного дисков (новолуния 2, 6, 12), диаметры которых примем приближенно за $0^{\circ},5$, и тогда видимое

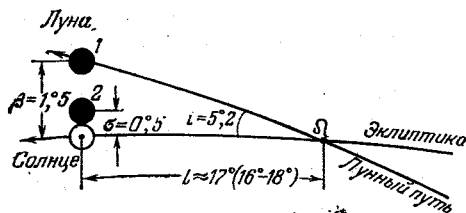


Рис. 34. Истинное (1) и видимое (2) положение Луны.

угловое расстояние между центрами дисков $\sigma = 0^{\circ},5$ (рис. 34). Но из-за близости к Земле параллактическое смещение Луны может достигать $p = 1^{\circ}$, и поэтому из ряда мест земной поверхности касание дисков будет видно даже при истинном расстоянии $\beta = 0^{\circ},5 + 1^{\circ} = 1^{\circ},5$. Сферическая тригонометрия дает формулу, позволяющую вычислить угловое расстояние l Солнца от лунного узла, $\sin l = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} i = \operatorname{tg} 1^{\circ},5 \cdot \operatorname{ctg} 5^{\circ},2 = 0,0262 \cdot 11,095 = 0,2906$,

откуда $l = 16^{\circ},9 \approx 17^{\circ}$.

Такие же подсчеты для наибольших и наименьших диаметров дисков обоих светил дают соответственно $l = 18^{\circ}$ и $l = 16^{\circ}$. Следовательно, частные солнечные

затмения могут произойти при новолуниях, наступающих не далее 18° от лунных узлов, а при расстояниях менее 16° они происходят обязательно.

При полных и кольцеобразных солнечных затмениях истинное расстояние между центрами дисков светил определяется только параллаксом Луны $p = 1^\circ$ (так как $\sigma = 0$) и поэтому при наименьших диаметрах дисков $l = 10^\circ$, а при наибольших — $l = 11^\circ,5$. Значит, такие затмения происходят в периоды новолуний, наступающих не далее $11^\circ,5$ от лунных узлов, и чем ближе к узлу происходит затмение, тем больше его продолжительность. Наиболее продолжительные из этих затмений происходят в самих узлах, и полоса их главной фазы пролегает в тропическом поясе Земли.

Солнечные затмения происходят ежегодно. В самом деле, дуга эклиптики, в пределах которой происходят солнечные затмения и поэтому называемая зоной солнечных затмений (см. рис. 33), имеет протяженность в $32^\circ - 36^\circ$ (по $16^\circ - 18^\circ$ в обе стороны от лунного узла), и Солнце, ежесуточно смещаясь по эклиптике примерно на 1° , должно пройти эту зону за $32 - 36$ суток. Но лунные узлы сами смещаются навстречу Солнцу за сутки на $0^\circ,053$, а за $32 - 36$ суток — почти на 2° , и поэтому Солнце проходит зону затмений за $30 - 34$ дня, на протяжении которых обязательно наступает хотя бы одно новолуние, а иногда и два (вблизи краев зоны), так как они чередуются через $29,53$ суток (синодический месяц). Следовательно, в зоне затмений у каждого лунного узла обязательно происходит одно солнечное затмение того или иного вида, а иногда, значительно реже, — по два частных затмения с небольшой фазой. Но двух подряд центральных, т. е. полных или кольцеобразных, солнечных затмений вблизи одного лунного узла (т. е. на протяжении 34 суток) быть никак не может, потому что такие затмения наступают не далее $11^\circ,5$ в обе стороны от лунного узла, а эту зону в 23° ($2 \cdot 11^\circ,5$) Солнце проходит за 22 суток, в интервале которых возможно только одно новолуние.

Ежегодно наступают два периода (две эпохи), в которые происходят солнечные затмения. Эти эпохи отделены примерно полугодом, так как зоны солнечных затмений диаметрально противоположны. В самом деле, чтобы произошло солнечное затмение, Луна в фазе новолуния и Солнце должны находиться в одной и той же зоне затмений. Луна, но, конечно, в разных своих

фазах, проходит каждую из этих зон ежемесячно, так как драконический месяц содержит 27, 21 суток. Солнцу же, при его ежесуточном смещении по эклиптике к востоку примерно на 1° , на перемещение по дуге в 180° между лунными узлами требуется около полугода. Но из-за отступления лунных узлов на $19^\circ,3$ за год ($365^д,3$)*), Солнце возвращается к одному и тому же узлу через промежуток времени $T_\Omega = 365^д,3 - 19^д,3 = 346$ суток, а точнее, — через промежуток $T_\Omega = 346,62$ суток, называемый драконическим годом. Покинув один лунный узел, Солнце вступает в противоположный узел через половину драконического года, т. е. через 173 суток, а шесть синодических месяцев составляют $6 \cdot 29^д,53 = 177$ суток, и Луна в фазе новолуния тоже обязательно окажется в зоне затмений. Поэтому солнечные затмения происходят через каждые 177—178 суток. За полгода (около 183 суток) эпохи затмений смещаются на пять суток вперед, на более ранние календарные даты и постепенно переходят на разные сезоны года: с лета и зимы на весну и осень, снова на зиму и лето и т. д.

Так как в каждой зоне затмений обязательно происходит по одному солнечному затмению любого вида, то минимальное число солнечных затмений в году равно двум. Но в каждой зоне может произойти по два частных солнечных затмения с небольшими фазами, и тогда на протяжении одного календарного года будет четыре затмения. Если же первая пара частных солнечных затмений в одной зоне произойдет в начале января и февраля, то следующая пара частных затмений в другой зоне может наступить в самом начале июля и августа, а из очередной вероятной пары частных затмений возможно только одно в самом конце декабря, а второе придется уже на январь следующего календарного года. Таким образом, наибольшее число солнечных затмений в одном календарном году не превышает пяти, и все они обязательно частные с небольшими фазами.

Однако такие случаи чрезвычайно редки. Последний раз пять солнечных затмений было в 1935 г. и до 2206 г. этого больше не повторится. Но четыре частных затмения будут в 1982 г., 2000, 2011, 2029 и в 2047 г. Чаще всего ежегодно бывает по 2—3 солнечных затмения,

*) Земля совершает полный оборот вокруг Солнца за $365^д,26 \approx 365^д,3$.

причем одно из них, как правило, полное или кольцеобразное.

В разные годы лунная тень пробегает по различным местам земной поверхности, и поэтому в каждой местности полные солнечные затмения действительно происходят очень редко, в среднем один раз за 300—400 лет, хотя бывают и исключения. Так, например, в Москве полные солнечные затмения были видны 11 августа 1123 г. *), 20 марта 1140 г. (т. е. через 16 лет), 7 июня 1415 г. (через 275 лет), 25 февраля 1476 г. (через 61 год) и в ее окрестностях — 19 августа 1887 г. (через 411 лет). Очередное полное затмение Солнца в Москве, продолжительностью около 4 мин, произойдет лишь 16 октября 2126 г. В Жданове же и Ейске полные солнечные затмения наблюдались 30 июня 1954 г. и 15 февраля 1961 г., т. е. менее чем через 7 лет.

Частные солнечные затмения происходят в каждой местности, естественно, чаще полных затмений, так как диаметр лунной полутени значительно превышает поперечник лунной тени. Так, например, на долю Москвы за 30 лет, с 1952 по 1981 г. включительно, приходится 13 частных солнечных затмений, т. е. в Москве они происходят в среднем через каждые 2—3 года. Аналогичная картина присуща и многим другим местам земной поверхности. Но коль скоро при частных солнечных затмениях с небольшой фазой ослабления солнечного света не заметно, то на них часто не обращают внимания.

Солнечные затмения периодически повторяются, так как их наступление зависит от трех периодов: периода смены лунных фаз, или синодического месяца $S = 29^д,5306$, периода возвращения Луны к одному из лунных узлов, или драконического месяца $S_{\Omega} = 27^д,2122$ и периода возвращения Солнца к тому же лунному узлу, или драконического года $T_{\Omega} = 346^д,6200$. Легко подсчитать, что

$$223 \cdot S = 223 \cdot 29^д,5306 = 6585,32 \text{ суток,}$$

$$242 \cdot S_{\Omega} = 242 \cdot 27^д,2122 = 6585,35 \text{ суток,}$$

$$19 \cdot T_{\Omega} = 19 \cdot 346^д,6200 = 6585,78 \text{ суток.}$$

Следовательно, каждое солнечное затмение повторяется через период времени в 6585,3 суток = 18 лет

*) Даты даются по современному календарю.

11,3 суток (или 10,3 суток, если в этом периоде содержится пять високосных лет), названный саросом. На протяжении сароса в среднем происходит 42—43 солнечных затмения, из которых 14 полных, 13—14 кольцеобразных и 15 частных. Однако по истечении сароса каждое затмение повторяется в других условиях, так как сарос не содержит целого числа суток, а за избыток около 0,3 суток (сверх 6585 дней) Земля повернется вокруг оси примерно на 120° и поэтому лунная тень пробежит по земной поверхности на те же 120° западнее, чем 18 лет назад, да и Солнце с Луной будут находиться на несколько иных расстояниях от лунного узла.

Предстоящее полное солнечное затмение 31 июля 1981 г. является повторением полных солнечных затмений, происходивших 9 июля 1945 г. и 20 июля 1963 г. Но полоса полной фазы затмения 9 июля 1945 г. проходила в направлении от Карельской АССР к Оренбургской области и далее по Казахской и Киргизской ССР, а 20 июля 1963 г. — по острову Хоккайдо (Япония), Курильским островам (СССР), Аляске и Канаде. 31 июля 1981 г. лунная тень пробежит от Грузинской ССР через Северный Кавказ, Казахскую ССР и Южную Сибирь к Дальнему Востоку (см. с. 81). Очередное же полное солнечное затмение по прошествии сароса произойдет 11 августа 1999 г. и будет видно в Атлантическом океане, Центральной Европе, Турции и Иране.

Закономерность повторения солнечных затмений более сложна, чем она представлена саросом, так как синодический месяц, драконический месяц и драконический год несоизмеримы между собой и по истечении сароса (6585,3 суток) Луна не доходит до своего прежнего положения относительно лунного узла на $0^\circ,47$.

Назовем серией, или цепочкой затмений их совокупность, отделенную промежутком в один сарос от другой такой же совокупности. Если в какой-то день полное солнечное затмение этой серии произошло в самом лунном узле и имело наибольшую продолжительность, то через 6585,3 суток Луна не дойдет до того же узла, а окажется на расстоянии около $0^\circ,47$ к западу от него, и поэтому полное солнечное затмение произойдет на таком же расстоянии к западу от узла и будет иметь несколько меньшую продолжительность. Еще через сарос (18 лет 11,3 дня) такой сдвиг опять повторится, и полное солнечное затмение произойдет на расстоянии $0^\circ,94$ к западу от

того же лунного узла, а по истечении очередного сароса — уже на расстоянии $1^{\circ},41$ к западу от узла и т. д. Но граница зоны полных солнечных затмений отстоит от лунного узла в среднем на 11° , и поэтому через 24 сароса (примерно через 430 лет) Луна окажется уже вне этой зоны, и вместо полного (или кольцеобразного) солнечного затмения произойдет частное. Пройдет еще около 260 лет (14 саросов), и Луна удалится от своего узла более, чем на 18° , т. е. вообще выйдет из зоны солнечных затмений, и на этом данная серия их прекратится. Но взамен нее возникнет новая серия солнечных затмений, которая начнется в 18° восточнее лунного узла в виде частного затмения очень малой фазы и, постепенно сдвигаясь к западу, превратится в центральные затмения, а затем, в 11° западнее узла, затмения снова станут частными, и наконец, и эта серия затмений окончится.

Одна серия солнечных затмений существует от 66 до 74 саросов (в среднем 70 саросов), или от 1190 до 1330 лет, и состоит из 18—32 частных и соответственно из 48—42 центральных затмений. Начинается она кратковременным частным затмением с ничтожной фазой всегда вблизи одного из полюсов Земли. Через 18 лет 11 дней лунная полутень охватывает уже несколько большую зону полярной области Земли, фаза частного затмения увеличивается, и оно становится более продолжительным. На протяжении от 9 до 16 саросов при очередном частном затмении лунная полутень постепенно переходит из полярной зоны в умеренную, и, наконец, в район того же полюса вступает лунная тень — начинается последовательность центральных солнечных затмений. Через каждый сарос эти затмения происходят все ближе к лунному узлу, и лунная тень (с полутенью) постепенно из полярной зоны перемещается в умеренный пояс земной поверхности, а когда затмения подойдут к узлу, то лунная тень промчится по тропической зоне Земли. Далее, по мере отхода затмений от узла, тень и полутень начнут переходить в умеренную зону противоположного земного полушария, затем — в его полярную зону и, наконец, вблизи другого полюса лунная тень соскользнет с Земли. Так заканчивается период центральных затмений, длящийся от 48 до 42 саросов, после которого, на протяжении от 9 до 16 саросов, снова повторяются частные затмения, но уже с убывающей фазой.

В настоящее время благодаря детальному изучению движения Земли и Луны вычислены даты предстоящих солнечных затмений вплоть до 2500 года.

5. НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ

Вычисленные на несколько столетий вперед даты и районы видимости солнечных затмений не вызывают сомнений. Но вычисление на такие длительные сроки всех детальных обстоятельств солнечных затмений, а именно, точных моментов их начала и окончания, наибольшей фазы и четких границ полосы видимости, конечно, невозможно, так как в природе нет ничего неизменного. И хотя движение Земли и Луны изучено с высокой точностью, все же имеется ряд факторов, влияние которых неуловимо на небольших интервалах времени, но которые проявляют себя по прошествии десятков и сотен лет. Поэтому точные обстоятельства предстоящих солнечных затмений вычисляются обычно за несколько лет до их наступления и проверяются их наблюдениями.

Частным солнечным затмениям с небольшой фазой астрономы не уделяют внимания. Но частные затмения со значительной наибольшей фазой уже вызывают интерес, если не у всех астрономов, то по крайней мере у тех, кто занимается изучением движения Луны и Земли. Полные же солнечные затмения астрономы наблюдают обязательно, и для этого им зачастую приходится снаряжать очень далекие экспедиции и заранее, за 2—3 недели до затмения, устанавливать и налаживать научную аппаратуру. Так, например, для наблюдений полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. экспедиция советских астрономов выехала в Бразилию*), а полное солнечное затмение 30 июня 1973 г. наблюдала в Центральной Африке.

К наблюдениям предстоящего 31 июля 1981 г. солнечного затмения, полоса полной фазы которого пройдет по территории Советского Союза, готовятся астрономы многих стран мира. В Советском Союзе такая подготовка проводится планомерно под руководством

*) Оптические наблюдения этого затмения не удалось из-за облачной погоды.

Астрономического совета Академии наук СССР, возглавляемого членом-корреспондентом АН СССР профессором Э. Р. Мустелем. С этой целью Астрономическим советом создана специальная комиссия под председательством члена-корреспондента АН СССР профессора В. А. Крата, известного специалиста в области изучения физической природы Солнца. Эта комиссия, при участии астрономических обсерваторий, разрабатывает обширную программу наблюдений предстоящего солнечного затмения и рекомендует для ее осуществления необходимые астрономические инструменты.

В полосу полного солнечного затмения предполагается направить несколько экспедиций не только от астрономических учреждений, но и от наиболее крупных отделений Всесоюзного астрономо-геодезического общества при Академии наук СССР. Когда организуется несколько экспедиций, то они всегда располагаются на разных участках вдоль полосы полной фазы затмения. Этим обеспечивается не только выполнение запланированных работ большинством экспедиций (некоторые может постигнуть неудача из-за облачности), но и возможность обнаружения изменений в солнечной короне за те полтора часа, за которые лунная тень пробежит по земной поверхности от наиболее западной экспедиции до наиболее восточной. В предстоящем солнечном затмении советские экспедиции будут расщеплены вдоль полосы полной фазы от Восточного Казахстана, где полное затмение произойдет в утренние часы и Солнце поднимется над горизонтом выше 20° , вплоть до Дальнего Востока, на территории которого полное затмение будет наблюдаться уже после полудня по местному времени. На Кавказ и в западные районы Казахской ССР экспедиции не запланированы, так как на Кавказе Солнце взойдет уже затмившимся, а в Западном Казахстане оно в полной фазе затмения будет находиться на небольшой высоте над горизонтом.

Экспедиции, направляемые в полосу полного солнечного затмения, оснащаются специальными астрономическими инструментами, предназначенными для выполнения тех научных задач, которые ставит перед собой та или иная экспедиция. Эти инструменты, при их высоком качестве, имеют сравнительно небольшие размеры, удобные для транспортировки и для быстрой установки на месте, выбранном экспедицией. Установка и проверка

работы даже самого сложного инструмента обычно не занимает более 10—12 дней. В числе оборудования всегда имеются хронометры, а часто и хронографы, регистрирующие время с точностью не ниже 0,1 с, а также универсальные инструменты, позволяющие определять географические координаты места экспедиции.

Одной из главных задач наблюдений полных солнечных затмений является уточнение теории движения Земли и Луны. Как бы ни была совершенна эта теория,

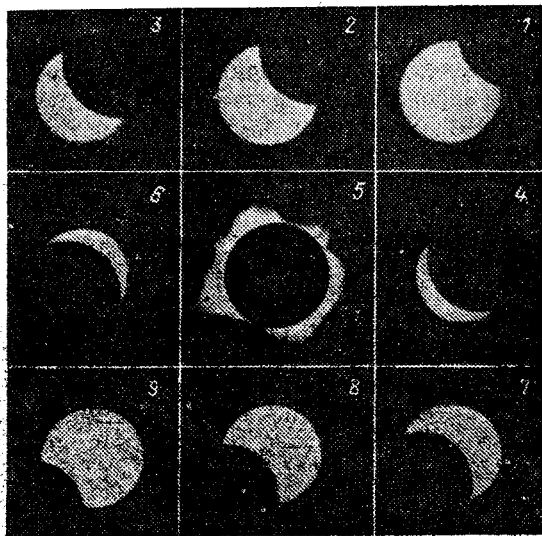


Рис. 35. Ход солнечного затмения в полосе полной фазы.

она все же требует периодического контроля и, может быть, некоторых, хотя и небольших, дополнений, основой которых служат точные определения видимых положений Солнца вместе с Луной, что возможно только во время солнечных затмений. С этой целью фотографируются частные фазы солнечного затмения до и после окончания его полной фазы, причем моменты фотографирования фиксируются с наивысшей возможной точностью. На серии последовательно полученных фотоснимков затмившееся Солнце выглядит серпообразным (рис. 35). Измеряя размеры и ориентировку этих солнечных серпов, можно получить необходимые сведения

о взаимном расположении Луны и Солнца, а следовательно, и изучить ранее неизвестные незначительные отклонения в движении Луны и Земли, если, конечно, они будут обнаружены.

Для фотографирования солнечных серпов используются фотокамеры с длиннофокусными объективами, чтобы диаметры фотографических изображений серпов были не менее 20 мм. Чем крупнее получаются фотографии солнечных серпов, тем более точно они могут быть промерены. Поэтому часто для их фотографирования используются длиннофокусные инструменты, предназначенные для фотографирования солнечной короны и называемые коронографами. У коронографов различных конструкций фокусное расстояние объективов бывает от 4 до 18 м, что позволяет получать фотографические изображения Солнца (и солнечных серпов) от 35 до 160 мм в диаметре.

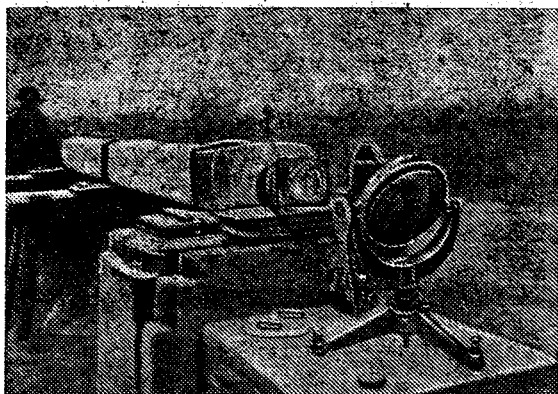


Рис. 36. Пятиметровый стандартный коронограф.

Один из таких коронографов, с фокусным расстоянием в 5 м, показан на рис. 36. Он прочно установлен на кирпичных столбах, а стоящее впереди него плоское зеркало медленно поворачивается за Солнцем и направляет его изображение в объектив коронографа. Объектив тоже медленно и равномерно перемещается в горизонтальной плоскости и тем самым удерживает изображение Солнца на фотопластинке.

Определение точных моментов всех четырех контактов, т. е. моментов начала и окончания как частного, так и

полного затмения, осуществляется записывающими автоматами—хронографами, а самые контакты фиксируются визуально, фотокамерами и киносъёмочными аппаратами. Весьма вероятно, что в предстоящем затмении для этой же цели будет применена и видеозапись.

Другая главная задача наблюдений полного солнечного затмения — это возможно наиболее всестороннее изучение внешних оболочек Солнца, его хромосферы и короны. Правда, сейчас наблюдения хромосферы и солнечной короны проводятся повседневно, вне солнечных затмений, на специальных инструментах, но этих наблюдений оказывается недостаточно, так как они позволяют исследовать хромосферу лишь в строго определенных лучах спектра, а у короны доступна изучению лишь ее внутренняя зона. Во время же полных солнечных затмений видна хромосфера и вся корона.

По фотографиям солнечной короны, полученным с разными выдержками (от 1 до 30 секунд) на коронографах и фотокамерах с различными фокусными расстояниями, имеется возможность детально изучить все зоны короны, от самых внутренних до далеких корональных лучей. Сравнение фотоснимков, выполненных удаленными друг от друга экспедициями, позволяет обнаружить и выяснить причину движения вещества в короне. Этому способствуют и киносъёмки солнечной короны.

Изучается не только структура солнечной короны, но и ее физическое состояние. Для этого излучаемый ею свет анализируется различными астрофизическими приборами. Чтобы исследовать цвет лучей, испускаемых короной, ее фотографируют сквозь разноцветные светофильтры. Присутствие различных химических элементов в хромосфере и короне и их физическое состояние определяется по фотографиям их спектров, получаемым на спектрографах. Один из таких спектров хромосферы показан на рис. 4 (см. с. 13). Он получен в те считанные секунды перед окончанием полного затмения, когда Луна уже приоткрыла хромосферу, но еще закрывает солнечный диск.

Для изучения солнечной короны применяются также специальные прозрачные пластинки и пленки, называемые поляроидами; они позволяют определить преимущественное направление электромагнитных колебаний в световых лучах, излучаемых короной, которое зависит от ее физического состояния. Широко применяются и фо-

тоэлектрические приборы, а также небольшие, легко монтируемые радиотелескопы, состоящие из малогабаритных антенн и чувствительной радиоприемной аппаратуры. Солнечная корона обильно излучает радиоволны, и хотя они улавливаются и вне затмений, тем не менее их исследование во время полного солнечного затмения необходимо потому, что позволяет отделить радиоизлучение короны от радиоизлучения хромосферы.

Еще одной интересной задачей наблюдений полных солнечных затмений является проверка эффекта Эйнштейна. Создатель общей теории относительности выдающийся физик Альберт Эйнштейн (1879—1955) в 1915 г. показал, что световые лучи, проходящие в непосредственной близости к очень массивному телу, подобному Солнцу, должны слегка отклоняться от прямолинейного пути. В частности, при прохождении около края Солнца световые лучи должны отклониться на малый угол в $1'',75$. Проверить этот эффект можно только во время полной фазы солнечного затмения, когда на потемневшем небе рядом с затмившимся Солнцем выступают звезды. При отсутствии эффекта световой луч от звезды S пойдет к наблюдателю по прямой SA (рис. 37), и наблюдатель должен видеть звезду на небе в точке S . При отклонении светового луча его путь искривится в направлении SB , и тогда наблюдатель увидит звезду в точке S' , смещенной в сторону от Солнца на угол в $1'',75$, но у самого солнечного края звезд не бывает видно, так как их слабый свет поглощается светом яркой короны. Обычно удается сфотографировать звезды, отстоящие от края Солнца на угол, равный его радиусу, для которых смещение еще в два раза меньше.

В принципе, такая проверка кажется весьма простой: достаточно сфотографировать затмившееся Солнце с окружающими его звездами, а затем, через полгода, когда Солнце переместится в противоположную область неба, снова сфотографировать те же звезды ночью. Сравнение

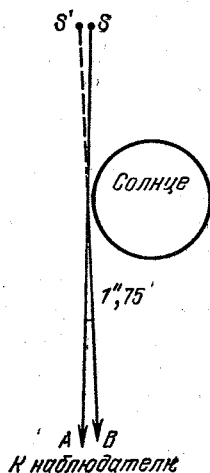


Рис. 37. Отклонение светового луча вблизи Солнца.

между собой положений изображений звезд на обоих фотонегативах позволит измерить их смещение, вызванное эффектом Эйнштейна.

Однако на практике все оказалось значительно сложнее. Далеко не всегда вокруг затмившегося Солнца бывают достаточно яркие звезды, доступные фотографированию за те 2—3 минуты, пока длится полное затмение. Чтобы надежно измерить на фотонегативах угол, меньший $1''$, нужен их подходящий масштаб, который обеспечивается лишь длиннофокусными фотокамерами. Так, например, даже при объективе с фокусным расстоянием $F = 6$ м (6000 мм) смещение в $1''$ соответствует на фотонегативе отрезку длиной в 0,03 мм. В процессе фотографирования приходится все время плавно поворачивать фотокамеру за Солнцем, иначе фотоснимок окажется размытым, а обеспечить точное движение длиннофокусной камеры очень сложно. Имеется еще ряд причин чисто астрономического и инструментального характера, которые затрудняют проверку эффекта Эйнштейна.

Несмотря на большие затруднения, наблюдения для проверки эффекта Эйнштейна во время полных солнечных затмений проводились неоднократно (в том числе и в СССР академиком А. А. Михайловым), каждый раз на все более совершенствуемых инструментах. Наблюдения дали смещение, очень близкое предсказанному теоретически и в реальности которого не может быть сомнений.

6. ОБСТОЯТЕЛЬСТВА И КАРТА СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 31 ИЮЛЯ 1981 г.

Общее предвычисление обстоятельств полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. для Земли выполнено в Институте теоретической астрономии Академии наук СССР (Ленинград), а более подробное вычисление затмения проведено в Пулковской обсерватории. Основные числовые значения (так называемые элементы) для таких вычислений опубликованы в 1978 г. в «Астрономическом Ежегоднике СССР на 1981 год». Вычисления обстоятельств солнечных затмений очень сложны и проводятся на основе теории, учитывающей множество факторов, связанных с движением Луны и Земли. Интересующимся теоретическими принципами предвычислений солнечных затмений можно рекомендовать небольшую по объему книгу

М. М. Дагаева «Солнечные и лунные затмения» (М.: Наука, 1978 г.).

Публикуемые ниже (с. 87—101) обстоятельства солнечного затмения 31 июля 1981 г. на территории Советского Союза вычислены Л. И. Румянцевой и по этим вычислениям ею же построена карта солнечного затмения, приложенная к данной книге.

Полное солнечное затмение происходит только в сравнительно узкой полосе земной поверхности, по которой пробегает лунная тень, и эта полоса называется полосой полной фазы затмения. В середине нее пролегает центральная линия затмения, с которой видно симметричное покрытие Солнца Луной.

К северу и к югу от полосы полной фазы, в местностях, закрытых лунной полутенью, происходит частное солнечное затмение; там наблюдаются только его частные фазы. Чем дальше от полосы полной фазы расположена местность, тем меньше длительность частного затмения и тем меньше его наибольшая фаза, которая наступает в середине затмения.

Частные фазы солнечного затмения 31 июля 1981 г. будут видны в Европе, Азии, северо-западных районах Северной Америки, Гренландии, Северном Ледовитом океане, северной акватории Индийского океана и в Тихом океане. Они будут видны на всей территории СССР, кроме самых крайних западных районов, где Солнце еще не взойдет.

Полоса полной фазы затмения пройдет по территории СССР в северо-восточном направлении от берега Грузии до Дальнего Востока (см. карту), а затем по Тихому океану к Гавайскому архипелагу. Так как лунная тень окружена полутенью, то в полосе полной фазы солнечное затмение начинается и оканчивается частными фазами, которые до полного затмения возрастают, а после него уменьшаются.

31 июля 1981 г. солнечное затмение на Земле начнет в $4^{\text{h}}11^{\text{m}}$ по московскому времени. В этот момент лунная полутень вступит на Землю при восходе Солнца в южном районе Демократической Республики Афганистан, недалеко от ее границы с Пакистаном, в местности с восточной долготой $62^{\circ}53'$ и северной широтой $29^{\circ}40'$. Отсюда лунная полутень начнет распространяться по земной поверхности, все более охватывая ее северные, восточные и южные районы. Быстро перемещаясь в восточном нап-

равлении, лунная полутень покинет Землю в $9^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ по московскому времени в центральной акватории Тихого океана, вблизи островов Гилберта, в зоне с западной долготой $179^{\circ}26'$ и северной широтой $12^{\circ}12'$. Здесь частное затмение окончится при заходе Солнца.

Полное солнечное затмение начнется при вступлении на Землю лунной тени. Это произойдет в $5^{\text{ч}}17^{\text{м}},7$ по московскому времени при восходе Солнца в восточной акватории Черного моря с восточной долготой $39^{\circ}46'$ и северной широтой $42^{\circ}02'$, т. е. примерно в 150 км от Сухуми (Грузинская ССР). Пройдя по территории СССР, лунная тень сойдет с Земли в $8^{\text{ч}}13^{\text{м}},9$ по московскому времени при заходе Солнца в центральной акватории Тихого океана с западной долготой $158^{\circ}04'$ и северной широтой $24^{\circ}52'$. Таким образом, общая продолжительность солнечного затмения на Земле составит $5^{\text{ч}}09^{\text{м}}$, а длительность его полной фазы $2^{\text{ч}}56^{\text{м}}$. За этот промежуток времени лунная тень пройдет по земной поверхности расстояние около 12 300 км.

Так как Луна движется вокруг Земли с запада к востоку, то в северном полушарии Земли, в котором находится Советский Союз, солнечное затмение начинается

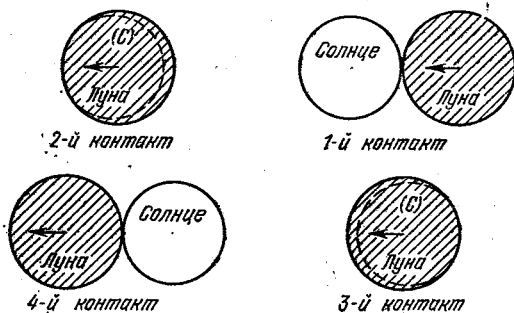


Рис. 38. Контакты солнечного затмения. Стрелки показывают направление движения Луны.

с правого (западного) края солнечного диска, а оканчивается на его левом (восточном) краю. Касания лунного диска с солнечным называются контактами затмения (рис. 38). В самом начале затмения происходит внешнее касание дисков, или первый контакт, при котором фаза солнечного затмения $\Phi = 0$. По мере движения Луны фаза

затмения возрастает. Напомним, что фаза солнечного затмения определяется долей диаметра солнечного диска, покрытого Луной, и выражается десятичной дробью с точностью до 0,01 и даже до 0,001 (см. с. 60). Полное затмение Солнца наступает при втором контакте, т. е. при внутреннем касании лунного диска с левым краем солнечного, и в этот момент фаза затмения $\Phi = 1,00$. В течение полного затмения его фаза считается несколько больше единицы, а в момент его окончания снова $\Phi = 1,00$, что наступает при внутреннем касании лунного диска с правым краем солнечного. Это внутреннее касание называется третьим контактом затмения. После него следуют уменьшающиеся частные фазы затмения, и наконец при внешнем касании, т. е. при четвертом контакте, фаза затмения становится равной нулю, и затмение оканчивается.

Вне полосы полной фазы, где происходит только частное затмение, второй и третий контакты отсутствуют, а первый и четвертый контакты либо сохраняют свое название, либо иногда именуется контактами начала и конца затмения.

Моменты контактов вычисляются с достаточно высокой точностью, не ниже 1 с, а часто и до 0,1 с. Но наблюдаемые моменты контактов могут на 2—3 с отличаться от вычисленных как из-за небольшой неравномерности вращения Земли, так и из-за неровности лунного края. Особенно это относится к первому контакту, момент которого всегда отмечается с небольшим опозданием еще и потому, что до него Луна совершенно не видна, и начало затмения становится заметным лишь при появлении незначительного ущерба на правом краю солнечного диска, т. е. на несколько секунд позже самого контакта. Остальные контакты определяются более уверенно, так как при втором контакте исчезает последний солнечный луч, при третьем контакте солнечный свет снова появляется, а перед четвертым контактом наблюдатель видит темный край Луны на фоне солнечного диска.

Чтобы точнее определять моменты контактов и направление движения Луны на фоне солнечного диска, необходимо знать положение на нем точек касания с лунным диском. Положение этих точек на солнечном диске зависит от наибольшей фазы затмения, т. е. в конечном итоге от расстояния места наблюдения от центральной линии полосы полной фазы. Оно определяется углом при центре

солнечного диска, отсчитываемым против часовой стрелки от выбранного начального направления, за которое принимается направление к зениту либо к северному полюсу мира. Углы, отсчитываемые в градусах от направления к зениту, называются углами положения от зенита и обозначаются буквой Z с цифровыми индексами, указывающими номер контакта.

На рис. 39 показан угол положения от зенита первого контакта, обозначенный Z_1 . На окружности, изображающей солнечный диск, представлены градусные деления, отсчитываемые против часовой стрелки от его верхней точки Z_0 , обращенной к зениту; отмеченный угол положения первого контакта $Z_1 = 290^\circ$. Аналогично определяются углы положения Z_2 , Z_3 и Z_4 остальных контактов. Совершенно ясно, что углы положения от зенита первого (Z_1) и третьего (Z_3) контактов лежат в пределах от 180° до 360° , а углы положения от зенита второго (Z_2) и четвертого (Z_4) контактов — в пределах от 0°

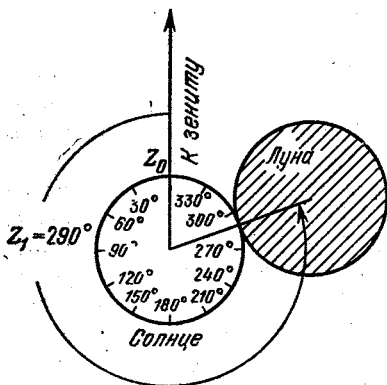


Рис. 39. Угол положения Z_1 первого контакта.

до 180° . При частном солнечном затмении второй и третий контакты отсутствуют, и углы положения от зенита первого (Z_1) и четвертого (Z_4) контактов иногда обозначают через Z_H (начало затмения, первый контакт) и Z_K (конец затмения, последний контакт).

Найти на солнечном диске его верхнюю точку, обращенную к зениту, не представляет затруднений, и поэтому вычисленные заранее углы положения от зенита контактов затмения позволяют наблюдателям предварительно наметить точки касания лунного диска с солнечным и внимательно следить за ними в ожидании контактов с тем, чтобы уверенно отметить их моменты.

Астрономам, наблюдающим ход затмения в специальные инструменты, поворачивающиеся за суточным вращением неба вокруг оси, параллельной оси мира, удобнее отсчитывать углы положения контактов от направления

к северному полюсу мира, вблизи которого расположена Полярная звезда. Эти углы называются позиционными углами, или углами положения от полюса и обычно обозначаются буквой P с теми же цифровыми индексами, соответствующими номерам контактов затмения.

Вне полосы полной фазы, там, где происходит только частное солнечное затмение, даже при наибольшей степени покрытия Солнца Луной, т. е. при наибольшей фазе затмения (F_m), незакрытая часть солнечного диска имеет вид серпа. Расположение этого серпа относительно горизонта зависит от положения места наблюдения затмения. Если место наблюдения находится к северу от полосы полной фазы, то незакрытой оказывается северная (верхняя) часть солнечного диска, и солнечный серп повернут своими концами (рогами) вниз, к горизонту. При смещении места наблюдения к югу от полосы полной фазы незакрытой станет южная (нижняя) часть солнечного диска, и солнечный серп повернут своими концами вверх. Чем дальше от полосы полной фазы находится наблюдатель, тем большая часть солнечного диска в середине затмения оказывается незакрытой, солнечный серп становится более широким, а величина наибольшей фазы затмения уменьшается. Вблизи же полосы полной фазы незакрытая часть солнечного диска имеет в середине затмения вид очень узкого серпа.

Вид солнечных серпов и их расположение относительно горизонта при наибольшей фазе затмения 31 июля 1981 г. в некоторых городах СССР показан на рис. 40. В двух верхних рядах изображены солнечные серпы для городов, расположенных севернее полосы полной фазы, а в двух нижних рядах — для городов, находящихся южнее той же полосы.

Вблизи наибольшей фазы затмения солнечный серп, мало изменяясь по ширине, быстро поворачивается из-за смещения Луны с запада к востоку (справа налево). На рис. 41 показано, что даже при небольшом смещении Луны влево солнечный серп поворачивается на значительный угол, причем для мест, расположенных севернее полосы полной фазы этот поворот происходит по часовой стрелке, а для мест к югу от той же полосы солнечный серп поворачивается против часовой стрелки.

Обстоятельства солнечного затмения 31 июля 1981 г. для многих населенных пунктов Советского Союза со-держатся в таблицах I и II. В обеих таблицах моменты

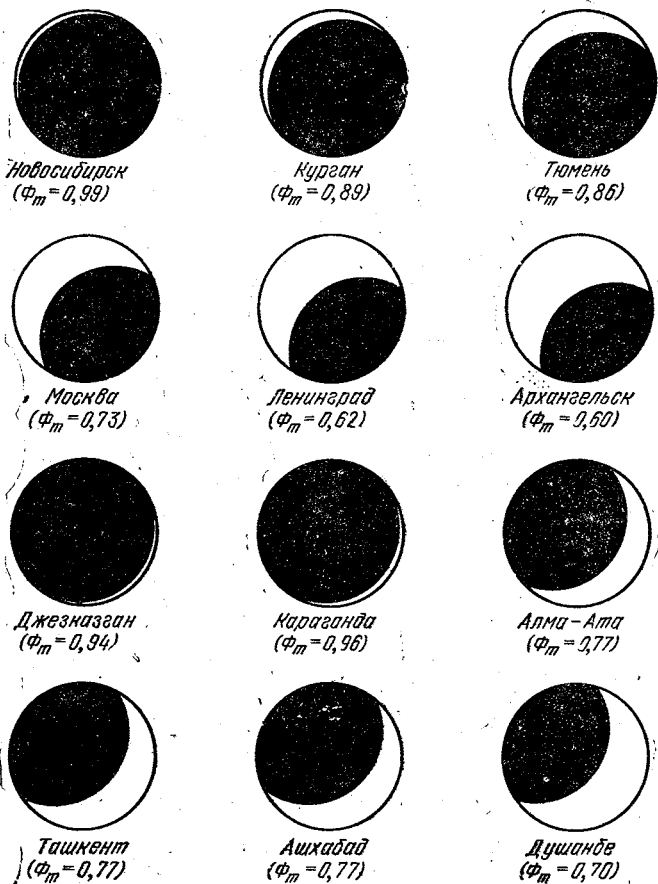


Рис. 40. Наибольшая фаза солнечного затмения 31 июля 1981 г. в некоторых городах.

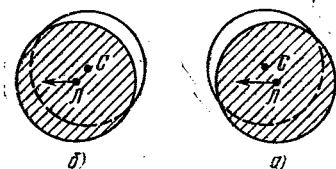


Рис. 41. Поворот солнечного серпа вблизи момента наибольшей фазы: вид серпа до этого момента (а) и после него (б). Стрелка показывает направление движения Луны.

времени указаны по московскому времени, и чтобы узнать их по местному поясному времени, следует к табличным моментам прибавить известную разность в целых часах между местным и московским временем. Например, полное солнечное затмение в Ленинске-Кузнецком начнется в $5^{\text{ч}}43^{\text{м}}04^{\text{с}}$ по московскому времени, а так как местное время этого города опережает московское время на 4 часа, то по местному времени это произойдет в $9^{\text{ч}}43^{\text{м}}04^{\text{с}}$.

В таблице I даются сведения для населенных пунктов, по которым пройдет лунная тень, и поэтому там будет видно полное солнечное затмение. Однако вследствие некоторой неуверенности в положении мелких населенных пунктов начало полного затмения может отличаться от указанного в таблице до 10 с и продолжительность полной фазы до 5 с, в особенности для пунктов, лежащих вблизи границ полосы полной фазы. В этой таблице приняты следующие обозначения:

T_1 — момент начала затмения (момент первого контакта);

T_2 — момент начала полного затмения (момент второго контакта);

τ — продолжительность полного затмения *);

T_4 — момент окончания затмения (момент четвертого контакта);

Φ_m — наибольшая фаза затмения;

P_1, P_2, P_3 и P_4 — позиционные углы последовательных контактов;

Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4 — углы положения от зенита последовательных контактов;

п. г. — Солнце под горизонтом.

В таблице II приведены обстоятельства солнечного затмения в пунктах, находящихся вне полосы полной фазы, и в них будет происходить только частное затмение. В этой таблице, кроме объясненных обозначений, дается еще момент T_m , в который наступает наибольшая фаза затмения.

Используя значения углов положений Z от зенита, можно не только найти на солнечном диске точки его касания с лунным диском, но и заранее построить чертеж, изображающий ход солнечного затмения в различные моменты времени. Для построения выбирается масштаб.

*) Момент T_3 окончания полного затмения (момент третьего контакта) не указан, так как он легко вычисляется: $T_3 = T_2 + \tau$.

Таблица I. Обстоятельства солнечного затмения 31 июля 1981 г. по московскому времени в полосе полной фазы

№	Название пункта	T ₁	T ₂	τ	T _a	Φ _m	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
		Ч М С	Ч М С	С	Ч М	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1	Акколь	4 30	5 32 37	74	6 42	1,006	275	123	247	95	314	163	287	133
2	Александровка (Красноярского края)	4 43	5 52 26	107	7 09	1,011	277	103	272	98	312	134	303	120
3	Александровск-Сахалинский	5 39	6 59 01	114	8 17	1,008	285	131	259	106	289	109	237	72
4	Алексеевка	4 29	5 30 53	13	6 38	1,000	274	14	355	96	313	54	396	135
5	Алзай	4 45	5 56 04	69	7 13	1,003	277	149	227	98	313	178	257	116
6	Амангельды	4 26	5 25 39	72	6 31	1,009	274	90	278	95	314	133	320	137
7	Амантогай	4 27	5 26 14	67	6 32	1,006	274	72	296	95	314	115	338	137
8	Анжия	4 56	6 10 55	120	7 30	1,012	279	106	273	101	309	126	293	104
9	Аркалык	4 26	5 26 33	53	6 33	1,003	274	138	230	94	315	180	273	136
10	Балахта	4 40	5 48 41	97	7 04	1,008	276	78	295	98	312	111	329	123
11	Бамбуйка	5 01	6 17 10	123	7 37	1,012	279	106	275	102	307	122	291	100
12	Баралус	5 17	6 35 01	98	7 54	1,005	281	62	323	104	300	63	324	87
13	Беленькая	5 12	6 29 34	125	7 50	1,011	281	115	269	103	303	120	274	91
14	Белово	4 36	5 42 56	93	6 57	1,008	276	115	257	97	314	151	293	127
15	Берчогур	4 25	5 22 24	53	6 26	1,004	273	59	309	94	314	102	352	139
16	Болодек	4 24	5 43 02	117	8 02	1,008	282	79	308	95	296	72	301	81
17	Братск	4 48	5 59 46	106	7 17	1,008	277	78	299	100	314	104	325	115
18	Верхняя Пайва	4 33	5 37 13	82	6 49	1,007	275	119	252	96	314	157	290	130
19	Видим	4 50	6 01 47	91	7 19	1,005	277	62	315	100	340	87	341	144
20	Витим	5 02	6 17 35	90	7 37	1,004	279	57	323	102	306	73	339	101
21	Вихоревка	4 48	5 58 58	105	7 16	1,008	277	78	297	100	311	106	326	115
22	Гали	П. Г.	5 17 24	44	6 14	1,006	273	102	264	93	313	147	308	141
23	Гурьевск	4 36	5 42 30	85	6 56	1,006	276	125	247	97	314	161	283	127

24	Даурское	Ч	М	О	С	Ч	М	О	1,011	276	104	269	98	313	138	302	122
25	Еловка	4	40	5 48	102	7	04	1,005	276	59	314	344	98	312	93	347	123
26	Ермолаево	4	40	5 48	81	7	04	1,010	276	109	264	264	98	313	142	298	122
27	Жолямбет	4	29	5 30	100	6	39	1,009	274	102	267	267	95	314	143	308	134
28	Зейск	5	17	6 35	114	7	55	1,007	281	75	310	310	104	300	76	310	86
29	Златоустовск	5	24	6 44	49	8	04	1,001	283	172	216	216	104	297	164	208	79
30	Золотогорский	4	38	5 45	87	6	59	1,006	276	126	247	247	97	314	161	282	126
31	Зугдиди	п.г.		5 17	20	6	14	1,001	273	147	219	219	93	314	192	264	141
32	Ижак	5	18	6 36	45	7	57	1,008	282	129	256	256	104	301	129	257	85
33	Ирбейское	4	43	5 52	117	7	09	1,001	276	92	283	283	99	312	123	314	120
34	Иргиз	4	25	5 23	09	25	6-27	1,001	274	162	206	206	94	315	205	249	138
35	Казахинское	4	53	6 06	51	116	7	26	1,011	278	89	289	101	309	112	312	109
36	Камень-на-Оби	4	33	5 38	19	91	6	50	1,011	275	96	275	96	314	134	312	129
37	Кацры	4	31	5 34	33	49	6	44	1,002	274	40	330	96	313	79	369	132
38	Киндикан	5	01	6 16	41	118	7	36	1,010	279	84	297	102	306	100	313	101
39	Киренга	4	53	6 06	41	117	7	25	1,012	278	97	282	101	310	120	305	109
40	Кичера	4	56	6 09	56	116	7,29	1,009	279	116	263	263	101	309	136	283	107
41	Копьево	4	39	5 46	31	100	7	01	1,011	276	101	271	98	313	136	306	124
42	Краснознаменское	4	27	5 28	24	66	6	36	1,005	274	126	243	95	315	167	285	135
43	Куанда	5	03	6 18	46	39	7	38	1,001	281	29	352	103	305	44	367	101
44	Кувькта	5	12	6 29	21	120	7	49	1,009	279	82	302	103	302	86	307	82
45	Кульсары	4	24	6 20	03	60	6	21	1,009	273	93	274	94	314	137	318	140
46	Кумора	4	57	6 11	20	113	7	31	1,008	279	121	258	101	309	141	278	103
47	Кунерма	4	54	6 07	53	89	7	27	1,004	279	141	237	100	310	164	260	108
48	Лаптро	5	00	6 15	55	73	7	35	1,003	279	47	334	102	306	63	350	102
49	Ларба	5	10	6 27	50	96	7	47	1,005	280	60	323	103	302	68	331	93
50	Ленинск-Кузнецкий	4	36	5 43	04	95	6	57	1,009	276	82	290	97	313	118	325	127
51	Майский	5	17	5 47	47	44	6	15	1,005	273	72	294	93	313	116	339	141
52	Малгобек	п.г.		5 17	34	43	6	15	1,004	273	118	247	93	314	163	292	141

Таблица I (продолжение)

№	Название пункта	T ₁	T ₂	τ	T ₃	Φ _т	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
53	Мариинское	ч м	ч м с	с	ч м	1,013	284	107	283	106	288	89	266	74
54	Моздок	п.г.	5 17 43	48	6 16	1,007	273	90	276	93	314	135	320	141
55	Муякан	5 00	6 14 44	111	7 34	1,008	279	76	304	102	308	93	322	102
56	Нальчик	п.г.	5 17 46	42	6 15	1,004	273	68	298	93	313	112	343	141
57	Нижнеангарск I	4 55	6 09 11	62	7 28	1,002	279	158	221	100	310	180	243	107
58	Нижнеангарск II	4 55	6 09 14	98	7 28	1,006	279	135	244	100	310	156	265	107
59	Нижняя Суетка	4 32	5 36 49	67	6 48	1,004	275	136	234	96	315	175	273	131
60	Николаевка	4 45	5 55 32	109	7 12	1,011	277	103	272	99	312	133	302	117
61	Нля	4 53	6 06 27	80	7 25	1,004	278	52	326	101	309	75	349	109
62	Новоалексеевка (Красноярского края)	4 42	5 50 39	105	7 06	1,011	276	90	284	98	312	122	316	122
63	Новоселово	4 39	5 47 48	98	7 03	1,009	276	112	262	98	313	145	295	123
64	Новый Уюя	4 56	6 10 39	119	7 30	1,011	279	92	288	101	309	111	307	104
65	Орджоникидзевский	4 38	5 45 32	94	7 00	1,008	276	117	256	97	313	152	290	125
66	Очамчира	п.г.	5 17 33	43	6 17	1,005	273	75	290	93	313	120	335	141
67	Партизанское	4 42	5 51 24	106	7 04	1,012	276	98	276	98	312	130	308	121
68	Песчаное	4 31	5 34 19	78	6 44	1,006	274	70	300	96	314	110	339	132
69	Петропавловка	4 43	5 52 56	107	7 09	1,012	277	93	282	99	312	124	312	120
70	Приискский	4 38	5 45 14	88	7 00	1,006	276	125	248	97	314	160	283	125
71	Прохладный	п.г.	5 18 06	27	6 16	1,001	273	37	329	93	313	82	373	141
72	Салаир	4 36	5 42 22	82	6 56	1,005	276	129	243	97	314	165	279	127
73	Сарала	4 38	5 45 53	99	7 00	1,010	276	106	267	97	313	141	301	124
74	Сарыоба	4 26	5 23 58	16	6 28	1,000	273	17	350	95	313	60	393	138
75	Северобайкальский	4 54	6 09 01	54	7 28	1,001	279	162	216	100	310	185	239	107
76	Сивачкан	5 13	6 30 43	96	7 50	1,005	280	61	323	104	301	65	327	89

77	Славгород	Ч	4	32	С	71	М	6	47	°	1,004	°	275	°	132	°	239	°	96	°	345	°	171	°	278	°	134
78	Софийск	Ч	5	35	С	42	М	8	13	°	1,007	°	284	°	132	°	258	°	105	°	289	°	115	°	241	°	73
79	Судоверфь	Ч	4	49	С	112	М	7	19	°	1,010	°	278	°	110	°	267	°	100	°	311	°	136	°	293	°	114
80	Суегиха	Ч	4	45	С	5	М	5	55	°	1,008	°	277	°	78	°	298	°	99	°	311	°	107	°	327	°	118
81	Таволажан	Ч	4	31	С	102	М	6	45	°	1,003	°	275	°	142	°	228	°	95	°	315	°	182	°	267	°	132
82	Тайшет	Ч	4	45	С	106	М	7	12	°	1,010	°	277	°	84	°	292	°	99	°	311	°	143	°	321	°	117
83	Таксимо	Ч	5	01	С	56	М	7	36	°	1,001	°	279	°	38	°	343	°	102	°	306	°	54	°	359	°	102
84	Тальменка	Ч	4	34	С	66	М	6	53	°	1,003	°	276	°	142	°	230	°	96	°	314	°	179	°	267	°	128
85	Тамкамыс	Ч	4	26	С	67	М	6	30	°	1,007	°	274	°	112	°	256	°	94	°	315	°	155	°	299	°	137
86	Тауш	Ч	4	26	С	67	М	6	31	°	1,007	°	274	°	75	°	293	°	95	°	314	°	118	°	335	°	137
87	Ткварчели	Ч	п.г.		С	39	М	6	14	°	1,004	°	273	°	63	°	303	°	93	°	313	°	108	°	347	°	141
88	Токур	Ч	5	23	С	6	М	8	03	°	1,002	°	283	°	160	°	227	°	104	°	297	°	153	°	221	°	80
89	Точильная	Ч	4	41	С	105	М	7	05	°	1,011	°	276	°	101	°	273	°	98	°	313	°	133	°	305	°	122
90	Тугуша	Ч	4	44	С	93	М	7	10	°	1,006	°	276	°	67	°	308	°	99	°	311	°	97	°	338	°	118
91	Тукай	Ч	4	40	С	108	М	7	03	°	1,006	°	276	°	67	°	306	°	98	°	312	°	100	°	340	°	123
92	Туманшет	Ч	4	44	С	70	М	7	11	°	1,011	°	277	°	92	°	283	°	99	°	312	°	122	°	313	°	118
93	Тургай (обл.)	Ч	4	26	С	108	М	6	30	°	1,009	°	274	°	98	°	270	°	94	°	314	°	141	°	312	°	137
94	Тутаул	Ч	5	16	С	93	М	7	54	°	1,004	°	281	°	59	°	326	°	104	°	300	°	61	°	328	°	87
95	Тымовское	Ч	5	40	С	110	М	8	18	°	1,007	°	285	°	136	°	255	°	106	°	286	°	113	°	232	°	71
96	Тында	Ч	5	12	С	6	М	6	30	°	1,008	°	281	°	79	°	306	°	104	°	302	°	83	°	310	°	91
97	Ужур	Ч	4	39	С	5	М	5	47	°	1,005	°	276	°	60	°	313	°	98	°	312	°	94	°	346	°	124
98	Улькан	Ч	4	53	С	6	М	7	02	°	1,007	°	279	°	127	°	251	°	100	°	310	°	150	°	275	°	108
99	Ульян	Ч	4	57	С	6	М	7	26	°	1,007	°	279	°	88	°	291	°	101	°	309	°	107	°	310	°	103
100	Урало-Ключи	Ч	4	45	С	86	М	7	12	°	1,005	°	276	°	60	°	315	°	99	°	311	°	90	°	345	°	118
101	Усть-Нарык	Ч	4	36	С	85	М	6	57	°	1,006	°	276	°	126	°	247	°	97	°	314	°	162	°	282	°	127
102	Уяр	Ч	4	42	С	81	М	7	07	°	1,004	°	276	°	57	°	318	°	99	°	311	°	88	°	349	°	121
103	Хорогочи	Ч	5	11	С	109	М	7	48	°	1,007	°	280	°	70	°	313	°	103	°	302	°	78	°	320	°	92
104	Черепаново	Ч	4	35	С	91	М	6	53	°	1,009	°	275	°	81	°	291	°	97	°	313	°	117	°	328	°	128
105	Черноречное	Ч	4	30	С	44	М	6	44	°	1,002	°	275	°	154	°	216	°	95	°	315	°	194	°	256	°	132
106	Чертынецкий	Ч	4	36	С	82	М	6	56	°	1,005	°	276	°	129	°	244	°	97	°	314	°	165	°	279	°	127
107	Янкан	Ч	5	11	С	68	М	7	49	°	1,002	°	281	°	160	°	224	°	103	°	304	°	165	°	229	°	94
108	Янчукаан	Ч	4	58	С	112	М	7	32	°	1,008	°	279	°	78	°	302	°	102	°	308	°	96	°	321	°	103

Таблица II. Обстоятельства солнечного затмения 31 июля 1981 г. по московскому времени вне полосы полной фазы

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		°	°
1	Абакан	4 38	5 47	7 02	0,97	317	122
2	Абдулино	4 34	5 30	6 30	0,86	301	142
3	Абезь	4 54	5 51	6 50	0,66	280	141
4	Актюбинск	4 28	5 25	6 27	0,96	309	140
5	Алапаевск	4 38	5 37	6 40	0,82	297	140
6	Алатырь	4 38	5 32	6 30	0,80	294	144
7	Алдан	5 15	6 31	7 47	0,92	293	97
8	Алма-Ата	4 19	5 22	6 31	0,77	336	129
9	Алонка	5 23	6 45	8 05	0,96	301	76
10	Амгунь	5 27	6 49	8 08	0,97	298	75
11	Амдерма	5 01	5 56	6 53	0,60	274	141
12	Анадырь	6 11	7 09	8 04	0,54	234	105
13	Андижан	4 16	5 16	6 22	0,73	339	130
14	Анжеро-Судженск	4 39	5 46	6 58	0,97	310	128
15	Аральск	4 22	5 21	6 25	0,96	319	137
16	Арзамас	4 39	5 33	6 30	0,77	292	144
17	Армавир	п.г.	5 21	6 17	0,95	—	142
18	Архангельск	4 56	5 47	6 40	0,60	277	146
19	Астрахань	п.г.	5 21	6 19	0,98	—	141
20	Атбасар	4 28	5 30	6 36	0,99 ¹	312	136
21	Ачинск	4 41	5 50	7 03	0,98	310	124
22	Ашхабад	п.г.	5 10	6 10	0,77	—	134
23	Аягуз	4 25	5 30	6 42	0,87	327	129
24	Аян	5 31	6 49	8 04	0,91	283	86
25	Байкит	4 53	6 01	7 12	0,86	297	122
26	Баку	п.г.	5 13	6 12	0,89	—	138
27	Балаково	4 33	5 28	6 27	0,86	300	143
28	Балашов	п.г.	5 28	6 25	0,84	—	144
29	Балхаш	4 23	5 26	6 35	0,87	327	132
30	Бам	5 10	6 30	7 49	0,99	305	90
31	Барабинск	4 35	5 39	6 49	0,96	309	132
32	Баргузин	4 53	6 09	7 29	0,95	316	104
33	Барнаул	4 34	5 40	6 53	0,99 ¹	316	128
34	Батуми	п.г.	5 17	6 13	0,98	—	141
35	Бахта	4 50	5 56	7 05	0,83	295	128
36	Бежецк	4 46	5 38	6 32	0,69	284	147
37	Белебей	4 34	5 31	6 31	0,86	300	143
38	Белозерск	4 49	5 41	6 34	0,66	281	147
39	Беломорск	4 58	5 48	6 39	0,58	272	147
40	Березники	4 42	5 39	6 39	0,77	292	142
41	Березовка	5 28	6 50	8 08	0,98	297	76
42	Березово	4 49	5 47	6 48	0,72	286	139
43	Беринговский	6 14	7 12	8 06	0,55	233	103
44	Беркалит	5 13	6 31	7 48	0,97	298	94

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		о	о
45	Бийск	4 33	5 40	6 53	0,96	318	127
46	Бикин	5 28	6 52	8 13	0,85	310	62
47	Билибино	5 58	6 58	7 55	0,56	244	109
48	Биробиджан	5 24	6 48	8 08	0,89	307	69
49	Бирск	4 36	5 33	6 33	0,84	299	141
50	Благовещенск	5 15	6 37	7 59	0,90	312	75
51	Бодайбо	5 02	6 17	7 34	0,96	302	104
52	Бологое	4 48	5 38	6 32	0,67	282	147
53	Брянск	п.г.	5 32	6 26	0,75	—	146
54	Бугрино	5 00	5 52	6 47	0,58	273	146
55	Бугульма	4 35	5 31	6 31	0,84	299	142
56	Бугуруслан	4 34	5 30	6 30	0,86	300	142
57	Бузулук	4 33	5 29	6 29	0,87	302	142
58	Буинск	4 37	5 32	6 30	0,80	295	143
59	Буй	4 45	5 38	6 33	0,70	285	146
60	Бухара	4 15	5 12	6 15	0,76	336	133
61	Ванавара	4 55	6 06	7 20	0,90	300	117
62	Великие Луки	п.г.	5 38	6 30	0,68	—	147
63	Великий Устюг	4 47	5 41	6 37	0,69	284	145
64	Вельбеткан	5 08	6 25	7 42	0,97	302	97
65	Вельск	4 49	5 41	6 36	0,66	281	146
66	Верхний Уфалей	4 36	5 34	6 36	0,85	300	140
67	Верхотурье	4 40	5 38	6 40	0,80	295	140
68	Верхоянск	5 29	6 36	7 42	0,69	269	110
69	Вильнюс	п.г.	5 37	6 28	0,67	281	148
70	Вилюйск	5 15	6 26	7 38	0,80	284	109
71	Владивосток	5 26	6 51	8 13	0,73	323	53
72	Владимир	4 42	5 35	6 30	0,74	289	146
73	Волгоград	п.г.	5 24	6 22	0,90	—	143
74	Вологда	4 47	5 39	6 34	0,68	283	146
75	Вольск	4 33	5 28	6 26	0,86	300	143
76	Воркута	4 56	5 53	6 52	0,65	279	140
77	Воронеж	п.г.	5 29	6 25	0,81	—	145
78	Ворошиловград	п.г.	5 25	6 21	0,87	—	144
79	Выборг	4 55	5 44	6 35	0,60	275	148
80	Выкса	4 40	5 33	6 29	0,76	291	145
81	Вышний Волочек	4 47	5 38	6 31	0,68	283	147
82	Герби	5 26	6 48	8 07	0,95	301	74
83	Глазов	4 41	5 36	6 36	0,77	292	143
84	Говорово	5 25	6 29	7 34	0,65	268	117
85	Горни	5 30	6 52	8 10	0,98	297	73
86	Горно-Алтайск	4 33	5 40	6 54	0,95	320	126
87	Горький	4 41	5 34	6 31	0,75	291	145
88	Грениха	5 02	5 52	6 44	0,55	270	146
89	Грозный	п.г.	5 17	6 15	0,991	—	141

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		°	°
90	Гулистан	4 16	5 14	6 19	0,75	338	132
91	Гурьев	4 25	5 21	6 21	0,99	312	140
92	Давлеканово	4 34	5 31	6 32	0,86	301	141
93	Дальнереченск	5 25	6 50	8 12	0,81	315	60
94	Дарваза	4 16	5 12	6 13	0,82	331	136
95	Даугавпилс	п.г.	5 38	6 29	0,66	—	148
96	Джалал-Абад	4 17	5 17	6 23	0,73	339	130
97	Джамбул (обл.)	4 18	5 18	6 25	0,79	334	132
98	Джамку	5 27	6 48	8 08	0,96	299	74
99	Джанкой	п.г.	5 24	6 18	0,89	—	144
100	Джезказган	4 23	5 24	6 30	0,94	320	135
101	Диксон	5 10	6 07	7 05	0,58	270	136
102	Дипкун	5 15	6 34	7 52	0,999	300	85
103	Днепропетровск	п.г.	5 27	6 21	0,84	—	145
104	Донецк	п.г.	5 25	6 20	0,87	—	144
105	Дугда	5 19	6 40	7 59	0,994	302	83
106	Дудинка	5 03	6 03	7 06	0,67	279	132
107	Душанбе	4 14	5 12	6 16	0,70	342	141
108	Дюгабуль	5 09	6 27	7 45	0,99	302	95
109	Елабуга	4 37	5 33	6 32	0,81	296	142
110	Енисейск	4 46	5 54	7 07	0,92	304	124
111	Ербогачен	5 00	6 11	7 25	0,88	296	114
112	Ереван	п.г.	5 14	6 11	0,93	—	140
113	Ертарский	4 36	5 36	6 40	0,86	300	139
114	Ершов	4 32	5 27	6 26	0,87	302	143
115	Ессей	5 07	6 12	7 18	0,71	280	125
116	Жаркамьс	4 25	5 22	6 24	0,999	313	139
117	Жданов	п.г.	5 24	6 19	0,89	—	144
118	Железногорск-Илимский	4 51	6 04	7 20	0,994	308	112
119	Жиганск	5 20	6 28	7 36	0,73	277	113
120	Забайкальск	5 00	6 20	7 42	0,85	323	86
121	Зайсан	4 27	5 33	6 47	0,83	330	126
122	Закаменск	4 43	5 58	7 17	0,86	326	130
123	Звериноголовское	4 33	5 33	6 37	0,91	305	138
124	Зеравшан	4 15	5 13	6 17	0,72	341	131
125	Зея	5 15	6 35	7 55	0,991	303	85
126	Златоуст	4 34	5 33	6 35	0,87	301	140
127	Золотинка	5 12	6 30	7 48	0,98	299	94
128	Зырянка	5 45	6 51	7 56	0,66	257	104
129	Иваново	4 43	5 36	6 31	0,72	288	146
130	Ивдель	4 44	5 41	6 42	0,76	291	140
131	Игарка	4 59	6 01	7 06	0,71	283	131
132	Ижевск	4 38	5 35	6 34	0,80	295	142
133	Икабья	5 06	6 23	7 40	0,98	302	98

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		°	°
134	Иман	5 27	6 52	8 13	0,82	310	60
135	Индига	4 59	5 51	6 46	0,59	274	144
136	Ирбит	4 38	5 37	6 40	0,83	298	139
137	Иркутск	4 46	6 01	7 20	0,91	321	107
138	Ишим	4 35	5 36	6 42	0,90	304	136
139	Йошкар-Ола	4 40	5 34	6 32	0,77	292	144
140	Казалинск	4 21	5 20	6 24	0,93	322	137
141	Казань	4 38	5 33	6 32	0,79	294	143
142	Калинин	4 45	5 37	6 30	0,70	285	147
143	Калуга	п.г.	5 33	6 28	0,74	—	146
144	Камышлов	4 37	5 36	6 39	0,85	299	139
145	Канаш	4 38	5 33	6 31	0,79	294	144
146	Кандалакша	5 03	5 52	6 42	0,54	268	148
147	Канск	4 44	5 54	7 09	0,997	311	121
148	Капчагай	4 20	5 23	6 32	0,78	335	129
149	Кара	5 00	5 56	6 54	0,62	276	140
150	Караганда	4 26	5 29	6 37	0,96	319	133
151	Каргаполье	4 35	5 35	6 39	0,88	302	138
152	Каргополь	4 51	5 42	6 36	0,64	279	146
153	Каркаралинск	4 26	5 29	6 39	0,93	321	132
154	Карши	4 15	5 11	6 14	0,73	340	132
155	Каунас	п.г.	5 38	6 29	0,66	281	148
156	Кежма	4 52	6 03	7 17	0,93	303	118
157	Кемерово	4 37	5 45	6 57	0,991	311	127
158	Кемь	4 59	5 48	6 40	0,57	272	147
159	Керки	4 14	5 10	6 12	0,71	341	132
160	Кзыл-Орда	4 20	5 19	6 24	0,88	326	135
161	Киев	п.г.	5 31	6 24	0,77	—	146
162	Кизляр	п.г.	5 18	6 16	0,996	—	141
163	Кизыл-Атрек	4 16	5 09	6 08	0,79	334	135
164	Кинель	4 34	5 29	6 29	0,85	300	142
165	Кинешма	4 43	5 36	6 32	0,72	288	145
166	Киренск	4 56	6 09	7 26	0,97	305	110
167	Киров	4 42	5 37	6 35	0,74	290	144
168	Кировабад	п.г.	5 14	6 12	0,93	—	139
169	Кировград	4 38	5 36	6 38	0,82	297	140
170	Кировоград	п.г.	5 28	6 21	0,82	—	146
171	Киселевск	4 36	5 43	6 57	0,996	315	126
172	Кисловодск	п.г.	5 19	6 16	0,99	—	142
173	Козьмодемьянск	4 40	5 34	6 32	0,77	292	144
174	Коканд	4 16	5 15	6 21	0,74	339	131
175	Кокчетав	4 31	5 32	6 39	0,96	310	136
176	Комсомольск-на-Амуре	5 31	6 53	8 12	0,96	295	71
177	Корф	6 04	7 10	8 12	0,66	245	94
178	Кострома	4 44	5 37	6 32	0,71	286	146

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		о	о
179	Котельнич	4 42	5 37	6 34	0,74	290	144
180	Котлас	4 48	5 41	6 38	0,68	283	145
181	Кош-Агач	4 31	5 40	6 55	0,88	325	124
182	Красноводск	п.г.	5 12	6 12	0,86	—	137
183	Краснодар	п.г.	5 21	6 17	0,94	—	143
184	Красноуфимск	4 37	5 35	6 36	0,83	297	141
185	Красноярск	4 42	5 51	7 06	0,996	311	122
186	Красный Кут	4 32	5 27	6 25	0,87	302	143
187	Кудара	4 15	5 13	6 18	0,67	345	129
188	Кудымкар	4 42	5 38	6 38	0,76	292	142
189	Куйбышев (обл.)	4 34	5 29	6 29	0,85	300	143
190	Куйбышев (Новосибир. обл.)	4 35	5 40	6 49	0,96	309	142
191	Куляб	4 14	5 12	6 15	0,68	345	130
192	Курган	4 34	5 34	6 39	0,89	304	138
193	Курск	п.г.	5 30	6 25	0,79	—	146
194	Куртамыш	4 33	5 33	6 37	0,90	304	138
195	Кустанай	4 31	5 30	6 35	0,93	307	138
196	Кушва	4 39	5 37	6 39	0,80	295	140
197	Кушка	4 13	5 07	6 07	0,67	345	131
198	Кызыл	4 37	5 48	7 05	0,91	322	119
199	Кызылрабат	4 15	5 13	6 18	0,63	349	128
200	Кяхта	4 46	6 02	7 23	0,86	326	103
201	Лабинск	п.г.	5 20	6 17	0,96	—	142
202	Лена	4 52	6 06	7 23	0,994	308	111
203	Ленинабад	4 16	5 14	6 19	0,74	339	132
204	Ленинград	4 53	5 42	6 34	0,62	277	148
205	Ленкорань	4 18	5 12	6 09	0,86	326	138
206	Ленск	5 06	6 19	7 33	0,89	295	108
207	Лепридо	5 04	6 21	7 39	0,99	304	100
208	Лопча	5 10	6 28	7 47	0,999	303	93
209	Лысьва	4 39	5 37	6 38	0,80	295	141
210	Магадан	5 47	6 59	8 08	0,77	263	91
211	Магнитогорск	4 32	5 30	6 32	0,90	305	140
212	Маревая	5 14	6 33	7 51	0,999	300	89
213	Маринск	4 39	5 47	7 00	0,88	310	127
214	Мариинский Посад	4 39	5 34	6 32	0,78	293	144
215	Маркс	4 33	5 28	6 26	0,86	300	143
216	Мары	4 14	5 09	6 11	0,73	339	133
217	Массава	4 43	5 41	6 43	0,77	292	140
218	Махачкала	п.г.	5 17	6 15	0,97	—	140
219	Мезень	4 56	5 48	6 43	0,60	275	145
220	Меунчик	5 20	6 40	8 00	0,99	302	82
221	Минск	п.г.	5 36	6 27	0,70	—	147
222	Минусинск	4 38	5 48	7 03	0,97	317	122

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		°	°
223	Могот	5 13	6 31	7 50	0,994	300	92
224	Могоча	5 05	6 24	7 44	0,97	310	92
225	Мончегорск	5 04	5 53	6 43	0,53	267	148
226	Москва	4 43	5 35	6 29	0,73	288	146
227	Мургаб	4 15	5 14	6 19	0,65	347	129
228	Мурманск	5 06	5 54	6 45	0,51	265	147
229	Муром	4 41	5 34	6 30	0,76	291	145
230	Муртыгит	5 11	6 30	7 49	0,995	304	90
231	Мыс Челюскина	5 24	6 20	7 17	0,53	260	132
232	Набережные Челны	4 37	5 33	6 33	0,81	296	142
233	Навои	4 15	5 13	6 16	0,76	336	133
234	Нагорная	5 13	6 31	7 49	0,99	300	93
235	Надым	4 52	5 52	6 54	0,72	286	137
236	Наманган	4 16	5 16	6 22	0,74	338	131
237	Нарым	4 42	5 47	6 56	0,89	302	131
238	Нарын (Кирг. ССР)	4 18	5 19	6 27	0,72	340	129
239	Нарьян-Мар	4 58	5 51	6 47	0,61	275	143
240	Нахичевань	п.г.	5 13	6 10	0,90	—	139
241	Находка	4 58	5 57	7 00	0,69	282	135
242	Невер	5 11	6 31	7 50	0,99	305	87
243	Невьянск	4 38	5 36	6 38	0,82	297	140
244	Нерчинск	5 00	6 19	7 40	0,91	317	91
245	Нижнеколымск	5 54	6 55	7 54	0,57	247	109
246	Нижнеудинск	4 44	5 57	7 13	0,99	314	116
247	Нижнеянск	5 33	6 36	7 38	0,61	261	117
248	Нижний Тагил	4 39	5 37	6 39	0,81	296	140
249	Николаевск-на-Амуре	5 35	6 55	8 12	0,98	285	77
250	Новгород	4 50	5 40	6 32	0,65	280	148
251	Новороссийск	п.г.	5 21	6 17	0,94	—	143
252	Новосибирск	4 36	5 42	6 53	0,99	311	129
253	Новоузенск	4 30	5 26	6 25	0,89	304	142
254	Нордвик	5 21	6 21	7 22	0,60	266	126
255	Норильск	5 03	6 04	7 08	0,68	279	132
256	Нукус	4 18	5 15	6 17	0,87	327	136
257	Нурата	4 16	5 14	6 17	0,77	335	133
258	Няндом	4 51	5 42	6 37	0,64	280	146
259	Оймякон	5 38	6 48	7 56	0,74	267	99
260	Олекма	5 09	6 26	7 43	0,98	302	96
261	Олекминск	5 11	6 25	7 40	0,89	292	104
262	Оленек	5 13	6 19	7 26	0,71	277	120
263	Омск	4 34	5 36	6 44	0,94	308	134
264	Онега	4 55	5 46	6 39	0,60	275	147
265	Орджоникидзе	п.г.	5 17	6 15	0,993	—	141
266	Орел	п.г.	5 32	6 26	0,76	—	146
267	Оренбург	4 30	5 27	6 28	0,91	306	141

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		о	о
268	Орск	4 29	5 27	6 29	0,94	308	140
269	Охотск	5 38	6 52	8 03	0,82	273	91
270	Ош	4 16	5 16	6 22	0,72	340	130
271	Павлодар	4 30	5 34	6 44	0,995	316	132
272	Палана	5 59	7 08	8 13	0,72	252	91
273	Певек	6 00	6 57	7 51	0,51	239	112
274	Пелым	4 41	5 40	6 42	0,79	294	139
275	Пенза	4 36	5 30	6 27	0,82	296	144
276	Пермь	4 40	5 36	6 37	0,79	294	142
277	Петровск-Забайкаль- ский	4 50	6 07	7 27	0,88	323	102
278	Петрозаводск	4 54	5 44	6 36	0,61	276	147
279	Петропавловск	4 33	5 34	6 41	0,93	306	136
280	Петропавловск-Камчат- ский	6 02	7 16	8 25	0,84	255	78
281	Печора	4 52	5 48	6 46	0,67	281	142
282	Повенец	4 55	5 45	6 37	0,60	275	147
283	Полтава	п.г.	5 28	6 22	0,82	—	145
284	Поронайск	5 41	7 03	8 20	0,97	285	66
285	Пржевальск	4 19	5 22	6 31	0,74	339	128
286	Провидения	6 18	7 12	8 01	0,49	229	107
287	Прокопьевск	4 36	5 43	6 57	0,993	315	126
288	Пугачев	4 33	5 28	6 27	0,86	301	143
289	Рига	п.г.	5 41	6 31	0,63	—	149
290	Ростов-на-Дону	п.г.	5 24	6 20	0,90	—	144
291	Ртищево	4 35	5 29	6 26	0,83	297	144
292	Рубцовск	4 30	5 36	6 48	0,96	319	129
293	Рыбинск	4 46	5 38	6 32	0,70	285	146
294	Рязск	4 39	5 31	6 27	0,78	293	145
295	Рязань	4 40	5 33	6 28	0,76	291	145
296	Салехард	4 54	5 52	6 52	0,68	282	139
297	Самарканд	4 15	5 13	6 17	0,74	338	132
298	Сангар	5 21	6 32	7 43	0,78	279	106
299	Саранск	4 37	5 31	6 29	0,80	295	144
300	Сарапул	4 38	5 34	6 34	0,81	296	142
301	Саратов	4 33	5 27	6 25	0,86	300	143
302	Свердловск	4 37	5 35	6 38	0,84	298	140
303	Свободный	5 16	6 38	7 58	0,93	308	80
304	Северо-Курильск	6 01	7 18	8 28	0,91	259	72
305	Семипалатинск	4 28	5 34	6 45	0,93	321	130
306	Серов	4 42	5 39	6 41	0,78	293	140
307	Сивомаскинский	4 55	5 51	6 50	0,66	280	140
308	Скворородино	5 11	6 30	7 50	0,98	305	89
309	Смоленск	п.г.	5 35	6 28	0,71	—	147
310	Советская Гавань	5 37	7 00	8 18	0,95	293	67

№	Название пункта	T_1	T_m	T_4	Φ_m	Z_1	Z_4
		ч м	ч м	ч м		°	°
311	Соловьевск	5 11	6 31	7 50	0,993	304	87
312	Солони	5 24	6 47	8 06	0,95	302	74
313	Сортавала	4 55	5 44	6 36	0,60	274	148
314	Сосьва (Сверд. обл.)	4 41	5 39	6 41	0,80	295	140
315	Сосьва (Ханты-Манс.)	4 49	5 46	6 47	0,71	286	140
316	Среднеколымск	5 48	6 51	7 53	0,62	253	107
317	Сретенск	5 01	6 21	7 42	0,92	315	90
318	Ставрополь	п.г.	5 20	6 17	0,96	—	142
319	Стерлитамак	4 33	5 30	6 31	0,88	302	141
320	Сулук	5 25	6 47	8 07	0,94	302	73
321	Сунтар	5 10	6 22	7 35	0,85	291	108
322	Сургут	4 44	5 46	6 51	0,81	295	135
323	Сусуман	5 43	6 53	8 00	0,73	262	98
324	Сухуми	п.г.	5 18	6 15	0,995	—	142
325	Сызрань	4 34	5 29	6 28	0,84	299	143
326	Сыктывкар	4 47	5 42	6 39	0,70	285	143
327	Сюльбан	5 04	6 20	7 38	0,994	304	100
328	Таганрог	п.г.	5 24	6 20	0,89	—	143
329	Таймыр	5 20	6 17	7 15	0,55	264	132
330	Талас	4 18	5 18	6 25	0,78	335	131
331	Талды-Курган	4 22	5 26	6 36	0,80	333	129
332	Талица	4 37	5 36	6 40	0,85	300	139
333	Таллин	п.г.	5 43	6 33	0,60	—	149
334	Тангуй	4 47	5 59	7 16	0,998	313	115
335	Татарск	4 34	5 38	6 47	0,95	309	133
336	Ташауз	4 18	5 14	6 17	0,85	328	136
337	Ташкент	4 16	5 16	6 21	0,77	336	132
338	Таюра	4 53	6 07	7 24	0,995	308	110
339	Тбилиси	п.г.	5 16	6 13	0,96	—	140
340	Термез	4 14	5 10	6 13	0,68	344	131
341	Терней	5 33	6 58	8 18	0,82	307	57
342	Тикси	5 29	6 31	7 34	0,62	265	118
343	Тобольск	4 39	5 39	6 44	0,85	299	137
344	Томск	4 39	5 45	6 57	0,96	308	128
345	Тотьма	4 47	5 40	6 35	0,68	284	145
346	Троицк	4 32	5 31	6 35	0,90	304	139
347	Тула	п.г.	5 33	6 28	0,75	—	146
348	Тулун	4 46	5 59	7 17	0,98	315	114
349	Тунгала	5 18	6 39	7 58	0,997	302	84
350	Тура	4 39	5 38	6 41	0,82	297	139
351	Туринск	4 39	5 38	6 41	0,83	297	138
352	Туркестан	4 18	5 18	6 24	0,83	331	133
353	Туркуль	4 17	5 14	6 16	0,83	330	135
354	Туруханск	4 56	6 00	7 06	0,75	287	130
355	Тюмень	4 37	5 37	6 41	0,86	300	138

№	Название пункта	T_1	T_m	T_2	Φ_m	Z_1	Z_2
		ч м	ч м	ч м		°	°
356	Углич	4 45	5 37	6 31	0,70	285	146
357	Улан-Удэ	4 49	6 05	7 25	0,90	322	104
358	Ульяновск	4 36	5 31	6 29	0,82	296	143
359	Уральск	4 31	5 26	6 26	0,90	304	142
360	Ургал	5 23	6 45	8 05	0,95	302	74
361	Ургенч	4 17	5 14	6 16	0,84	329	135
362	Урицкий	4 31	5 31	6 36	0,94	308	137
363	Уссурийск	5 25	6 51	8 12	0,75	321	55
364	Усть-Илимск	4 51	6 03	7 19	0,97	306	116
365	Усть-Каменогорск	4 29	5 35	6 47	0,91	323	128
366	Усть-Камчатск	6 04	7 14	8 20	0,76	249	85
367	Усть-Нера	5 38	6 47	7 54	0,72	266	102
368	Усть-Нюкжа	5 09	6 26	7 44	0,98	302	96
369	Уфа	4 34	5 32	6 33	0,86	300	141
370	Ухта	4 50	5 45	6 43	0,68	283	143
371	Уэлен	6 18	7 09	7 57	0,46	227	111
372	Февральское	5 20	6 42	8 01	0,98	301	79
373	Федькин Ключ	5 21	6 42	8 02	0,96	302	77
374	Фергана	4 16	5 15	6 21	0,73	340	131
375	Фрунзе	4 19	5 20	6 28	0,77	336	131
376	Хабаровск	5 28	6 52	8 12	0,90	305	66
377	Хани	5 07	6 24	7 42	0,98	302	97
378	Ханты-Мансийск	4 44	5 44	6 47	0,79	293	138
379	Харьков	п.г.	5 28	6 23	0,82	296	145
380	Хатанга	5 14	6 15	7 17	0,64	272	128
381	Хвалынский	4 34	5 28	6 27	0,85	300	143
382	Хива	4 17	5 14	6 16	0,84	330	136
383	Хилок	4 52	6 09	7 30	0,88	322	98
384	Хорог	4 14	5 12	6 16	0,65	347	129
385	Хурмули	5 30	6 52	8 11	0,97	294	72
386	Целиноград	4 28	5 30	6 38	0,997	315	134
387	Чагда	5 22	6 38	7 53	0,90	287	94
388	Чапаевск	4 34	5 29	6 28	0,85	300	143
389	Чара	5 05	6 22	7 40	0,98	303	100
390	Чарджоу	4 15	5 11	6 14	0,75	337	133
391	Чебоксары	4 39	5 34	6 31	0,78	293	144
392	Челкар	4 24	5 22	6 25	0,993	316	138
393	Челябинск	4 34	5 33	6 36	0,88	302	139
394	Черемхово	4 46	6 00	7 19	0,94	319	111
395	Череповец	4 48	5 39	6 33	0,67	282	146
396	Чилили	4 19	5 18	6 24	0,86	328	134
397	Чильчи	5 10	6 28	7 46	0,992	303	94
398	Чимкент	4 17	5 17	6 23	0,79	334	132
399	Чистополь	4 37	5 32	6 32	0,81	296	143
400	Чита	4 56	6 14	7 35	0,91	319	96

№	Название пункта	T_1	T_m	T_4	Φ_m	Z_1	Z_4
		ч м	ч м	ч м		°	°
401	Шадринск	4 35	5 35	6 38	0,87	301	139
402	Шарья	4 43	5 37	6 34	0,73	288	145
403	Шахрисабз	4 15	5 12	6 15	0,73	340	132
404	Шенкурск	4 50	5 43	6 38	0,65	281	146
405	Шилка	4 59	6 18	7 39	0,90	317	94
406	Шира	4 37	5 47	7 01	0,997	314	123
407	Эвенск	5 56	7 03	8 07	0,68	251	97
408	Эворон	5 29	6 51	8 10	0,98	297	75
409	Эгвекино	6 17	7 16	8 12	0,56	232	100
410	Элиста	п.г.	5 21	6 19	0,95	—	142
411	Энгельс	4 33	5 27	6 25	0,86	300	143
412	Эрзи	4 36	5 47	7 05	0,87	326	118
413	Этеркан	5 22	6 43	8 03	0,96	302	76
414	Южно-Сахалинск	5 43	7 06	8 24	0,92	289	61
415	Юр	5 30	6 45	7 57	0,84	277	94
416	Юрьево	4 43	5 36	6 32	0,73	288	145
417	Юрюнг-Хая	5 20	6 22	7 24	0,62	267	124
418	Якутск	5 22	6 35	7 47	0,82	281	102
419	Ялуторовск	4 36	5 36	6 41	0,87	301	137
420	Ярославль	4 45	5 37	6 32	0,71	286	146
421	Ярега	4 49	5 45	6 43	0,68	283	143

31 июля 1981 г. радиус солнечного диска будет $r_{\odot} = 15'45'' \approx 15',8$, а радиус лунного диска $r_{\zeta} = 15'57'' \approx 16',0$. Чтобы чертеж получился четким, лучше всего выбрать масштаб, при котором 1' изображается отрезком в 2 мм. Тогда лунный диск представится на чертеже окружностью радиусом $r_{\zeta} = 32$ мм, а солнечный диск — окружностью радиусом $r_{\odot} = 31,6$ мм. При построении чертежа следует помнить, что углы положения от зенита измеряются при центре солнечного диска против часовой стрелки от направления к зениту (на чертеже вверх).

В виде примера покажем последовательность построения хода частного солнечного затмения в Оренбурге, расположенном к северу от полосы полной фазы. Из таблицы II выписываем сведения о солнечном затмении в Оренбурге:

начало затмения $T_1 = 4^h30^m$, $Z_1 = 306^\circ$;

момент наибольшей фазы $T_m = 5^h27^m$, $\Phi_m = 0,91$;

конец затмения $T_4 = 6^h28^m$, $Z_4 = 141^\circ$.

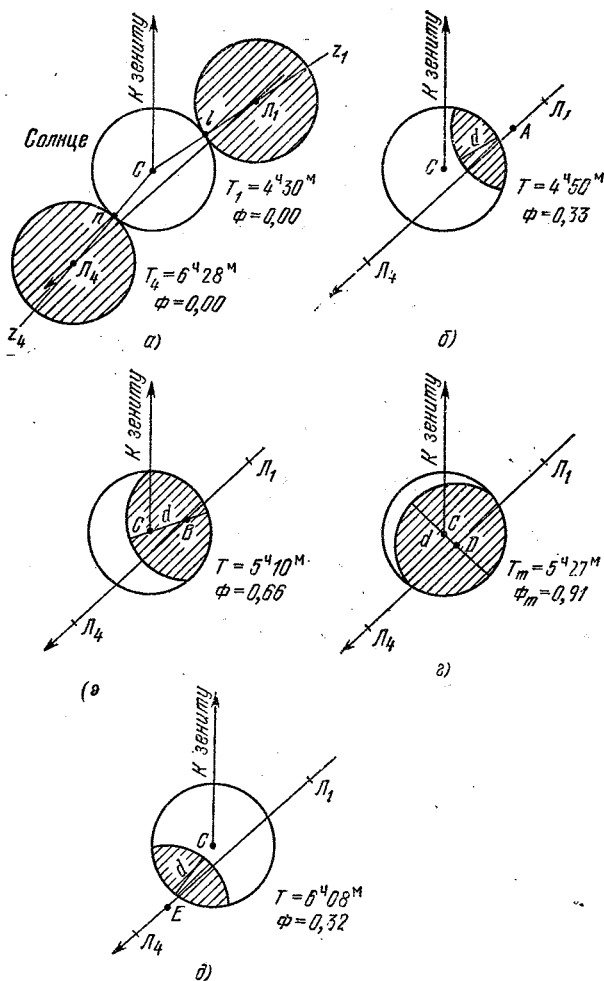


Рис. 42. Построение хода частного затмения 31 июля 1981 г. в Оренбурге. Центр лунного диска: L_1 — при первом контакте и L_4 — при последнем (четвертом) контакте.

Радиусом $r_{\odot} = 32$ мм построим окружность, изображающую Солнце (рис. 42, а) *), и из ее центра C проведем направление к зениту. От этого направления, при центре

*) По чисто техническим причинам масштаб приводимых здесь чертежей значительно уменьшен.

С, отложим по транспортиру против часовой стрелки углы $Z_1 = 306^\circ$ (первый контакт, начало затмения) и $Z_4 = 141^\circ$ (четвертый контакт, конец затмения). Стороны CZ_1 и CZ_4 этих углов в пересечении с окружностью, изображающей Солнце, дают точку l первого контакта и точку n четвертого (последнего) контакта. В моменты этих контактов центр лунного диска находится соответственно на прямых CZ_1 и CZ_4 . Поэтому, отложив на этих прямых отрезки $lL_1 = nL_4 = r_\odot = 32$ мм, найдем положения L_1 и L_4 центра лунного диска в моменты T_1 начала и T_4 окончания солнечного затмения. Проведя через точки L_1 и L_4 прямую линию L_1L_4 , получим видимый путь Луны в ходе затмения. Направление движения Луны показано стрелкой.

Свой путь L_1L_4 Луна проходит за интервал времени $T_4 - T_1 = 6^{\text{ч}}28^{\text{м}} - 4^{\text{ч}}30^{\text{м}} = 1^{\text{ч}}58^{\text{м}}$, или $T_4 - T_1 = 118^{\text{м}}$. Измерив на чертеже длину отрезка $L_1L_4 = 128$ мм, найдем масштаб времени

$$\mu = \frac{L_1L_4}{T_4 - T_1} = \frac{128}{118} = 1,08 \text{ мм/мин},$$

т. е. 1 минута времени изображается отрезком длиной в 1,08 мм.

Пользуясь масштабом времени, легко показать вид затмившегося Солнца и найти фазу солнечного затмения в любой его момент. Пусть это требуется найти через 20 мин и 40 мин после начала затмения, в момент его наибольшей фазы $\Phi_m = 0,91$ и за 20 мин до окончания затмения. По масштабу времени находим, что интервал времени $\Delta T = 20$ мин изображается отрезком длиной

$$L = \Delta T \cdot \mu = 20 \cdot 1,08 = 21,6 \text{ мм} \approx 21,5 \text{ мм}.$$

Отложив на лунном пути отрезок $L_1A = L = 21,5$ мм (см. рис. 42, б), отметим точку A , в которой будет находиться центр лунного диска через 20 мин после начала затмения, т. е. в момент времени $T = 4^{\text{ч}}30^{\text{м}} + 20^{\text{м}} = 4^{\text{ч}}50^{\text{м}}$. Проведя из точки A дугу окружности радиусом $r_\odot = 32$ мм, тем самым изобразим покрытую Луной часть солнечного диска (она заштрихована). Приложив линейку к точкам C и A , измерим расстояние $\sigma = 43$ мм между ними, и тогда в этот момент фаза солнечного затмения

$$\Phi = \frac{r_\odot + r_\ominus - \sigma}{2r_\odot} = \frac{32 + 32 - 43}{2 \cdot 32} = \frac{21}{64} = 0,33.$$

Через $40^{\text{м}}$ после начала солнечного затмения, т. е. к моменту времени $T = 4^{\text{ч}}30^{\text{м}} + 40^{\text{м}} = 5^{\text{ч}}10^{\text{м}}$, центр лун-

ного диску переместится в точку B (см. рис. 42, e), которая на чертеже отстоит от точки L_1 на расстоянии $L_1B = \Delta T \cdot \mu = 40 \cdot 1,08 = 43,2 \text{ мм} \approx 43 \text{ мм}$. Теперь уже из точки B проведем дугу окружности радиусом $r_c = 32 \text{ мм}$ и получим вид затмившегося Солнца в момент $T = 5^{\text{ч}}10^{\text{м}}$. Приложив линейку к точкам C и B , измерим отрезок между краем лунного и закрытым краем солнечного диска; длина этого отрезка $d = 42 \text{ мм}$ и поэтому фаза солнечного затмения $\Phi = \frac{d}{2r_{\odot}} = \frac{42}{64} = 0,66$.

Аналогичным образом находим вид солнечного серпа и наибольшую фазу затмения $\Phi_m = 0,91$ в момент $T_m = 5^{\text{ч}}27^{\text{м}}$ (см. рис. 42, g ; центр лунного диска в точке D) и в момент $T = 6^{\text{ч}}08^{\text{м}}$, т. е. за $20^{\text{м}}$ до окончания затмения (см. рис. 42, d ; центр лунного диска в точке E).

По результатам построения составляем таблицу, характеризующую ход затмения:

Момент по московскому времени	Момент по оренбургскому времени	Фаза затмения Φ
$T_1 = 4^{\text{ч}}30^{\text{м}}$	$T_1 = 6^{\text{ч}}30^{\text{м}}$	0,00
$T = 4^{\text{ч}}50^{\text{м}}$	$T = 6^{\text{ч}}50^{\text{м}}$	0,33
$T = 5^{\text{ч}}10^{\text{м}}$	$T = 7^{\text{ч}}10^{\text{м}}$	0,66
$T_m = 5^{\text{ч}}27^{\text{м}}$	$T_m = 7^{\text{ч}}27^{\text{м}}$	0,91
$T = 6^{\text{ч}}08^{\text{м}}$	$T = 8^{\text{ч}}08^{\text{м}}$	0,32
$T_4 = 6^{\text{ч}}28^{\text{м}}$	$T_4 = 8^{\text{ч}}28^{\text{м}}$	0,00

Приближенные обстоятельства солнечного затмения в пунктах, не указанных в таблицах I и II, могут быть выяснены по прилагаемой карте солнечного затмения. В разных местах земной поверхности солнечное затмение начинается, достигает наибольшей фазы и оканчивается в различные моменты времени. Эти моменты можно найти с помощью изображенных на карте изогнутых линий, называемых изолиниями (от греческого слова «изос» — равный, одинаковый), так как они соединяют местности с одинаковыми значениями некоторых величин, характеризующих ход затмения.

В левой части карты сплошными линиями показаны западные границы видимости солнечного затмения. Вдоль

одной из них написано: «Начало затмения при восходе». Эта граница пролегает по тем местам земной поверхности, где солнечное затмение начнется (первый контакт) при восходе Солнца. Она проходит в северо-западном направлении вблизи Ашхабада, через северо-восточную зону Каспийского моря, в 30 км восточнее Акколя, через озеро Эльтон и город Джанибек, пересекает Волгу в 30 км восточнее Камышина, далее идет в 25 км восточнее Балашова, в 28 км восточнее Тамбова, в 20 км западнее Рязани и в 10 км западнее Москвы, затем через Торжок и вблизи Новгорода к Финскому заливу и в районе города Котки пересекает советско-финляндскую государственную границу. К востоку от линии начала затмения при восходе Солнца будут видны все фазы солнечного затмения, с его начала до окончания. Западнее этой линии Солнце взойдет уже в затмении тем большей фазы, чем дальше к западу от нее расположена местность. Таким образом, в республиках Прибалтики, в Калининградской области, в Белоруссии, Молдавии и на Украине, в республиках Закавказья, на Северном Кавказе, в Ставропольском крае, в Пскове, Калуге, Смоленске, Орле, Курске, Воронеже, Волгограде, Астрахани и многих других городах юго-западных районов РСФСР начала затмения видно не будет (в таблицах на с. 88—101 это отмечено буквами «п.г.— под горизонтом»).

Соседняя граница видимости солнечного затмения на карте отмечена словами: «Середина затмения при восходе». Она проходит от Черного моря по Керченскому полуострову и Азовскому морю, далее несколько южнее Кривого Рога, Кировограда и Шполы к Белой Церкви, Радомышлю, Коростени, Пинску, Гродно и Советску. На этой линии Солнце взойдет в наибольшей фазе затмения, и затем будут видны его убывающие фазы при низком положении Солнца над горизонтом. Западнее этой линии можно видеть только убывающие фазы затмения, незадолго до его окончания.

Еще западнее располагается граница, на которой Солнце взойдет в момент окончания затмения, но она проходит вне территории Советского Союза.

Утолщенными сплошными слегка изогнутыми линиями (идущими так же, как полоса полной фазы,— с запада на восток) на карте изображены изофазы наибольшей фазы затмения. Эти изолинии проходят по тем местам земной поверхности, в которых наибольшая фаза

частного солнечного затмения будет одинаковой, и они проведены через интервал фазы в 0,1. Значения наибольшей фазы частного затмения проставлены у концов изофаз. Изофазы, обозначенные цифрой 1, представляют собой северную и южную границу полосы полной фазы солнечного затмения, которая на карте отмечена штриховкой. По этой полосе пройдет лунная тень, и в ее пределах будет видно не только частное, но и полное солнечное затмение. Подробное описание полосы полного солнечного затмения изложено ниже (см. с. 108).

Тонкие прерывистые кривые линии соединяют те места земной поверхности, в которых солнечное затмение начинается в одни и те же моменты по московскому времени. Эти изолинии называются изохронами начала затмения и представляют собой контуры лунной полутени, скользящей по земной поверхности. Они проведены на карте через интервалы времени в 10 мин, а у их концов показаны сами моменты московского времени. Изохроны наглядно показывают продвижение полутени Луны.]

Сплошными изолиниями нанесены изохроны конца затмения, проходящие через местности, в которых солнечное затмение оканчивается в одни и те же моменты по московскому времени, указанные на концах изохрон. Изохроны конца затмения проведены на карте через интервалы времени в 10 мин.

Аналогично построены и оцифрованы изохроны наибольшей фазы затмения, изображенные на карте толстыми прерывистыми линиями. Они соединяют те местности, в которых наибольшая фаза затмения наступает одновременно по московскому времени.

Пользуясь изолиниями, нетрудно найти моменты начала и окончания затмения, его наибольшую фазу, а также ее момент времени в любой местности, лежащей между изолиниями. Для этого достаточно измерить на карте миллиметровой линейкой кратчайшее расстояние этой местности от ближайшей изолинии и расстояние между соседними изолиниями, проходящими по обе стороны от местности. Пусть некоторый пункт A лежит между двумя именными изолиниями, оцифрованными числами N_1 и N_2 , причем N_2 больше N_1 ($N_2 > N_1$). Тогда интервал между этими изолиниями есть $n = N_2 - N_1$. Измерив на карте в миллиметрах кратчайшее расстояние a пункта A от изолинии N_1 и расстояние l между обеими изолиниями N_1 и N_2 , найдем, что в пункте A должна проходить

перенесенная на карту изолиния

$$N_A = N_1 + n \frac{a}{l},$$

которая определяет значение искомой величины в данном пункте.

В виде примера покажем, как по изолиниям найти моменты начала, окончания и наибольшую фазу солнечного затмения в Москве. По обе стороны, от Москвы проходят изохроны начала затмения $N_1 = 4^{\text{ч}}40^{\text{м}}$ и $N_2 = 4^{\text{ч}}50^{\text{м}}$, с интервалом между ними

$$n = N_2 - N_1 = 4^{\text{ч}}50^{\text{м}} - 4^{\text{ч}}40^{\text{м}} = 10^{\text{м}}.$$

Измеренное по карте кратчайшее расстояние Москвы от меньшей изохроны N_1 составляет $a = 7$ мм, а расстояние между изохронами $l = 23$ мм. Следовательно, в Москве солнечное затмение начнется (первый контакт) в момент

$$T_1 = N_1 + n \frac{a}{l} = 4^{\text{ч}}40^{\text{м}} + 10^{\text{м}} \cdot \frac{7}{23} = 4^{\text{ч}}43^{\text{м}}$$

по московскому времени.

Момент T_4 окончания солнечного затмения в Москве находится по изохронам конца затмения $N_1 = 6^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ и $N_2 = 6^{\text{ч}}30^{\text{м}}$, между которыми Москва расположена. На карте Москва отстоит от изохроны N_1 на кратчайшем расстоянии $a = 30$ мм, при расстоянии между этими изохронами $l = 32$ мм. Отсюда находим момент окончания затмения (момент четвертого контакта)

$$T_4 = N_1 + n \frac{a}{l} = 6^{\text{ч}}20^{\text{м}} + 10^{\text{м}} \cdot \frac{30}{32} = 6^{\text{ч}}29^{\text{м}}$$

по московскому времени.

Аналогично, по изохронам наибольшей фазы определяется ее момент

$$T_m = 5^{\text{ч}}35^{\text{м}}.$$

Наибольшая фаза солнечного затмения в Москве вычисляется по изофазам наибольшей фазы $N_1 = 0,70$ и $N_2 = 0,80$, проходящим по обе стороны от Москвы. Интервал между этими изофазами $n = N_2 - N_1 = 0,80 - 0,70 = 0,10$, а в районе Москвы расстояние на карте между ними $l = 19$ мм. Измеренное по карте кратчайшее расстояние Москвы от изофазы $N_1 = 0,70$ составляет

$a = 6$ мм. Следовательно, в Москве наибольшая фаза солнечного затмения

$$\Phi_m = N_1 + n \frac{a}{l} = 0,70 + 0,10 \cdot \frac{6}{19} = 0,73.$$

Все найденные величины совпали с имеющимися в таблице II (см. с. 97).

7. ПОЛОСА ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 31 ИЮЛЯ 1981 г.

Началом полного солнечного затмения считается момент, когда лунная тень вступает на Землю. Максимальная продолжительность полного затмения в каждом месте определяется тем промежутком времени, в течение которого тень, скользя по земной поверхности, проходит длину своего диаметра. Совокупность мест, по которым последовательно пробегает лунная тень, образует на Земле своеобразную полосу, называемую полосой полной фазы, посередине которой проходит центральная линия затмения. С центральной линии затмения наблюдается симметричное покрытие солнечного диска лунным, так что в середине затмения центры обоих дисков совпадают.

31 июля 1981 г. полное солнечное затмение будет наблюдаться на территории Советского Союза в полосе шириной от 57 до 408 км, протянувшейся от Черного моря до Курильских островов. Тень Луны коснется Земли в $5^h 47^m, 7$ по московскому времени в точке с восточной долготой $39^\circ 46'$ и северной широтой $42^\circ 02'$. Эта точка лежит в восточной части Черного моря в 150 км от города Сухуми в Грузинской ССР. Произойдет это при восходе Солнца и сразу же будет наблюдаться наибольшая фаза затмения. Вначале лунная тень, падая под острым углом к земной поверхности, движется очень быстро. Скорость ее на территории Грузии составляет 2 км/с. Полное затмение на Кавказе произойдет рано утром, когда Солнце будет видно еще у самого горизонта. Ширина полосы полной фазы затмения здесь достигнет 60 км.

Вступив на территорию Абхазской АССР, тень Луны начнет свое движение на северо-восток, и в полосе полной фазы окажутся Гали (44 с *), Зугдиди (26 с), Очамчир

*) Здесь и дальше в скобках дана продолжительность полной фазы в указанном пункте.

(43 с), Ткварчели (39 с). Двигаясь вдоль долины реки Ингури, тень пересечет Главный Кавказский хребет, следуя через Цаленджиху, Цицхвари, Пори, Местию. На пути тени окажутся гора Лайла высотой 3986 м, гора Ушба (4710 м) и гора Дым-Тау (5198 м).

Выйдя за пределы Грузинской ССР, лунная тень вступит на территорию Кабардино-Балкарской АССР. Здесь на пути тени окажутся населенные пункты Тырнауз, Советское, Лескен, Кусарты и город Нальчик (42 с), который будет находиться на центральной линии полосы полной фазы, затем Нарткала, Терек и Майский. По Чечено-Ингушской АССР лунная тень пройдет через Назрань, Малгобек, Горагорский и Гвардейское. Далее она пересечет реку Терек, и полное солнечное затмение будет видно в Прохладном (27 с), Виноградном, Моздоке (48 с), Наурской и Губжиковском. Затронув своей северной зоной самые восточные местности Ставропольского края, лунная тень прочтится по северной части Дагестанской АССР через Терекли-Мектеб, Кочубей, Кутан, Брянск (Дагестанская АССР) и выйдет к Каспийскому морю в районе Кизлярского залива. Полное солнечное затмение на Северном Кавказе будет продолжаться около полутора минут, причем Солнце успеет подняться лишь до высоты 6° над горизонтом.

Чем дальше продвигается тень Луны, тем шире становится полоса полного затмения, тем дольше продолжается полная фаза на центральной линии и тем выше на этой линии Солнце будет над горизонтом во время полного затмения. Направляясь далее на северо-восток через Каспийское море, полоса полного затмения перейдет на территорию Казахской ССР, в районе поселка Жилая Коса, расположенного южнее Гурьева. Здесь уже ширина полосы полной фазы достигнет 72 км, продолжительность полной фазы на центральной линии составит 55 с, а высота Солнца над горизонтом станет равной 15° .

В зону видимости полного затмения попадет Прикаспийская низменность, а южная граница полосы в этом районе пройдет по пескам Каракум. Долина реки Эмбы целиком будет лежать в зоне видимости полного затмения. Полоса полной фазы пройдет через Каратон (вблизи южной границы полосы), Косчагыл и Кульсары, которые лежат вблизи центральной линии полосы; здесь полная фаза достигнет 1,009 и продлится 60 с. Затем лунная тень пойдет через Кулакши, Тобуксен и Копбулак, а в Актю-

бинской области пересечет горы Чушкакуль и Мугоджары. Далее на пути лунной тени окажутся Мугоджарская, Берчогур (53 с), Котырмас, Талдыкум (на южной границе полосы полной фазы), Тумалыколь, Каратогай и Акбулак. Сарыоба окажется на северной границе полосы полной фазы, а Иргиз — вблизи ее южной границы. Продолжая движение на северо-восток, тень пересечет реку Улькайяк в ее верховьях и пойдет вдоль долины реки Тургай, а также рек Кабырга и Каратургай. В этом районе полное затмение будет происходить в Тургае (70 с), Тамкхамысе (67 с), Амантогае (67 с), Амангельды (72 с). Озеро Сарыкопа, вернее, его южная половина, также окажется в зоне полного затмения. В Целиноградской области тень Луны захватит местность, проходящую по Казахскому Мелкосопочнику. Озеро Тенгиз не попадет в полосу полной фазы, но его северная часть окажется очень близко от южной границы полосы. Далее лунная тень пересечет реку Терисаккан, и полное затмение будет видно в Ладыженке, Новошимском, Астраханке, Джалтыре, Елизаветинке, Шортанды, Новомарковке. Между Атбасаром и Целиноградом лунная тень пересечет реку Ишим. В этом месте ширина полосы полного затмения достигнет 84 км, а продолжительность полного затмения на центральной линии составит 79 с.

Целиноград не попадет в полосу полного затмения, так как ее граница проходит примерно в 10 км севернее него. Но наибольшая фаза затмения в Целинограде будет равна 0,997, т. е. очень близка к полной фазе. Скорость лунной тени в этом районе достаточно велика и расстояние в 900 км от Кульсары до Амангельды она пробежит за 5 минут.

В $5^{\text{h}}30^{\text{m}}13^{\text{s}}$ по московскому времени лунная тень достигнет Жолымбета, где полное затмение будет продолжаться 81 с, а величина наибольшей фазы составит 1,009. Полосой полного затмения будут покрыты пункты Новомарковка, Ерментау, Тургай, Богембай, Бестобе, Бозшакуль, затем тень пересечет пересыхающие русла рек Карасау и Шидерты, и затмение увидят в Зеленой Роще (здесь будет проходить южная граница полосы полной фазы), Марковке, Жанаталапе. В этом районе северная граница полосы полной фазы коснется южной оконечности озера Жалаулы. Примерно в $5^{\text{h}}34^{\text{m}}$ тень Луны пересечет Иртыш на всем участке от Краснокутского до Марковки. Ширина полосы полного затмения в этом районе

увеличится до 90 км, а высота Солнца над горизонтом — до 26°.

Полное затмение будет видно в Качирах (вблизи северной границы полосы полной фазы; 49 с), в Песчанам, Успенке, Чернорецком, Белоцерковке, Лозовой. В 5^ч34^м40^с оно начнется в Таволжане и продлится 59 с. Затем лунная тень пересечет границу между Казахстаном и РСФСР и закроет территорию Кулундинской степи, на которой окажутся Кулундинское озеро и озеро Большое Топольное. В Славгороде полное затмение начнется в 5^ч35^м42^с и продлится 71 с. Далее на пути следования тени окажутся Бурла, Знаменка, Нижняя Суетка (67 с), Верхняя Пайва (82 с), Хабары, Чуманка, Баево, Панкрушиха, вся долина реки Кулунды, Тюменцево. В 5^ч38^м19^с лунная тень достигнет реки Оби, и затмение увидят в городе Камень-на-Оби, который находится на центральной линии полосы полной фазы, и полное затмение здесь продлится 91 с. Затмение увидят в Долганке, Крутихе, Корнилове, Киприне, Шелаболихе.

Лунная тень имеет форму эллипса, большая ось которого немного укорачивается, а малая увеличивается. Эллипс медленно поворачивается по часовой стрелке. На карте затмения видно, как меняется угол наклона изохрон наибольшей фазы к центральной линии полосы полного затмения. Скорость лунной тени в районе Оби довольно высокая, около 1,5 км/с, а ширина полосы полной фазы — 92 км. Полное затмение будет видно в Заковряжине, Сузуне, Черепанове (91 с), Тальменке (66 с), Безменове, Анисимове, Средне-Краюшкине, Посевной. Продолжительность полного затмения на центральной линии в этом районе 94 с, а высота Солнца над горизонтом 35°.

Двигаясь дальше, лунная тень пересечет Салаирский хребет и вступит в Кемеровскую область. В 5^ч42^м22^с полное солнечное затмение начнется в Салаире, где оно продлится 82 с. Его увидят в Ваганове, Красном, Урске, Новопестереве, Гурьевске (85 с), Белове (93 с), Полысаеве, Чертинском (82 с), Трудармейске, Терентьевском, Усть-Нарыке, Чекмарах, Грамотеине, Сартаках. В Ленинске-Кузнецком полное затмение начнется в 5^ч43^м04^с по московскому времени и продлится 95 с. Затем оно будет видно в Панфилове, Чеснокове, Междугорном, Тараданове, Салтымакове, Первомайском, Пезасе. Далее лунная тень пересечет горный хребет Кузнецкий Алатау,

и полное затмение увидят в Первомайском, Ударном, Бельмянке, Приисковом, Золотогорском, Знаменитом. Перейдя реки Тийдон, Среднюю Терсь, Нижнюю Терсь, Кюю, Урюп и гору Большой Таскыл, лунная тень пойдет по Красноярскому краю в районе Солтонского кряжа. В Орджоникидзевском (94 с) полное затмение начнется в $5^{\text{ч}}45^{\text{м}}32^{\text{с}}$, в Сарале (99 с) — в $5^{\text{ч}}45^{\text{м}}53^{\text{с}}$, а в Копьеве — в $5^{\text{ч}}46^{\text{м}}31^{\text{с}}$ и продлится 100 с. В этом районе в зону полного затмения попадет озеро Черное, река Белый Июс и озеро Большое; северная граница полосы полной фазы здесь проходит чуть южнее озера Белого, а южная — через озеро Шира. Далее ее северная граница пройдет через Солгонский кряж, населенные пункты Курбатово, Еловку, Виленку, Донниково, а южная граница — через Бей-Булак. Между этими границами лежат населенные пункты: Еловка (81 с), Тукай (88 с), Петропавловка, Ильинка, Старая Кузурба, Бараит, Новоселово, Монастырево, Аешка, Батени, Балахта (97 с), Даурское (102 с).

Между Бахтой и Батени лунная тень пересечет реку Енисей, и в полосе полного затмения окажутся населенные пункты Бахта, Езагаш, Дербино, Ермолаево, Кома, Анаш, Большая Тесь. Затем северная граница полосы полной фазы пройдет через Камарчагу, Балай, Иршу, Бородино, а южная — через Иннокентьевку, Лодочный, Выезжий Лог, Амбарчик. Между этими границами находятся населенные пункты Точильная (105 с), Смоленка, Налимья, Шалинское, Уяр (81 с), Кияй, Новоалексеевка (105 с), Нарва, Спирино, Степной Баджей, Вершино-Рыбное, Тинская, Межово, Александровка, Южно-Александровка, Талое, Агинское, Романовка, Большой Арбай, Петропавловка. В этом районе продолжительность полного солнечного затмения на центральной линии составит 107 с, а ширина полосы достигнет 99 км.

Миновав Ирбейское, в котором полное затмение начнется в $5^{\text{ч}}52^{\text{м}}38^{\text{с}}$ и продлится 107 с, тень Луны пересечет реку Кан, затем реку Пойму и в $5^{\text{ч}}55^{\text{м}}03^{\text{с}}$ дойдет до Суети-хи (102 с), а в $5^{\text{ч}}55^{\text{м}}34^{\text{с}}$ до Тайшета (106 сек). В Иркутской области ширина лунной тени увеличится до 101 км, а продолжительность полной фазы на центральной линии — до 113 с. В полосе полного затмения окажутся Квиток, Баер, Алзамай (69 с), Балтурино, Падун, Братск, Заярск, Шумиловская, Судоверфь (112 с), Верхнее Суворово, Боярск, Орленга, Новоселово. В $6^{\text{ч}}06^{\text{м}}51^{\text{с}}$ полное затмение увидят в Казачинском (116 с). Далее тень

перевалит через Байкальский хребет Аkitкан и в 6^ч09^м01^с придет в Северобайкальск (54 с), а в 6^ч09^м11^с — в Нижнеангарск. Южная граница полосы полной фазы пройдет по Байкалу и заденет северную оконечность Баргузинского хребта.

В 6^ч11^м20^с полное затмение начнется в Куморе (113 с), а в 6^ч12^м02^с — в Уояне (119 с). Далее тень пойдет по Северо-Муйскому хребту, по Южно-Муйскому хребту и в 6^ч16^м41^с дойдет до Киндикана (118 с), а в 6^ч17^м10^с — до Бамбуйки (123 с). В этом районе ширина полосы полного затмения достигнет 105 км. Далее путь лунной тени пролегает с северной стороны по хребту Удокан, а с южной стороны — по хребту Янкан, через Среднюю Олекму к Олекминскому Становику. На пути тени окажется гора Голец-Скалистый, высотой 2800 м. Перемещаясь дальше, лунная тень замедляет свою скорость, а ширина полосы и длительность полной фазы на центральной линии продолжает увеличиваться. По Амурской области тень движется со скоростью около 720 м/с, а ширина полосы в районе Златоустовского достигает своего наибольшего значения в 108 км. Затем лунная тень, падая наклонно к поверхности Земли, начнет ускорять свой бег, а ширина полосы вместе с продолжительностью полной фазы на центральной линии станет постепенно уменьшаться.

В Амурской области в зоне полного затмения окажутся Усть-Урқима и Средняя Нюкжа. В поселке Тында полное затмение начнется в 6^ч30^м01^с и продлится 117 с. Далее затмение увидят в поселке Золотая Гора, в Соловьевске, Потехине, Дамбуках, в Зее, Огороне, Иннокентьевском. В Болодеке полное затмение начнется в 6^ч43^м02^с и продлится 117 с. Далее тень Луны проследует через хребет Джаслы к Златоустовску (49 с), где полное затмение начнется в 6^ч44^м53^с. Миновав гору Город-Макит высотой 2295 м, лунная тень продолжит свой путь и достигнет Агни-Афанасьевского, Дидбирана, Мариинска и Де-Кастри. В Софийске полное затмение увидят в 6^ч54^м52^с при высоте Солнца над горизонтом в 52°. Перейдя через Татарский пролив, тень вступит на остров Сахалин, и в Александровске-Сахалинском полное затмение начнется в 6^ч59^м01^с. На Сахалине полное затмение увидят в Млачах, Казакевичах, Пограничном, Тымовском (110 с). Гора Лопатина высотой 1609 м также попадает в зону видимости полного затмения. Свой путь по Охотскому морю лунная тень пробежит за 18 минут и примерно

в 7^ч20^м по московскому времени достигнет островов Курильской гряды, после чего покинет территорию нашей страны.

Итак, полное солнечное затмение в Советском Союзе будет продолжаться в течение двух часов в полосе протяженностью в 8250 км. Наибольшая фаза затмения в полдень наступит в 6^ч35^м30^с по московскому времени в в Амурской области, в местности с географической долготой 127°41' и географической широтой +54°25', где Солнце будет находиться над горизонтом на высоте 54°.

Особо необходимо отметить, что полное солнечное затмение будет видно на многих участках Байкало-Амурской магистрали, причем в благоприятных условиях, при большой высоте Солнца над горизонтом и значительной продолжительности полной фазы затмения. Сведения о полном солнечном затмении на участках Байкало-Амурской магистрали содержатся в таблице III, в которой T_2 — момент начала полной фазы, а τ — ее продолжительность.

Т а б л и ц а III. Полное солнечное затмение на станциях Байкало-Амурской магистрали. Моменты указаны по московскому времени

Название пункта	T_2			τ	Название пункта	T_2			τ
	ч	м	с	с		ч	м	с	с
Видим	6	01	47	91	Витим	6	17	35	90
Ния	6	06	27	80	Куанда	6	18	46	39
Киренга	6	06	41	117	Ларба	6	27	50	96
Улькан	6	07	06	105	Хорогочи	6	28	40	109
Нижне-Ангарск I	6	09	11	68	Кувькта	6	29	21	120
Нижне-Ангарск II	6	09	14	98	Янкан	6	29	29	68
Кичера	6	09	56	116	Беленькая	6	29	34	125
Уоян	6	12	02	119	Тында	6	30	01	117
Янчукан	6	13	06	112	Сивачкан	6	30	43	96
Муякан	6	14	44	111	Тутаул	6	34	08	93
Лапро	6	15	55	73	Зейск	6	35	52	114
Таксимо	6	16	45	56	Ижак	6	36	45	117

Более подробные сведения содержатся в таблице I на с. 88.

Станция Беленькая лежит на центральной линии полосы полной фазы, и там продолжительность полного солнечного затмения наибольшая.

Многие станции Байкало-Амурской магистрали окажутся вблизи полосы полной фазы, и там наибольшая фа-

за затмения будет приближаться к полной. Приводим перечень этих станций в алфавитном порядке:

Алонка	Комсомольск-	Таюра
Амгунь	на-Амуре	Ургал I
Березовка	Лена	Ургал II
Беркакит	Леприндо	Усть-Нюкжа
Вельбеткан	Маревая	Февральск
Герби	Меунчик	Федькин Ключ
Горин	Могот	Хурмули
Джамку	Муртыгит	Чара
Дипкун	Нагорная	Чильчи
Дугда	Олекма	Эворон
Дюгабуль	Солони	Этеркан
Золотинка	Сулук	
Икабья	Сюльбан	

Обстоятельства солнечного затмения в этих пунктах приведены в табл. II на с. 92.

8. ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ

Для наблюдений солнечных затмений астрономы используют хотя сравнительно небольшие по размерам, но часто дорогостоящие инструменты весьма сложной конструкции. Применение таких инструментов вызывается необходимостью исследования тонких эффектов, от которых зависит правильное решение специальных научных задач. Но это отнюдь не означает, что для наблюдений солнечных затмений обязательно требуются только сложные инструменты.

Среди общих задач наблюдений солнечных затмений имеется много таких, которые могут быть выполнены простейшими способами и средствами, вполне доступными любителям астрономии. Для выполнения таких наблюдений пригодны бинокли, небольшие школьные и самодельные телескопы, обычные фотокамеры, фотоэкспонометры, а также некоторые другие простейшие инструменты, которые без особых затруднений доступны изготовлению силами любителей астрономии, тем более, что в настоящее время многие из них обладают достаточными производственно-трудовыми навыками, приобретенными в средних школах, производственно-технических училищах, техникумах и отраслевых учебных институтах. Возможностям самодельного изготовления простейших научных приборов во многом способствует наличие небольших мастерских

в тех же учебных заведениях, не говоря уже о совхозах, колхозах и производственных объединениях. Именно поэтому ниже приводятся рекомендации к проведению простейших наблюдений предстоящего 31 июля 1981 г. полного солнечного затмения.

Прежде всего нужно твердо запомнить, что вне затмения или при частных фазах затмения смотреть на Солнце без защиты глаз темными светофильтрами категорически запрещено. Это предупреждение особо относится к наблюдениям Солнца в оптические инструменты, так как пренебрежение им вызовет мгновенное и неизлечимое повреждение глаз. Поэтому перед объективом оптического инструмента нужно обязательно укрепить темный светофильтр достаточной плотности, чтобы глаза не ощущали раздражения солнечным светом. Даже при фазе солнечного затмения, равной 0,9, т. е. когда Луной закрыто 90% видимого диаметра Солнца, остается открытой 0,125 (одна восьмая) часть солнечного диска, и солнечный свет ослаблен всего лишь в 8—10 раз, что еще опасно для зрения, тем более что открытая часть имеет неослабленную поверхностную яркость. Без защиты глаз, в том числе в бинокль и в телескоп, можно смотреть на Солнце только во время полной фазы солнечного затмения, когда Солнце совсем закрыто Луной, а невооруженным глазом — и в непосредственной близости к этой фазе, когда незакрытая часть солнечного диска имеет вид настолько узкого, еле заметного серпа, что его свет уже не раздражает глаз.

Во время солнечного затмения возможны самые разнообразные наблюдения, выполнение которых одному наблюдателю непосильно. Поэтому лучше всего проводить наблюдения солнечного затмения коллективами, состоящими из 12—15 наблюдателей, каждый из которых выполняет одну строго определенную задачу. Конечно, численность коллектива может быть и иной, но тогда и круг задач должен быть изменен в ту или иную сторону. Безусловно, не все виды наблюдений окажутся одинаково интересными для наблюдателей, но тем не менее и их необходимо провести, помня, что наука требует жертв.

При разработке программы коллективных наблюдений прежде всего следует выяснить обстоятельства солнечного затмения в местности, где будут проводиться наблюдения. Это можно сделать по рекомендациям, изложенным в данной книге (см. с. 104). Если в данной местности бу-

дет происходить полное солнечное затмение, то программа наблюдений может быть весьма обширной. При частном солнечном затмении программа наблюдений, конечно, незначительна.

При распределении обязанностей среди наблюдателей необходимо помнить, что в процессе наблюдений полного солнечного затмения в высшей степени важно отмечать моменты времени происходящих явлений. Пока солнечное затмение протекает при небольших фазах, отметки времени самими наблюдателями не вызывают затруднений, так как наблюдения проводятся через интервалы времени в несколько минут. Но вблизи полной фазы затмения и в течение нее наблюдатели ведут наблюдения непрерывно и следить за часами они не в состоянии. Поэтому необходимо назначить специального счетчика времени, который, все время следя за часами, обязан громко отсчитывать моменты времени. При частных фазах затмения счетчик объявляет число минут, оставшихся до начала полного затмения, сначала через интервалы в 5 мин (например: «До начала осталось 40 минут, 35 минут, 30 минут, ...») и так далее. Но за пять минут до начала полной фазы затмения, счет объявляется уже через каждую минуту (5 минут, 4 минуты, 3 минуты, 2 минуты), а за одну минуту до полной фазы — через каждую секунду (60, 59, 58 и т. д.). В момент начала полного затмения счетчик объявляет «ноль», далее отсчитывает секунды в порядке их возрастания и прекращает секундный счет лишь через одну минуту после окончания полной фазы затмения.

Для счета времени пригодны любые наручные часы с секундной стрелкой или секундомер. Часы должны быть дважды выверены по радиосигналам точного времени, один раз до начала частного затмения и второй раз после его окончания. Различие показаний часов от моментов точного времени записывается в журнал наблюдений.

Во время солнечного затмения большинство наблюдателей выполняет свои обязанности по объявляемым счетчиком моментам времени. Но имеются и такие виды наблюдений (например, наблюдения движения лунной тени, ее границ, бегущих теней), когда более удобен отдельный счет времени. В этих случаях полезно к каждому наблюдателю придать помощника-секретаря, который про себя ведет счет времени и краткие записи под диктовку наблюдателя. Вблизи полной фазы затмения и на ее протяжении моменты времени следует отмечать с наибольшей

возможной точностью, лучше всего с точностью до 1 секунды.

Солнечное затмение может происходить в различных метеорологических условиях, и крайне важно отмечать эти условия в журнале наблюдений, например, наличие легких облаков, дымки, резкого ветра и т. д. Желательны



Рис. 43. Наблюдения на экране частных фаз солнечного контакта.

и непрерывные метеорологические наблюдения, если имеются даже простейшие метеорологические приборы.

Для успешного проведения наблюдений полного солнечного затмения, безусловно, необходимы, еще за 10—12 дней до него, многократные тренировки наблюдателей совместно со счетчиком моментов времени, с тем, чтобы под его громкий счет четко отработать все действия, которые придется осуществлять на протяжении затмения.

Наблюдения частных фаз солнечного затмения не представляют интереса, разве что только можно попытаться отметить с точностью до 1 секунды моменты внешних контактов лунного диска с солнечным в самом начале и в самом конце затмения. Поэтому вне полосы полной фазы можно выполнить только эти наблюдения, а в промежутке между ними следить за изменением формы солнечного серпа, т. е. незакрытой Луной частью солнечного диска. Эти наблюдения можно проводить в бинокль или небольшой телескоп, объективы которых защищены темными светофильтрами. Но лучше всего для наблюдений солнечных серпов использовать белый экран, укрепленный на окулярном конце телескопа (рис. 43). Это позво-

лит вести наблюдения сразу несколькими наблюдателями одновременно и в то же время гарантирует их полную безопасность. В процессе наблюдений трубу телескопа следует медленно поворачивать за Солнцем, которое из-за суточного вращения Земли все время смещается к западу.

В полосе полной фазы такие наблюдения тоже возможны, а определение моментов внутренних контактов, т. е. моментов начала и окончания полного затмения, крайне желательно. Но для повышения точности определения моментов внутренних контактов наблюдать их лучше непосредственно в бинокль, а еще лучше отметить по секундомеру моменты наступления темноты и ее окончания.

Наиболее простыми наблюдениями, которые могут быть выполнены даже начинающими любителями астрономии, являются определение моментов времени появления на небе ярких звезд и планет непосредственно перед началом полного солнечного затмения и в течение него, а также исчезновения тех же светил после окончания полной фазы затмения. Такие наблюдения желательно провести как невооруженным глазом, так и в бинокль в трех участках неба: в окрестностях Солнца, вокруг Полярной звезды и в области зенита. Для этого необходимо по звездному атласу А. А. Михайлова изучить взаимное расположение ярких звезд в указанных участках неба. Обычно во время полного солнечного затмения на небе появляются только яркие светила 1^m , а иногда и 2^m (m — это символ звездной величины), но в бинокль могут быть видны звезды до 3^m .

Во время полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. Солнце будет находиться в созвездии Рака. Яркие светила, видимые невооруженным глазом в окрестностях Солнца во время полной фазы солнечного затмения, показаны на рис. 44, а сведения о них содержатся в таблице IV. В этой таблице, помимо звездной величины m светила, приведены их экваториальные координаты, прямое восхождение α_0 и склонение δ_0 на московскую полночь $T_m = 0^h$ (начало календарной даты 31 июля 1981 г.), изменения $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ экваториальных координат за 1 ч и угловые расстояния ρ светил от Солнца к западу (+) и к востоку (—).

Эти сведения помогут не только быстро найти светила на небе, но и использовать их для гидирования (т. е.

Таблица IV. Яркие светила вблизи Солнца

Светило	m	Для $T_M = 0^{\text{ч}}$		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	ρ
		α_0	δ_0			
Марс	+1,8	6 ^ч 36 ^м 41 ^с	+23°27'15"	+7 ^с ,26	-5",11	+29,0
α Близнецов	+2,0	7 33 26	+31 55 47	—	—	+19,9
α Малого Пса	+0,5	7 38 20	+5 16 23	—	—	+20,0
β Близнецов	+1,2	7 44 11	+28 04 18	—	—	+15,0
Меркурий	-1,2	7 53 25	+21 42 37	+21,42	-36,9	+12,3
α Льва	+1,3	10 07 23	+12 03 28	—	—	-21,5
Венера	-3,4	10 39 14	+9 55 54	+11,23	-71,0	-29,8
Солнце		8 39 57	+18 22 35	+9,74	-36,9	

перемещения по светилу, принятому за ориентир) трубы телескопа при фотографировании узких солнечных серпов и солнечной короны.

Полезно заранее составить аналогичные карты взаимного расположения ярких звезд до 2^м (при наблюдениях невооруженным глазом) и до 3^м (при наблюдениях

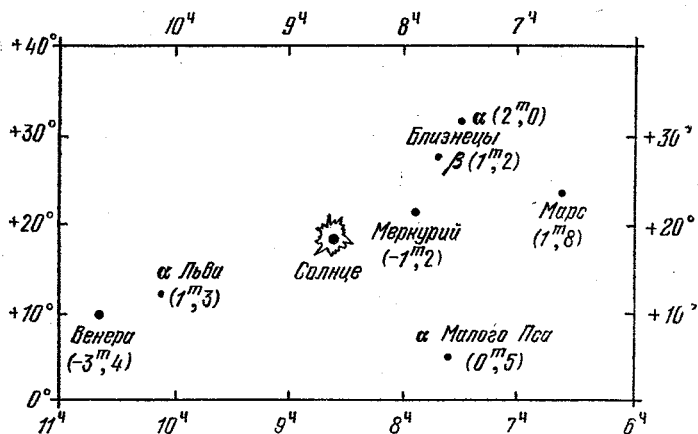


Рис. 44. Окрестности Солнца 31 июля 1981 г.

в бинокль) в районе Полярной звезды и в области зенита. На разных участках полосы полной фазы в области зенита будут видны: на Кавказе — созвездие Персея; в Казахстане — созвездие Возничего; в Алтайском крае и Иркутской области — только слабые звезды, но несколько

к западу — созвездие Возничего; в Амурской области — несколько к востоку созвездие Большой Медведицы; на Дальнем Востоке и на Сахалине — созвездие Большой Медведицы.

На составленных картах необходимо перенумеровать звезды и во время наблюдений отмечать моменты их появления и исчезновения.

Буквально за 2—3 секунды до наступления полной фазы затмения, когда на Солнце уже можно смотреть невооруженным глазом, на его левом краю, окончательно закрываемом Луной, вспыхивают светлые точки, разделенные темными промежутками. Это просвечивает сквозь долины и ущелья между лунными горами край солнечного диска. Цепочка таких светлых точек называется четками Бэйли, по имени первого их наблюдателя. Интересно отметить момент появления и продолжительность видимости четок Бэйли в начале и при окончании полного затмения (уже на правом краю Солнца).

К наиболее простым относятся и метеорологические наблюдения. Здесь полезно выполнить комплекс наблюдений изменения температуры воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра в различные моменты затмения. Полезно иметь минимальный термометр, фиксирующий наименьшую температуру воздуха. Атмосферное давление можно измерять обычным барометром-анероидом, скорость ветра — анемометром или ветромерной дощечкой, а его направление определять по флюгеру. Метеорологические наблюдения следует начинать примерно за 5 мин до начала полной фазы затмения и заканчивать через 5 мин после ее окончания, проводя отсчеты показаний приборов через каждую минуту. Во время полной фазы, начиная с момента ее наступления, отсчеты проводятся через каждые 15—20 секунд. Еще лучше, если показания приборов будут фиксироваться самописцами.

К простым наблюдениям относится и самое обычное фотографирование пленочным фотоаппаратом ландшафта местности при больших фазах солнечного затмения, начиная с фазы 0,9. Естественно, что последовательные снимки следует производить на отдельных кадрах, рассчитав их число таким образом, чтобы заряженной пленки хватило и для фотографирования после окончания полного затмения. Главное условие — это совершенно одинаковая продолжительность экспозиции всех снимков,

но при этом, конечно, придется менять отверстие диафрагмы объектива, фиксируя ее значение в различные моменты времени. Поэтому подбор диафрагм необходимо провести заранее, за несколько дней до затмения, фотографируя ландшафт при солнечном освещении и в сумерки.

В сельской местности интересно провести небольшие биологические наблюдения за поведением домашних животных и птиц во время затмения. Бывали случаи, когда обманутые внезапно наступившей темнотой некоторые животные впадали в панику, а другие спокойно направлялись в свои загоны на ночлег.

Последующие рекомендуемые наблюдения требуют несколько больше навыков и более тщательной тренировки.

Наблюдения бегущих теней. В течение нескольких десятков секунд до и после полной фазы затмения иногда наблюдаются бегущие тени в виде чередующихся волнистых светлых и темных полос, особенно хорошо заметных на белом фоне. Это явление связано с неоднородностями и колебаниями слоев воздуха, сквозь которые проходит узкий пучок лучей от тонкого солнечного серпа.

Для наблюдений бегущих теней можно использовать белую стену здания, обращенную к Солнцу, или расстеленную на земле белую простыню, в нескольких местах прижатую камнями, чтобы возможные порывы ветра не сорвали ее. Задачи наблюдателей состоят в определении направления движения бегущих теней, расстояния между темными полосами и их ширины, а также скорости их движения. Проще всего предварительно изготовить две тонкие деревянные планки, длиной в 1 м каждая, или воспользоваться двумя школьными классными линейками, и в момент появления бегущих теней непосредственно перед самым полным затмением быстро положить одну из них на простыню в направлении их движения. Вторую планку (линейку) расположить по движению теней после окончания полной фазы затмения. Один наблюдатель укладывает планки, а два или три других обязаны сосчитать число темных и светлых полос, одновременно укладывающихся на длине планки, и отметить интервал времени, за который одна темная полоса пробежит по планке, а также запомнить цветовые оттенки теней, если они появятся. Можно попытаться сфотографировать бегущие тени на высокочувствительную фотопленку с очень малой экспозицией, хотя это и не всегда удается из-за их значительной скорости. Более эффективной

была бы киносъемка бегущих теней на высокочувствительную киноплёнку.

Определение границ лунной тени. Эти простые по выполнению наблюдения имеют серьезное значение для уточнения теории движения Луны. Они проводятся несколькими группами, состоящими из 5—12 наблюдателей, причем каждая группа подразделяется на звенья из 1—2 человек. Пункты наблюдений, предназначенные для каждого звена, располагаются в местностях, находящихся вблизи границы полосы полной фазы, что нетрудно наметить по карте солнечного затмения и по его обстоятельствам, приведенным в таблицах I и II (см. с. 88 и 92). Если имеется возможность, то полезно заранее установить связь между группами наблюдателей, собирающимися проводить наблюдения вблизи обеих границ полосы полной фазы, чтобы разработать план совместных наблюдений.

Пункты наблюдений для каждого звена одной группы предпочтительнее выбрать на ровной местности и расположить их вдоль прямой линии, перпендикулярной к границе лунной тени, с таким

расчетом, чтобы по крайней мере три пункта оказались в полосе полного затмения, а два других — вне ее (рис. 45). При пяти звеньях взаимные расстояния между пунктами наблюдений выбираются около 1 км, чтобы наиболее удаленные от границы лунной тени пункты отстояли от нее примерно в 2 км вне и в 3 км внутри полосы полной фазы. При большем числе звеньев (что крайне желательно) взаимные расстояния между ними полезно сократить до 500 м. Весьма вероятно, что один из пунктов окажется на самой границе тени. Вдоль этой границы группы наблюдателей располагаются на взаимных расстояниях около 5 км.

Так как при определении положения границ лунной тени необходимо знать с большой точностью географические координаты пунктов наблюдений, то для того, чтобы их в дальнейшем можно было вычислить, для каждого

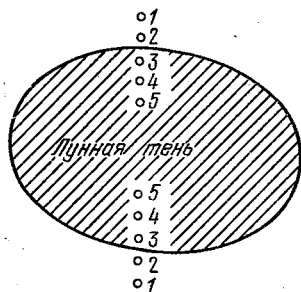


Рис. 45. Схема расположения наблюдателей при определении границ лунной тени.

пункта необходимо составить план его расположения на местности, с указанием на нем расстояний (в метрах) до нескольких ближайших постоянных ориентиров (здание, одинокое дерево, вышка и т. д.).

Задача наблюдателей сводится к регистрации вида затмения, т. е. было ли оно в пункте наблюдений частным с большой фазой или полным. При полном затмении необходимо зарегистрировать его продолжительность в секундах, для чего лучше всего воспользоваться секундомером, пустив его в ход в момент начала затмения и остановив в момент его окончания. При отсутствии секундомера можно предварительно натренироваться в счете секунд по часам с секундной стрелкой. Тогда в момент начала полного затмения следует произнести слово «ноль», а затем последовательно отсчитывать секунды до окончания полной фазы затмения.

Безусловно, чем больше будет привлечено наблюдателей к этому виду наблюдений, тем точнее получатся результаты, и поэтому желательно, чтобы каждое звено состояло из двух независимых наблюдателей, каждый из которых ведет записи самостоятельно, без консультаций со своим партнером. Записи наблюдений вместе с планами размещения наблюдательных пунктов следует выслать в адрес одного из отделений Всесоюзного астрономо-геодезического общества, адреса которых указаны в Приложении.

Наблюдения солнечной короны. При полной фазе затмения хорошо видна солнечная корона, но при особенно ясном небе она может появиться около правого (западного) края Солнца, закрытого Луной, за 10—20 секунд до начала полной фазы. Нужно отметить момент появления короны, ее форму, цвет и протяженность, выраженную в диаметрах солнечного или лунного диска. Если удастся, то желательно фиксировать моменты времени (по восприятию их громкого счета выделенным для этой цели наблюдателем-счетчиком), в которые видимые размеры появляющейся солнечной короны будут увеличиваться в размерах, отмечая также сами размеры. Аналогичные наблюдения следует провести и по окончании полной фазы затмения, но уже около левого края Солнца, отмечая моменты постепенного исчезновения короны.

При полном солнечном затмении нужно оценить протяженность солнечной короны и попытаться схематически зарисовать ее общую форму и наиболее яркие и протя-

енные лучи, обращая внимание на уплотнения и сгустки в них, завитки и искривления лучей. Для этого лучше всего заранее заготовить шаблон: на листе плотной бумаги, укрепленной на картоне или фанере, нарисовать черный диск диаметром 4—5 см и концентрично вокруг него еще две-три прерывистые окружности (последнюю — радиусом в 15—16 см), а также их диаметры, под углом в 30° друг к другу (рис. 46).

Такой шаблон поможет быстро набросать основные контуры и лучи короны, их наиболее заметные уплотнения и особенности. Остальные подробности наносятся на рисунок по памяти, уже после исчезновения короны. Необходимо обратить внимание на цвет короны или ее отдельных частей и лучей, описывая его словами. Это существенно потому, что встречаются различные оценки цвета короны, от серебристо-белого до зеленоватого.

Наблюдения солнечной короны в бинокль или небольшой телескоп позволяют заметить в ней тонкие детали, незаметные невооруженному глазу, и проследить отдельные корональные лучи на значительных расстояниях от Солнца. При наблюдениях в телескоп нужно использовать окуляр с наименьшим увеличением, чтобы поле зрения было достаточно велико, и, кроме того, помнить, что телескоп дает перевернутое изображение.

Если в хромосфере Солнца видны красновато-розовые выступы — протуберанцы, то их тоже следует показать на рисунке, по возможности в принятом масштабе. Наблюдатели, обладающие художественными способностями, могут выполнить рисунок солнечной короны в красках, но цвета нужно изобразить как можно точнее. Полезно нанести на рисунок и положение звезд или планет, видимых вблизи Солнца.

Но если имеется возможность, то желательно сфотографировать солнечную корону как на обычной, так и на цветной фотопленке или на пластинках разной чувствительности, с выдержками примерно от 1 до 20 с, чтобы получить

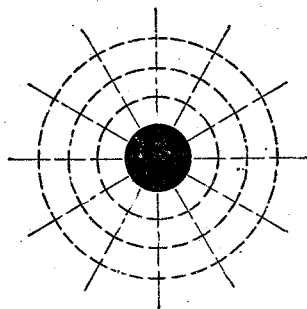


Рис. 46. Шаблон для зарисовки солнечной короны.

несколько фотографий различных участков короны. Однократное фотографирование короны не позволяет изучить распределение яркости в ней, так как при коротких экспозициях внешняя, менее яркая зона короны на негативе не проявится, а при длительных экспозициях внутренняя более яркая зона короны получится передержанной. Естественно, что для более чувствительных фотоэмульсий требуются меньшие экспозиции, чем для менее чувствительных.

Следует сказать, что подготовка к фотографированию и сам процесс фотографирования солнечной короны требует особой тщательности и предварительной многократной тренировки, так как полная фаза солнечного затмения длится очень короткий интервал времени, за который должны быть выполнены все полагающиеся операции. Достаточно отметить, что полная фаза предстоящего 31 июля 1981 г. солнечного затмения даже на его центральной линии будет продолжаться от 42 с (Нальчик, Кабардино-Балкарская АССР) до 125 с (станция Беленькая на Байкало-Амурской магистрали, в Амурской области). Поэтому все действия наблюдателей должны быть четко отработаны и доведены до автоматизма.

По окончании солнечного затмения все экспонированные фотопластинки (или фотопленки) должны быть пронумерованы в последовательности их использования. Номера проставляются простым карандашом на сложенной фотоэмульсии в верхнем углу фотопластинки (фотопленки). Соответствующие номера вносятся в журнал наблюдений с указанием момента начала экспозиции, ее продолжительности и сорта фотоэмульсии.

Длительность экспозиций должна быть обязательно заранее определена по фотографированию Луны в фазе близкой к первой четверти. Конечно, фотографирование Луны должно проводиться той же фотокамерой и на том же сорте фотоэмульсии, которые будут использованы при фотографировании солнечной короны во время полного затмения. Длительность экспозиции, при которой изображение Луны на негативе получится нормальным (т. е. не передержанным и не блеклым) принимается за исходную, а при фотографировании солнечной короны сначала уменьшается на 1 с, но затем, при последующих экспозициях, постепенно увеличивается через интервалы, зависящие от продолжительности полной фазы затмения. Так например, если полная фаза длится около 120 с, а фотогра-

фирование короны ведется на фотопленке высокой чувствительности, то, с учетом времени на протяжку фотопленки (для смены кадров), можно применить экспозиции длительностью в 1, 2, 4, 8, 12, 16 и 20 с. Если же используются фотопластинки разной чувствительности, то первые снимки можно сделать с выдержками в 1, 2, 4 и 8 с (на высокочувствительной фотоэмульсии), а последующие — с увеличением выдержки до 20 с (на фотоэмульсии средней чувствительности). Впрочем, длительность экспозиции зависит еще и от светосилы фотокамеры, а возможное число снимков — и от тренировки наблюдателя, насколько быстро он сумеет менять кадры фотопленки или кассеты с фотопластинками.

При фотографировании солнечной короны на цветную фотопленку необходимо обеспечить контроль цветов, передаваемых фотопленкой. Для этого через 10—12 минут после окончания полной фазы затмения нужно на отдельный кадр той же фотопленки заснять белый экран (лист белой чертежной бумаги, белая простыня), освещенный Солнцем. Конечно, при этом придется уменьшить диафрагму фотокамеры и резко сократить продолжительность экспозиции, что любителям фотографии хорошо известно. Все это должно быть записано в журнале наблюдений.

Техника фотографирования солнечной короны зависит от имеющегося у наблюдателей соответствующего оборудования. Известно, что линейные размеры фотографического изображения небесных объектов на негативе прямо пропорциональны фокусному расстоянию F объектива фотокамеры и, в частности, у изображений Солнца и Луны линейный диаметр

$$d = \frac{F}{110}.$$

Следовательно, фотографировать солнечную корону короткофокусными пленочными фотокамерами с фокусным расстоянием в 50 мм и даже в 100 мм не имеет смысла, так как у изображения Луны, покрывающей Солнце, линейный диаметр получится в пределах от 0,5 мм до 1 мм, а изображение солнечной короны протянется на расстояние в несколько миллиметров. Но если кто-то удовлетворится и такими снимками, то следует использовать высокочувствительную фотопленку, а фотокамеру отфокусировать по удаленным предметам и укрепить ее на штативе, достаточно высоком, чтобы можно было быстро навести

ее на Солнце в самом начале полного затмения. Крепление камеры должно быть настолько надежным, чтобы она не вибрировала во время экспозиций и даже при протяжке пленки. Длительность экспозиции не должна превышать 6 с, иначе изображение солнечной короны окажется размазанным.

При наличии небольшого телескопа, хотя бы и самодельного, с фокусным расстоянием порядка 600—1000 мм

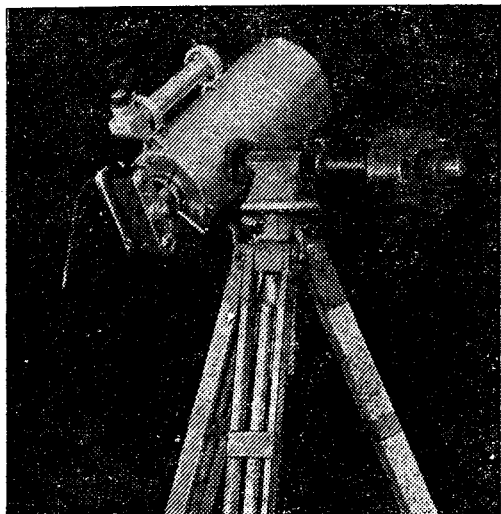


Рис. 47. Телескоп с искателем и пленочной фотокамерой.

малогабаритные пленочные фотокамеры могут быть использованы более эффективно. Для этого нужно вынуть из фотокамеры объектив, а из телескопа — окуляр и на его место прикрепить к телескопу фотокамеру. Тогда объективом фотокамеры будет служить объектив телескопа (рис. 47). В зависимости от фокусного расстояния этого объектива диаметр изображения Луны на фотопленке получится от 5 до 9 мм. Конечно, далекие лучи солнечной короны могут не уместиться в пределах фотокадра, и близкие к диску Солнца ее участки зафиксироваться уверенно.

Чтобы безошибочно наводить телескоп с фотокамерой на солнечную корону, необходимо предварительно на его тубусе (трубе) установить небольшую оптическую трубку

с объективом и окуляром), которая служит искателем. В окуляре искателя полезно натянуть крест из тонких нитей или волосков. Оптические оси искателя и телескопа должны быть параллельны между собою. Для осуществления этого телескоп с окуляром наводится на удаленный неподвижный земной предмет, который улавливается в искатель. Небольшим перемещением телескопа и искателя необходимо добиться, чтобы предмет был виден в центре поля зрения того и другого, и тогда искатель прочно закрепляется на тубусе. Теперь, всякий раз при наведении телескопа на какой-либо удаленный объект, можно пользоваться искателем: если объект виден в центре поля зрения искателя, то он находится и в поле зрения инструмента. В крайнем случае искатель можно заменить простым визиром, но, конечно, точность наведения телескопа с камерой при этом снизится.

Крепление фотокамеры к выдвижной окулярной части телескопа осуществляется различными способами, зависящими от возможностей любителя. Лучше всего изготовить небольшую по размерам переходную металлическую трубку, на одном конце которой нарезать резьбу для ввинчивания ее в фотокамеру. Другим концом переходная трубка плотно насаживается на выдвижную окулярную часть телескопа. Из-за различия диаметров окулярной части телескопа и отверстия с нарезкой фотокамеры, переходную трубку часто приходится изготавливать ступенчатой, состоящей из нескольких кольцевых звеньев. Главное — это обеспечить светонепроницаемость переходной трубки, чтобы в нее не попадал посторонний свет.

Переходная трубка изготавливается такой длины, чтобы фотопленка, находящаяся в камере, отстояла от объектива телескопа на ее фокусном расстоянии. После укрепления фотокамеры на телескопе проводится ее фокусировка по яркой звезде первой, а лучше второй звездной величины. С помощью искателя телескоп с камерой наводится на звезду и оставляется неподвижным. Фотографирование звезды проводится несколько раз при различных фиксируемых (и отмечаемых в журнале) положениях выдвижной окулярной части телескопа с фотокамерой. Продолжительность каждой экспозиции — около 40 с с перерывами по 20 с, но последняя экспозиция либо удлиняется до 80 с, либо проводится при слегка сдвинутом телескопе, чтобы на негативе можно было установить последовательность экспозиций.

На проявленной и отфиксированной фотопленке работает прерывистая линия, звенья которой имеют различную ширину. Пленка рассматривается сквозь лупу. Наиболее узкое и резкое звено означает наилучшую фокусировку фотокамеры. Соответствующее этой фокусировке положение выдвижной окулярной части телескопа отождествляется по отметкам на ней и по записям в журнале, проводимым в процессе фотографирования звезды. С этой фокусировкой и следует фотографировать солнечную корону во время полного солнечного затмения.

Необходимо иметь в виду, что фотографирование солнечной короны при неподвижном телескопе возможно только с выдержкой, не превышающей 1 с. При более длительных экспозициях необходимо медленно и плавно поворачивать тубус телескопа с камерой за суточным движением затмившегося Солнца, все время удерживая его изображение в центре поля зрения искателя. Такой процесс плавного поворота инструмента с одновременным слежением за светилом называется гидированием. Навыки в гидировании вырабатываются при систематических наблюдениях в телескоп звезд и планет.

Некоторые приспособления для фотографирования небесных объектов с использованием легких переносных телескопов описаны в книгах: Ц е с е в и ч В. П. Что как наблюдать на небе.— 4-е и 5-е изд.— М.: Наука, 1973 и 1979, и К у л и к о в с к и й П. Г. Справочник любителя астрономии.— М.: Наука, 1971.

Грубое наведение телескопа с камерой на Солнце перед полным затмением весьма просто осуществить по тени телескопа. Один наблюдатель держит за окулярным концом телескопа белый экран (лист картона, покрытый белой бумагой), а второй поворачивает тубус телескопа и следит за его тенью на экране. Когда телескоп будет наведен на Солнце, тень на экране станет наименьшей и симметричной. После этого для более точного наведения используется искатель, предварительно прикрытый темным светофильтром. При полной фазе затмения светофильтр с искателя снимается.

Наиболее рационально фотографировать солнечную корону фотокамерой, объектив которой имеет фокусное расстояние 40—50 см и дает в фокальной плоскости изображение Солнца диаметром в 4—5 мм. Такую фотокамеру нетрудно изготовить в виде ящика из толстой фанеры, выкрасив ее внутри черной матовой краской и оклеив

снаружи черной бумагой для обеспечения светонепроницаемости. В передней стенке ящика прорезается круглое отверстие для прикрепляемого к ней объектива, а на задней стенке устанавливаются закраины (салазки) из тонких металлических полосок, в которые вставляется кассета с фотопластинкой. К камере нужно подобрать 6—8 однотипных кассет, которые понадобятся при фотографировании солнечной короны. Размеры кассет зависят от применяемых фотопластинок, имеющихся в продаже, но желательно не менее, чем под пластинки 9×12 см. Все подобранные кассеты перенумеровываются. Перед затмением они заряжаются фотопластинками и укладываются стопкой, в порядке номеров, рядом с наблюдателем.

Такой фотокамерой необходимо фотографировать солнечную корону с различными выдержками, от 1 до 20 с. Но при всех выдержках свыше 1 с камеру нужно поворачивать в направлении суточного движения Солнца. В лучшем случае этого можно достичь укреплением камеры на тубусе телескопа средних размеров (диаметром в 10—13 см), установленном на параллактической (экваториальной) монтировке. Сам телескоп будет служить гидом, наблюдая в который и плавно поворачивая тубус одним ведущим ключом, следует удерживать солнечную корону в центре поля зрения телескопа, что особенно удобно при использовании окуляра с натянутыми в нем тонкими нитями. Конечно, время от времени приходится иногда подправлять гидирование другим ключом. При таком способе гидирования необходимо заканчивать фотографирование солнечной короны не менее чем за 5 с до вычисленного момента окончания полной фазы затмения, так как первый же солнечный луч, появившийся из-за края Луны, может повредить глаза.

В принципе гидировать телескоп или фотокамеру точнее можно по одной из ярких планет, но во время этого солнечного затмения планеты расположены слишком далеко от Солнца, что затрудняет их использование. Впрочем, наблюдатели, владеющие основами астрометрии, могут вычислить разность экваториальных координат Солнца и одной из планет на момент середины затмения и по этим разностям заранее установить гид под определенным углом к оптической оси фотокамеры; тогда гидирование можно осуществлять по планете. Сведения об экваториальных координатах светил в московскую полночь даны в таблице IV на с. 120. В момент T_M по московскому

времени

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha \cdot T_m$$

и

$$\delta = \delta_0 + \Delta\delta \cdot T_m,$$

причем в этих формулах T_m выражается в часах и десятичных долях часа.

Если подходящего телескопа на экваториальной монтировке не имеется, то для гидирования камеры нетрудно изготовить установку, изображенную на рис. 48.

Доска A укрепляется неподвижно на опорной горизонтальной доске F так, чтобы она образовывала с нею угол

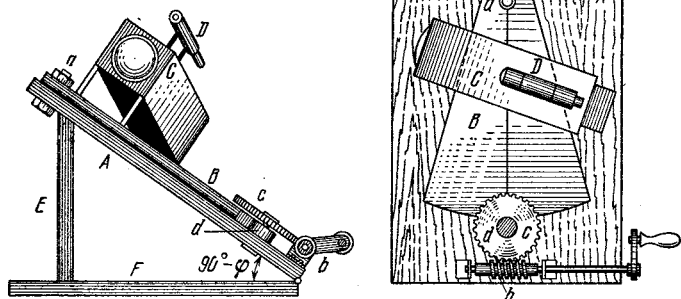


Рис. 48. Установка для гидирования фотокамеры: вид сбоку (слева) и сверху (справа).

$90^\circ - \varphi$ (где φ — географическая широта местности) и была направлена точно на точку юга (установка в меридиане). Тогда плоскость доски будет перпендикулярной к оси мира. Угол наклона обеспечивается двумя прочными стойками (или вертикальной доской) E , а неподвижность — грузом, положенным на опорную горизонтальную доску F . На наклонную доску A накладывается доска B , имеющая форму сектора круга (в $30-40^\circ$) и скрепляется с ней болтом a , вокруг которого она может поворачиваться. Обе доски (A и B) должны быть чисто выструганы, а дугу сектора B следует тщательно отшлифовать напильником и обтянуть резиной. По середине сектора B наносится тонкая прямая линия, которая при среднем положении сектора (как на рис. 48) направлена на юг. Фотокамера C прочно крепится к небольшой ровно выструганной дощечке та-

ким образом, чтобы оптическая ось камеры образовала с плоскостью дощечки угол, равный склонению Солнца в день затмения, т. е. угол в 18° (31 июля 1981 г. склонение Солнца $\delta = +18^\circ,3$), причем объектив камеры приподнят кверху на этот угол. Затем эта дощечка вместе с фотокамерой накладывается на сектор *B* и привинчивается к нему одним шурупом с таким расчетом, чтобы она могла поворачиваться вокруг него со значительным трением, предохраняющим камеру от самопроизвольного поворота. Место для крепления шурупа выбирается на средней линии сектора *B* так, чтобы при повороте дощечки с фотокамерой вокруг него она не задевала за движущий механизм.

Движущий механизм состоит из червячного винта *b* с рукояткой, сцепленного с зубчатым колесом *c*, на ось которого насажен валик *d*, тоже обтянутый резиной и плотно прилегающий к дуге сектора *B*. При плавном вращении рукоятки червячного винта сектор *B* вместе с фотокамерой медленно поворачивается по часовой стрелке. В этом необходимо потренироваться по наблюдениям звезд в искатель *D* (небольшую оптическую трубку) камеры, который устанавливается на верхней стенке камеры параллельно ее оптической оси. В фокальной плоскости окуляра искателя полезно натянуть крест из тонких нитей или волосков.

Весьма существенно правильно установить фотокамеру в направлении на Солнце, которое в разных местах полосы полной фазы будет в середине затмения занимать различное положение относительно небесного меридиана, в плоскости которого располагается установка с камерой (прямая линия на секторе *B* направлена на юг). За несколько минут до начала полного затмения нужно направить фотокамеру на Солнце, поворачивая ее вокруг крепящего шурупа и следя в искатель, закрытый темным светофильтром. После этого, медленно вращая ручку червячного винта, нужно все время держать Солнце в поле зрения искателя, лучше всего на кресте нитей. В момент начала полного солнечного затмения светофильтр с искателя снимается. Перерывы между экспозициями осуществляются картонной крышкой, надеваемой на объектив. Если имеется телескоп средней силы, а камера легкая, то можно убрать ее объектив и присоединить ее непосредственно к телескопу, как об этом сказано на с. 128. Первичная фокусировка фотокамер может быть проведена днем

по изображению удаленных предметов на матовом стекле, вставленном в фотокамеру вместо кассеты, а более точная — по фотографированию звезд при неподвижной установке (см. с. 129).

При фотографировании солнечной короны весьма существенна правильная ориентировка фотопластинок (или фотопленки). Для этого еще до затмения необходимо направить всю установку для фотографирования точно к югу и расположить кассету так, чтобы ее верхний и нижний края были строго горизонтальны. Проверка может быть выполнена с помощью отвеса. При таком положении следует пометить на каждой кассете ее верхний и нижний края и при фотографировании солнечной короны вкладывать кассеты в фотокамеру точно так же, по этим меткам.

Если имеется возможность создать несколько установок для фотографирования солнечной короны, то полезно провести изучение спектрального состава света, излучаемого ею, или, как принято говорить в астрономии, провести колориметрию короны (от латинского *color* — цвет, окраска). Для этого фотографирование ведется сквозь стеклянные или пленочные светофильтры, помещаемые, как правило, между объективом и фотопластинкой (фотопленкой), ближе к последней, ибо тогда дефекты материала светофильтра окажут меньшее влияние на изображение короны в целом и лишь в отдельных местах вызовут небольшие искажения. Ставить светофильтр перед объективом можно лишь в том случае, если он изготовлен из очень хорошо отшлифованного оптического стекла высокого качества. Прежде всего следует применить желтый и синий светофильтры, а при возможности — красный и зеленый.

Нужно помнить, что поставленный между объективом и фотоэмульсией светофильтр отдаляет резкое изображение от объектива примерно на $\frac{2}{3}$ своей толщины. Применение различных светофильтров при большом фокусном расстоянии объектива может потребовать различной фокусировки фотокамеры отдельно для каждого светофильтра. Помимо этого, к каждому светофильтру требуется подбор фотоэмульсий, наиболее чувствительных к световым лучам, пропускаемым светофильтром, а также подбор длительности экспозиций, устанавливаемой, как об этом уже было сказано, фотографированием Луны.

Фотографирование солнечной короны с длительными экспозициями проводится не менее, чем тремя наблюдателями, один из которых гидирует (ведет) инструмент, вто-

рой меняет кассеты (не забывая своевременно их открывать и закрывать), а третий открывает и закрывает крышкой (или затвором) объектив фотокамеры. Все эти операции выполняются наблюдателями в определенные заранее намеченные моменты времени, воспринимаемые на слух по их громкому счету, который ведет специально назначенный наблюдатель.

Если имеется возможность приобрести фотопластишки низкой чувствительности, например, диапозитивные, то можно рекомендовать, помимо солнечной короны, фотографирование солнечных серпов, начиная минут за 20 до полной фазы затмения и заканчивая через 20 минут после ее окончания. Но для этого следует задиафрагмировать объектив фотокамеры и применять кратковременные экспозиции, измеряемые сотыми долями секунды. Впрочем, если установить перед объективом подходящий нейтральный светофильтр достаточной плотности и высокого качества, то длительность экспозиции может быть увеличена до 1 с. Она подбирается заранее по фотографированию Солнца. Интервалы между экспозициями могут составлять 4—5 мин.

Фотометрия солнечной короны. Процесс изучения распределения яркости в солнечной короне называется ее фотометрией. Если наблюдатель имеет желание изучить распределение яркости в солнечной короне, то его задача значительно усложняется. Фотографические снимки, предназначенные для фотометрических исследований, требуют калибровки. Это значит, что, помимо фотоснимка короны, нужно получить фотометрическую шкалу (шкалу яркости), которая позволит перевести почернения на фотоснимке в яркости, выраженные хотя бы в относительных единицах.

Если же имеется в виду определение абсолютной яркости деталей короны, выраженной в физических единицах яркости (например, в нитах), то, кроме фотометрической шкалы, необходимо иметь еще засветки от источника света с известной яркостью, т. е. стандартизировать фотоснимок.

Стандартизация фотоснимков проводится обычно по Солнцу на следующий день после солнечного затмения, при той же высоте Солнца, на какой оно было во время полного затмения. Для ослабления солнечного света в строго определенном отношении чаще всего применяют белый экран с известным коэффициентом отражения.

Схемы стандартизационных приспособлений для камер различного размера изображены на рис. 49.

Калибровка фотоснимков может быть осуществлена трубчатым фотометром, изготовить который не представляет затруднений. Он состоит из ряда параллельных

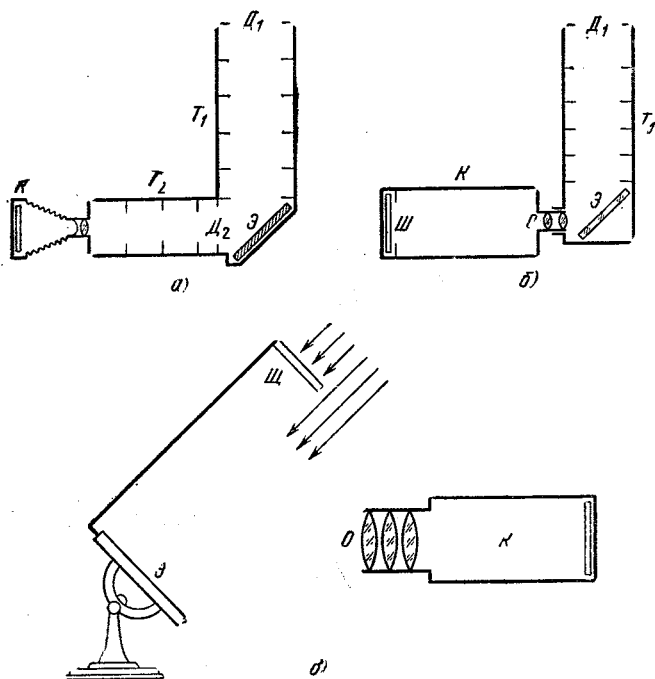


Рис. 49. Схемы стандартизационных приспособлений: а) насадка для малой камеры; б) то же для большой камеры; в) экран, наполовину затененный щитком; К — камера; Э — экран; Щ — щиток; Т — трубка; Д — диафрагма; О — окуляр.

трубок длиной около 80 мм и внутренним диаметром 12—14 мм, укрепленных в общей оправе. Верхние концы трубок закрыты диафрагмами различного диаметра. Диафрагмы просверливаются в тонкой почерненной жести или в латунной пластинке. Края отверстий должны быть ровными, без зазубрин. Диаметры диафрагм удобно выбрать в геометрической прогрессии, например: 1,0; 1,4; 2,0; 2,8; 4,0; 5,6; 8,0 мм. Нижние концы трубок закрыты зачерненной металлической пластинкой с диафрагмами

одинакового диаметра (около 2—3 мм). В середине каждой трубки полезно вставить еще по диафрагме с таким диаметром, чтобы она свободно пропускала пучок световых лучей от внешней диафрагмы. Внутренние поверхности всех трубок необходимо вычернить матовой краской. К нижней пластинке с диафрагмами должна плотно прилегать рамка для кассеты с фотопластинкой (фотопленкой).

Можно обойтись и без трубок, а изготовить деревянный ящик той же высоты в 80 мм, вставив в него вместо

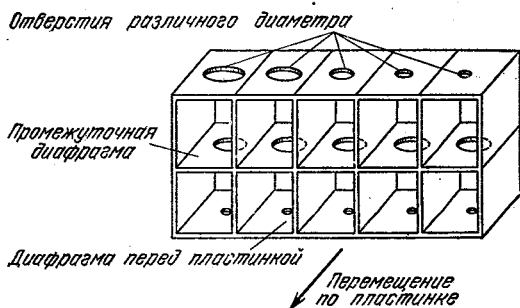


Рис. 50. Самодельный трубчатый фотометр.

верхней и нижней крышек две металлические пластинки с просверленными в них диафрагмами (разного диаметра в верхней и одинакового в нижней пластинке). Внутри ящика вставляются промежуточные диафрагмы и вертикальные перегородки, отделяющие отверстия друг от друга (рис. 50). Все внутренние детали фотометра покрываются черной матовой краской.

Стандартизация и калибровка должны проводиться на фотопластинке, взятой непременно из той же коробки, что и фотопластинка, на которой сфотографирована солнечная корона. Еще лучше брать фотопластинки большего размера, чем кассета, и от них отрезать части, которые затем использовать для калибровки и стандартизации. При этих операциях длительность экспозиций должна быть по возможности одинаковой. Если фотоснимки солнечной короны получены сквозь светофильтры, то эти же светофильтры применяются при стандартизации и калибровке. Источником света при калибровке может служить небо,

равномерно натянутое облаками, или белая бумага, освещенная Солнцем.

Калибровочные и стандартизованные фотопластины обязательно нумеруются на эмульсии простым карандашом, и их номера проставляются в журнале с указанием сорта эмульсии и номера соответствующего им фотоснимка (негатива) солнечной короны.

Калибровочные и стандартизационные фотопластины обрабатываются обязательно одновременно и в общей ванночке со снимками короны, к которым они относятся. При использовании панхроматических и изохроматических фотопластинок (фотопленок) не следует забывать, что они чувствительны и к красным лучам, а поэтому все работы с ними в лаборатории (зарядка, разрядка, упаковка, обработка) можно производить только в полной темноте.

Если процессы стандартизации и калибровки фотоснимков представляются затруднительными, то нужно, не проявляя фотоснимков солнечной короны, прислать их в адрес одного из отделений Всесоюзного астрономо-геодезического общества, список которых приведен на с. 159, приложив к каждому снимку по две неэкспонированные фотопластины, взятые из тех же коробок. Если при фотографировании применялись светофильтры, то их тоже нужно прислать для исследования. К такой посылке должна быть приложена копия журнала наблюдений с подробным перечнем номеров присланных фотопластинок, сорта их эмульсии, моментов времени и условий фотографирования, продолжительности экспозиций и расшифровкой особых отметок и обозначений, если они применялись.

Определение интегрального блеска солнечной короны. Интегральная (т. е. общая, или суммарная) яркость солнечной короны меняется от затмения к затмению, и поэтому весьма желательно ее определение. Интегральную яркость солнечной короны правильнее называть ее интегральным (общим) блеском.

Интегральный блеск солнечной короны может быть измерен как визуальными, так и фотографическими методами. Наиболее простой фотографический метод предусматривает использование обычных короткофокусных пленочных фотокамер, легко превращаемых в фотографический фотометр. Для этого вместо объектива к фотокамере прилагивается металлическая или толстостенная картонная трубка длиной около 150 мм. На ее переднем конце долж-

на быть плотная крышка с отверстием 10 мм в диаметре. Внутри трубка окрашивается черной матовой краской и в нее, на равных расстояниях, вставляются еще две-три вычерненные диафрагмы диаметром 7—8 мм. У самой нижней диафрагмы, почти примыкающей к фотопленке, диаметр 4—5 мм. Во время полной фазы затмения эта камера направляется на затмившееся Солнца.

Для учета рассеянного света неба две точно такие же фотокамеры с аналогичными трубками направляются на участки неба, расположенные на той же высоте, что и Солнце, но в 10° по обе стороны от него. Во всех трех камерах применяется одинаковая высокочувствительная фотопленка, желательно изопанхроматическая. Экспозиции на всех трех камерах должны проводиться одновременно и выдержки должны быть совершенно одинаковыми, последовательно от 5 до 10 с. Поэтому открывание и закрытие трубок крышками (или затворов фотокамер) проводится по сигналам наблюдателя, громко отсчитывающего моменты времени.

Чтобы правильно навести эти фотометры на солнечную корону и соседние участки неба, лучше всего смонтировать их на одной доске. Центральная камера, предназначенная для фотометрии короны, крепится строго вертикально, а две другие — по обе стороны от нее и под углом в 10° к вертикали. К этой же доске прикрепляется на стойке простой визир, ось которого параллельна оптической оси средней камеры. Этот визир поможет навести камеры на фотометрируемые объекты. Вся установка должна иметь возможность слегка поворачиваться в вертикальной и горизонтальной плоскостях и закрепляться в нужном положении. Полезно заранее вычислить высоту и азимут Солнца в середине затмения и закрепить всю установку в этом направлении. О вычислении азимута и высоты Солнца рассказано на с. 151—158.

Тем любителям астрономии, кто знаком с монтажом простейших фотоэлементов и обращением с ними, можно рекомендовать заменить фотокамеры однотипными фотоэлементами или даже фотоэкспонетрами, приспособив к ним такие же трубки для защиты от постороннего света. Фотометрия осуществляется по показаниям регистрирующих приборов.

Процедура фотографической фотометрии значительно упрощается, если применить простой корональный трехтрубчатый фотометр, один из вариантов которых был раз-

работан В. В. Шароновым и затем усовершенствован В. А. Бронштэном и М. М. Дагаевым. Этот фотометр удобен тем, что обслуживается одним наблюдателем. Схема фотометра показана на рис. 51. Он представляет собой металлическую коробку *a*, укрепленную на металлическом

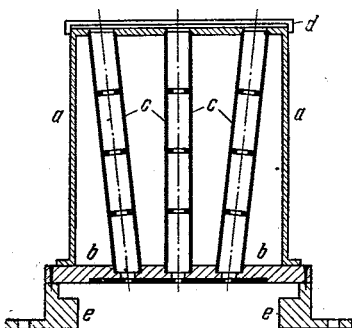
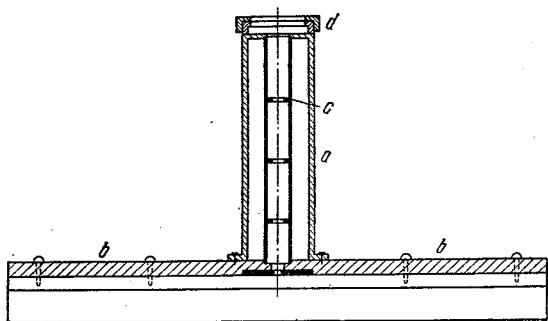


Рис. 51. Простой корональный трехтрубчатый фотометр.

или пластмассовом основании *b*, в салазках *e* которого перемещается (от руки) фанерный подкассетник с кассетой 9×12 см. Внутри коробки *a* помещаются три латунные трубки *c*, через которые свет падает на фотопластинку. Трубки фотометра имеют длину 120 мм и внутренний диаметр 10 мм, так что каждая воспринимает свет от площадки диаметром около 5° и площадью примерно в 20 квадратных градусов. Трубки внутри вычернены и в них вставлено по три диафрагмы диаметром от 8 до 6 мм. В продольном неглубоком вырезе нижней поверхности основания *b* вложена и укреплена винтами тонкая вычерненная ме-

таллическая пластина с тремя отверстиями диаметром 3 мм, располагающимися под трубками. Затвор d фотометра изготовлен из плоской пластинки с отверстиями диаметром 12 мм. Он движется в рамке, укрепленной на крышке фотометра. При необходимости светофильтры вкладываются в картонную или металлическую крышечку с прямоугольным окном, которая надевается на фотометр сверху, над затвором. Внешняя поверхность фотометра окрашивается белой или серебряной краской.

Фотометр укрепляется на доске, как и камеры, его центральная трубка направляется на солнечную корону и получает свет от нее и от участков неба вокруг Солнца. Боковые же трубки получают только свет, рассеиваемый атмосферой. Поскольку в пределах $8-10^\circ$ от Солнца яркость неба практически одинакова, можно считать ее равной яркости участков неба, непосредственно окружающих корону. Определяя освещенность от неба по данным боковых трубок и вычитая эту величину из показания центральной трубки, можно оценить интегральный блеск солнечной короны.

Конечно, предпочтительнее заранее прочно установить фотометр в направлении на Солнце по вычисленным для него значениям азимута и высоты.

Визуальная фотометрия солнечной короны может быть проведена любым, даже самым простым люксметром, который окажется в распоряжении наблюдателя. Схемы и конструкции люксметров различны и с ними можно ознакомиться по приложенному к прибору описанию. Но только необходимо ограничить входное окно люксметра трубкой с диафрагмами, подобной той, какая рекомендована для фотометрии солнечной короны малыми пленочными фотокамерами (см. с. 138). Трубка прикрывается колпачком с отверстием, закрытым матовым или молочным стеклом, а если это необходимо, то под стекло закладывается светофильтр. Люксметр укрепляется на удобном штативе, позволяющем направлять прибор на солнечную корону или иной участок неба, что облегчается установкой на приборе хотя бы простого визира.

Для учета действия рассеянного атмосферой солнечного света люксметр направляется на участки неба, расположенные на высоте Солнца в 10° от него по обе стороны, и проводится минимум по два отсчета в начале, середине и конце полной фазы затмения. При наличии нескольких однотипных люксметров их можно использовать

с различными светофильтрами. Как бы ни были люксометры однотипны, все же их показания необходимо сравнить между собой по одновременным наблюдениям без светофильтров одного и того же участка неба в сумерки. Осуществление визуальной фотометрии солнечной короны люксометром требует нескольких наблюдателей, каждый из которых выполняет строго определенные ограниченные функции.

Коль скоро приемное устройство люксометра изменено установкой на нем трубки, то для получения уверенных значений интегрального блеска солнечной короны необходимо люксометр заново проградуировать. При невозможности выполнить это в лаборатории, нужно измерить таким люксометром (с трубкой) блеск Луны в полнолунии и в других ее фазах, отмечая моменты времени с точностью до 5 мин.

Определение коэффициента прозрачности атмосферы. Для учета поглощения света солнечной короны в земной атмосфере необходимо определить коэффициент поглощения атмосферы в день солнечного затмения. Этой цели служит один из фотографических фотометрических приборов, входная трубка которого защищается нейтральным (темным) светофильтром с известным коэффициентом пропускания. Подходящий нейтральный светофильтр подбирается задолго до солнечного затмения по засветкам непосредственно от Солнца на тех же фотоэмульсиях, которые предназначены для фотометрии солнечной короны. Засветки проводятся при разной высоте Солнца над горизонтом, от наименьшей до наибольшей, каждый раз с экспозициями различной длительности, но повторяющимися в той же последовательности. В результате выбирается экспозиция такой длительности, при которой изображения засветок на фотоэмульсии не передержаны и в то же время хорошо заметно различие в степени их почернения. С этой экспозицией и с подобранным нейтральным светофильтром проводится определение коэффициента прозрачности атмосферы в день солнечного затмения.

В этот день на том же фотометре засветки от Солнца экспонируются через каждые 30 мин на протяжении всего интервала времени от восхода до захода Солнца, за исключением времени полного солнечного затмения. Безусловно, в западных участках полосы полной фазы, где полное солнечное затмение произойдет рано утром при восходе Солнца или вскоре после его восхода, не все та-

кие наблюдения могут быть выполнены, но по окончании затмения необходимо довести их до конца. В тех местностях, где это возможно, следует получить одну засветку при наивысшем положении Солнца над горизонтом.

Если, начиная с частной фазы 0,50 перед полным солнечным затмением (и до фазы 0,50 после его окончания), выполнять такие операции через каждые 5 мин, отмечая моменты времени с точностью до 5 с, то эти же наблюдения дадут возможность изучить ослабление солнечного света при разных фазах затмения и тем самым уточнить закон потемнения солнечного диска к его краю.

Все фотопластинки (или фото пленки), на которых проведены данные наблюдения, должны быть обязательно прокалиброваны (см. с. 136).

Изучение распределения яркости по небу и в заревом кольце. В полосе полного солнечного затмения освещенность небесного свода создается не рассеянием прямых лучей Солнца, а многократным рассеянием света, приходящего извне конуса лунной тени, от тех слоев воздуха, которые расположены в зоне лунной полутени и освещаются солнечными лучами частично затмившегося Солнца. У самого горизонта возникает красновато-розовое заревое кольцо. Наблюдения распределения яркости по небу и в заревом кольце позволяют получить некоторые сведения о рассеивающих свойствах атмосферы, а кроме того, они необходимы как вспомогательные, если в той же местности проводятся исследования яркости солнечной короны.

Для изучения распределения яркости по небу можно, конечно, использовать обычные фотопленочные камеры или даже фотоэкспонетры с фотоэлементами. Однако это трудно осуществимо, так как, во-первых, при необходимости изучения яркости в различных участках неба требуется от 20 до 25 однотипных фотокамер или фотоэкспонетров и столько же наблюдателей, а, во-вторых, все операции во время наблюдений должны проводиться строго одновременно (синхронно), что часто бывает затруднительно. Поэтому для этой цели лучше всего изготовить и применить очень простой прибор — трубчатый фотометр академика В. Г. Фесенкова.

Разрез фотометра Фесенкова показан на рис. 52 вверху. В прямоугольной деревянной коробке монтируются 25 трубок, из которых одна направлена вертикально (в

зенит), восемь — под углом к вертикали в 30° (через 45° по азимуту), восемь — под углом в 45° и восемь — под углом в 60° . У всех трубок диаметры внешних отверстий равны 4 см, а их длина 12 см. Внутри них имеются диафрагмы для устранения рассеяния света от стенок. Внизу

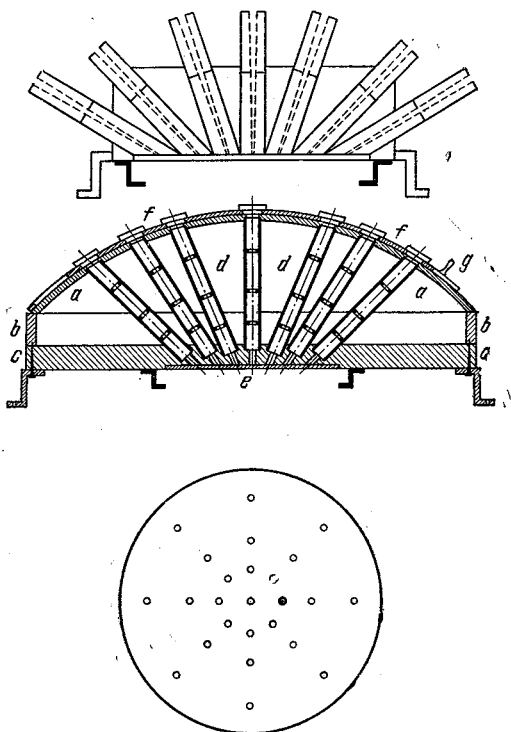


Рис. 52. Вверху — фотометр В. Г. Фесенкова, в середине — тот же фотометр, усовершенствованный М. М. Дагаевым, внизу — пластинка *e* (вид сверху).

коробки прикреплена тонкая металлическая пластинка с 25 отверстиями диаметром в 1 мм, просверленными под теми же углами, под которыми установлены трубки, и расположенными под ними. К этой пластинке плотно прилегает плоская кассета с фотографической пластинкой размерами не менее 9×12 см. Кассета вкладывается в плоский фанерный подкассетник с длинной ручкой и может перемещаться в угольковых салазках, прикреплен-

ных к нижней стороне фотометра. Перемещая по салазкам подкассетник с кассетой, можно на протяжении полной фазы солнечного затмения получить на фотопластинке от трех до пяти экспозиций. Внутренняя поверхность трубок, металлическая пластина с отверстиями и подкассетник окрашиваются черной матовой краской, чтобы от них не было отражения света.

Рассеянный свет от участков неба, на которые направлены трубки, проходит сквозь них и отверстия в металлической пластине и при каждой экспозиции создает на фотопластинке по 25 маленьких засветок различной плотности. Перерывы в экспозициях осуществляются картонной коробкой, накидываемой на все трубки фотометра. Однако такой способ перекрытия создает неодновременность и неравенство в экспозициях для разных трубок фотометра.

От этого недостатка свободен фотометр Фесенкова, усовершенствованный М. М. Дагаевым. Этот вариант фотометра более сложен в изготовлении, но, как показывает опыт, вполне может быть сделан в небольших мастерских. Его разрез изображен на среднем рис. 52. Фотометр состоит из металлического полого сферического сегмента *a*, укрепленного на металлическом кольце *b*, которое установлено на пластмассовом круглом основании *c*. Латунные трубки *d* (их 25) расположены между сферическим сегментом *a* и пластмассовым основанием *c* и закреплены в них своими концами, что обеспечивает прочность прибора и предохраняет его от случайных поломок.

Наиболее подходящие размеры деталей фотометра следующие: у металлического кольца *b* наружный диаметр 365 мм и толщина 5—8 мм; у пластмассового основания *c* диаметр 365 мм и толщина 20 мм; радиус кривизны сферического сегмента равен 250 мм и толщина около 2—3 мм; у латунных трубок *d* длина 105 мм, наружный диаметр 12 мм и внутренний диаметр 10 мм. В каждую трубку вставлены три диафрагмы на равных взаимных расстояниях; у верхней диафрагмы диаметр 8 мм, у средней — 6 мм и у нижней — 4 мм.

В пластмассовом основании просверливается 25 сквозных двухступенчатых каналов: центральный канал просверлен вертикально, а оси остальных отклонены от вертикали под углами 30, 45 и 60° и расположены симметрично относительно центрального канала, через 45° по азимуту. Ступени каналов имеют диаметры 12 мм (большая

ступень) и 5 мм (меньшая ступень). В этом же основании протачивается сплошная круглая выточка глубиной 1 мм, в которую вкладывается плоский металлический кружок такой же толщины с калиброванными отверстиями диаметром в 1 мм (радиус $r = 0,5$ мм), просверленными по тем же углам, что и каналы в пластмассовом основании. Центральное калиброванное отверстие имеет круглую форму, а остальные — эллиптическую (рис. 52 внизу). У центрального отверстия площадь $s = \pi r^2$, а у остальных $s = \pi r^2 \cdot \sec i$, где i — угол наклона оси канала к вертикали. Это следует иметь в виду при обработке наплюдений.

Нижними концами трубки вставляются в двухступенчатые каналы основания c , а верхними — в двухступенчатые отверстия сферического сегмента a , просверленные в нем под теми же углами в 30° , 45° и 60° к вертикали. Диаметры ступеней этих отверстий равны 12 мм и 10 мм, чтобы обеспечить надежное крепление трубок в сегменте.

К нижней стороне основания привертываются угловые салазки для перемещения в них фанерного подкассетника. Затвором при экспонировании служит другой сферический сегмент f , в котором просверливается 25 отверстий диаметром 12 мм, расположенных подобно отверстиям сферического сегмента a . Этот затвор f перемещается по сферическому сегменту a в небольших пределах для перекрытия его отверстий. Ручка g , прикрепленная к затвору, позволяет быстро и резко его перемещать, обеспечивая одинаковую длительность экспозиции для всех трубок фотометра.

Все внутренние детали фотометра, отверстия затвора, металлическая пластина и подкассетник окрашиваются черной матовой краской.

При работе с любым из вариантов фотометра Фесенкова кассета с фотопластинкой вкладывается в подкассетник, который затем полностью вдвигается в салазки и только после этого открывается крышка кассеты. При использовании фотопластинок размерами 9×12 см подкассетник после каждой экспозиции перемещается на 5 мм (при получении трех засветок) или на 3 мм (при четырех засветках). При иных размерах фотометра, отличающихся от описанных, и фотопластинок этот сдвиг необходимо рассчитать или подобрать опытным путем, чтобы засветки не накладывались друг на друга. Контроль перемещения подкассетника осуществляется по миллимет-

ровой шкале, нанесенной или наклеенной на ручку подкассетника. Так как на каждой фотопластинке можно получить только три-четыре экспозиции, то необходимо к каждому подкассетнику заранее подобрать и зарядить 4—5 кассет, которые могут понадобиться для бесперебойной работы фотометра во время солнечного затмения.

Наблюдения с фотометром проводятся как в течение полного, так и во время частного затмения, но при его фазе не менее 0,8. Длительность экспозиции зависит от применяемого сорта фотопластинок и подбирается заранее: для частного затмения — по засветке от дневного неба, а для полного затмения — по окончании сумерек, когда на небе проступают лишь яркие звезды первой-второй звездной величины. Как правило, при полном затмении длительность экспозиций близка к 5 секундам.

При подготовке программы наблюдений и последовательности операций с фотометром необходимо обязательно знать моменты контактов полного солнечного затмения, чтобы рассчитать моменты начала экспозиций. Во время частного затмения желательны экспозиции за 8, 5, 3, 1,5 и 0,5 минуты до второго контакта и через те же интервалы после третьего контакта. Число экспозиций на протяжении полной фазы затмения зависит от ее продолжительности.

За несколько дней до затмения фотометр укрепляется на столбе высотой 1,5—2 м, установленном на открытом месте. Желательно ориентировать фотометр таким образом, чтобы один ряд его трубок был направлен примерно по движению лунной тени. Это направление находится по карте затмения и определяется углом между центральной линией полосы полной фазы и местным меридианом, приближенное положение которого легко найти по компасу.

Если имеется возможность использовать несколько фотометров Фесенкова, то интересно провести на них наблюдения с различными светофильтрами, в первую очередь с желтым и синим, для чего необходимо заложить светофильтры под трубками фотометра на металлическую пластину с отверстиями. Наиболее удобны для этого пленочные светофильтры. Такие наблюдения позволят изучить не только яркость, но и цвет участков неба. Длительность экспозиции при различных светофильтрах подбирается также заранее по дневному и сумеречному небу. Однако при полной фазе затмения найденная для синего

светофильтра длительность экспозиции должна быть уменьшена примерно на 2 с, а для желтого светофильтра на столько же увеличена.

Что касается фотопластинок, то лучше всего применять один сорт — изохроматические, изоортохроматические или изопанхроматические.

Наблюдения яркости заревого кольца интересно провести в местностях, расположенных в стороне от центральной линии затмения и даже вблизи границ полосы полного затмения, причем не только внутри, но и вне полосы. Правда, в этом последнем случае не далее 5 км от границы. Для этой цели можно использовать короткофокусные пленочные фотокамеры, расположив их веером в плоскости горизонта, равномерно во всех направлениях, на открытой местности. Наблюдения сводятся к фотографированию участков заревого кольца через равные промежутки времени, так же как и при фотометрии неба. Степень диафрагмирования объектива и длительность экспозиции, в зависимости от применяемой панхроматической фотопленки, подбирается заранее фотографированием зари красного цвета после захода Солнца. Чтобы посторонний рассеянный свет не попадал в объектив фотокамеры, нужно насадить на него полый цилиндр, изготовленный из картона и вычерненный внутри. Найденную продолжительность экспозиции следует при фотометрии заревого кольца увеличить в два раза. Каждая экспозиция проводится на новом кадре. Можно для этой же цели приспособить несколько однотипных фотоэкспонетров или фотоэлементов, защитив их входные отверстия от постороннего света полыми трубками. Однако здесь имеются такие же затруднения, как и при фотометрии различных участков неба. Поэтому лучше применить специальный заревой фотометр, разработанный М. М. Дагаевым. Конструкция такого фотометра несложна, и он может быть изготовлен любителями астрономии из металла или даже из плотного картона.

Заревой фотометр представляет собой полый цилиндр (корпус) *a* высотой около 30 см, диаметром 6 см (рис. 53). Посередине к нему прикреплена охватывающая его цилиндрическая насадка *b* высотой 3 см и диаметром 26 см, опирающаяся на 3—4 стойки *k*. Внутри насадки укреплено 8—12 одинаковых полых трубок *c*, расположенных радиально через $45-30^\circ$ под углом в $5-10^\circ$ к горизонту. В корпусе и в цилиндрической насадке, как раз против

трубок, просверлены отверстия диаметром в 1 мм (в корпусе) и по внешнему диаметру трубок (в насадке).

Практика показывает, что при использовании панхроматических фотопленок высокой чувствительности хорошие результаты фотометрии заревого кольца получаются при диаметре трубок, в 15 раз меньшем их длины. В предлагаемой здесь конструкции фотометра, рассчитанного под плоскую фотопленку размерами 13 × 18 см, длина

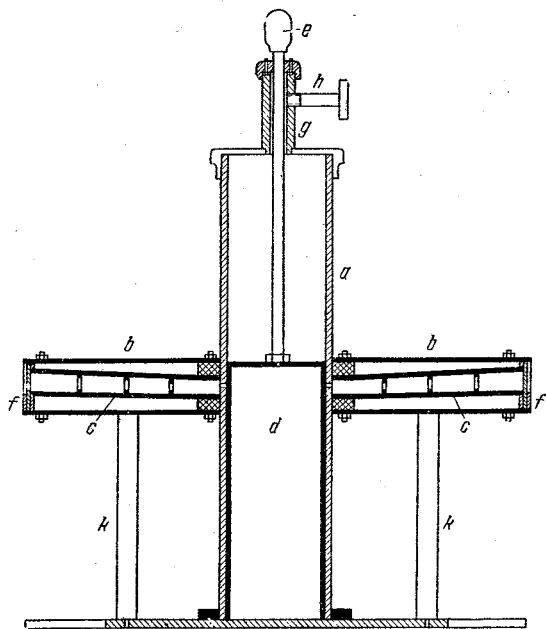


Рис. 53. Заревой фотометр.

трубок равна 105 мм, а их диаметр 7 мм; внутри трубок укреплены диафрагмы.

При таком подборе размеров трубок фотометра каждая из них воспринимает свет от площадки заревого кольца диаметром в $3^{\circ},8$ и площадью в 11,5 квадратного градуса. Наличие у фотометра двенадцати трубок позволяет одновременно (синхронно) фотометрировать 12 площадок заревого кольца, расположенных на высоте 5° через 30° по азимуту.

Внутри корпуса *a* вставляется цилиндрическая (тоже полая) кассета *d* диаметром 57 мм, обернутая фото пленкой эмульсией наружу. Пленка крепится на кассете сверху и снизу тонкими крышками либо тугими плоскими резиновыми кольцами. Чтобы кассета не вращалась в корпусе, полезно сделать на ней два небольших выступа (вверху и внизу, по направляющей), а во внутренней поверхности корпуса — неглубокую и узкую прорезь для этих выступов. Сверху корпус плотно закрывается крышкой *g* с отверстием в центре и небольшой втулкой, сквозь которые проходит стержневая ручка *e* кассеты, необходимая для ее перемещения. Ручка фиксируется во втулке стопорным винтом *h*. Впрочем, если корпус и кассета фотометра изготовлены из плотного картона, то стопорный винт не обязателен, так как трение о корпус удерживает кассету в нужном положении. Контроль перемещения кассеты осуществляется миллиметровыми делениями, нанесенными на ее стержневую ручку. При перемещении кассеты после каждой экспозиции на 4 мм можно сделать 30 экспозиций без перезарядки фотометра.

Снаружи цилиндрической насадки установлен затвор *f* в виде широкого обруча с отверстиями, диаметр которых несколько больше диаметра трубок. Поворот затвора поочередно в обе стороны на небольшой угол позволяет открывать и перекрывать входные отверстия трубок.

Чтобы проводить фотометрию заревого кольца сквозь светофильтры, перед отверстиями затвора укрепляются маленькие рамки, в которые закладываются светофильтры. Полезно изготовить три таких фотометра, чтобы два из них использовать со светофильтрами — желтым и синим.

Все внутренние поверхности деталей фотометра (трубок, диафрагм, корпуса, насадки, затвора, крышки и втулки), а также кассета окрашиваются черной матовой краской. Для обеспечения светонепроницаемости полезно оклеить верхний торец втулки крышки *g* и ее канал (в котором движется ручка кассеты) черным бархатом или сукном.

Заревой фотометр устанавливается на высоком столбе, чтобы наблюдатель не загораживал ни одного из отверстий фотометра. Очень существенно правильно ориентировать фотометр при его установке: вертикальное положение проверяется отвесом, а пара противоположных отверстий направляется в сторону движения лунной тени.

Для такой ориентировки вдоль корпуса и цилиндрической насадки, между смежными отверстиями, проводится тонкая вертикальная полоса. В сторону этой полосы должен быть обращен стык фотопленки при зарядке фотометра, чтобы этот стык не оказался против отверстий. Зарядку и разрядку фотометра фотопленкой необходимо проводить в полной темноте. Рекомендуется панхроматическая пленка чувствительностью не ниже 90 единиц ГОСТ.

Наблюдения с заревым фотометром следует начинать за 4 мин до начала полной фазы затмения и заканчивать через 4 мин после ее окончания. Интервалы между соседними экспозициями должны быть одинаковыми, и их длительность определяется продолжительностью полной фазы, но желательно, чтобы они были минимальными.

Если любители астрономии сумеют сами сконструировать и изготовить аналогичные оригинальные фотометры с применением полупроводников или фотосопротивлений, то они внесут существенный вклад в развитие любительского приборостроения и смогут получить интересные данные об изменении яркости участков неба и заревого кольца.

9. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КООРДИНАТ СОЛНЦА

В разных местностях территории Советского Союза солнечное затмение 31 июля 1981 г. будет протекать в различное время суток и при неодинаковом положении Солнца над горизонтом: на Кавказе — в ранние утренние часы, при восходе Солнца, в Амурской области — вблизи полудня, а на Сахалине — после полудня. Поэтому полезно вычислить положение Солнца на небе в различные моменты затмения, в том числе и при его полной фазе, чтобы заранее установить предназначенные для наблюдений инструменты в правильном направлении.

Видимое положение Солнца (вообще любого светила) над горизонтом определяется двумя сферическими горизонтальными координатами — азимутом A и высотой h или заменяющим ее зенитным расстоянием z , измеряемыми в градусах, минутах и секундах дуги (рис. 54). Высотой называется угловое расстояние от математического, или истинного горизонта (на ровной местности он почти совпадает с видимым горизонтом!); при положительной высоте h (т. е. $h > 0$) светило находится над горизонтом, а

при отрицательной высоте ($h < 0$) — под горизонтом и поэтому не видно. Зенитным расстоянием z называется угловое расстояние от зенита, т. е. от точки неба, находящейся точно над головой наблюдателя. Так как высота зенита всегда равна 90° , то зенитное расстояние

$$z = 90^\circ - h \quad (1)$$

и всегда положительно.

На практике обычно измеряют зенитное расстояние, так как оно определяется надежнее, чем высота.

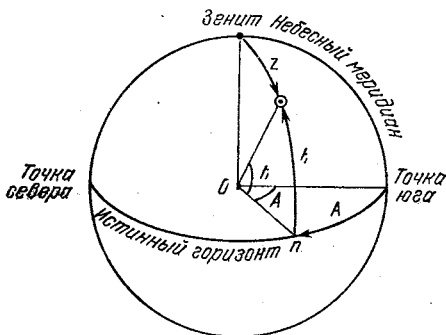


Рис. 54. Горизонтальные небесные координаты

Если мысленно провести большой круг на небе через зенит и светило, то он пересечется с истинным горизонтом в некоторой точке n , угловое расстояние которой от точки юга называется азимутом A (см. рис. 53). К западу от точки юга азимут считается положительным ($A > 0$), а к востоку — отрицательным ($A < 0$).

Чтобы заранее найти на небе предстоящее видимое положение Солнца, необходимо вычислить его горизонтальные координаты и обязательно знать направление на точку юга. Через эту точку и зенит проходит на небе большой круг, называемый небесным меридианом, который лежит в той же плоскости, что и географический меридиан местности.

Направление на точку юга (на небесный меридиан) может быть найдено различными, но не равнозначными по точности способами. Самый простой способ, который применим в южных районах и средней полосе СССР, — это определение по компасу с учетом магнитного склоне-

ния. Точность его не очень велика — до 0,5 градуса. Направления на точку юга с того места наблюдения, откуда это направление определено, необходимо отметить хотя бы двумя тонкими и высокими вертикальными планками (вешками), расставленными на расстояние около 20 м друг от друга. Небольшую вешку или даже колышек следует установить на месте наблюдения. Тогда с этого места направление на точку юга будет известно. Со всякого другого места той же наблюдательной площадки направление на точку юга параллельно найденному.

Второй способ использует показание часов и требует знания географической долготы λ местности. Эту долготу, известную в угловых единицах, следует выразить в единицах времени, из расчета, что 1° (час) = 15° , $1^{\text{м}}$ (минута времени) = $15'$ и $1^{\text{с}}$ (секунда времени) = $15''$. Но обычно долгота известна с точностью, не превышающей $1'$, т. е. $4^{\text{с}}$ (секунд) времени, и, следовательно, с меньшей точностью нужно знать время для определения направления на точку юга.

Время T , которое принято в данной местности, называется местным временем. Местное время T какой-либо местности отличается от московского времени $T_{\text{м}}$ на целое число часов ΔT , известное жителям, так что

$$T = T_{\text{м}} + \Delta T. \quad (2)$$

Часа за 2—3 до полудня необходимо проверить свои часы (желательно с секундной стрелкой) по радиосигналам точного времени, т. е. отметить показание часов $T_{\text{ч}}$ в момент T подачи последнего сигнала. Тогда поправка часов

$$u = T - T_{\text{ч}}, \text{ или } u = T_{\text{м}} + \Delta T - T_{\text{ч}}, \quad (3)$$

причем если часы отстают, то $u > 0$ (т. е. положительна), а если спешат, то $u < 0$ (отрицательна). Знак поправки существен, так как без его учета возможна большая ошибка в дальнейших вычислениях.

Не вдаваясь в подробности, сообщим, что Солнце ежедневно проходит над точкой юга в момент, называемый истинным полднем, который не совпадает с общепринятым полднем, т. е. с моментом $12^{\text{ч}0^{\text{м}}}$ по местному времени. Солнце проходит над точкой юга (наступает истинный полдень) в тот момент времени, когда часы, проверенные по радиосигналам из Москвы, показывают

$$T_{\text{ч}} = 15^{\text{ч}} + \eta + \Delta T - \lambda - u, \quad (4)$$

где η — некоторая величина, называемая уравнением времени; оно изменяется ото дня ко дню.

Значения уравнения времени публикуются в астрономических календарях-ежегодниках. В таблице V приводятся значения уравнения времени η в истинный полдень разных дней июля 1981 г.; эти значения могут быть использованы для вычислений по формуле (4).

Т а б л и ц а V. Уравнение времени для июля 1981 г.

Число	η	Число	η	Число	η	Число	η
1	+3 ^М 45 ^С	9	+5 ^М 08 ^С	17	+6 ^М 04 ^С	25	+6 ^М 25 ^С
2	3 56	10	5 16	18	6 08	26	6 26
3	4 08	11	5 24	19	6 12	27	6 26
4	4 19	12	5 32	20	6 16	28	6 24
5	4 29	13	5 40	21	6 19	29	6 23
6	4 39	14	5 46	22	6 21	30	6 21
7	4 49	15	5 52	23	6 23	31	+6 18
8	+4 58	16	+5 58	24	+6 24	—	—

В момент показания часов T_q , вычисленный по формуле (4), нужно отметить на местности (на наблюдательной площадке) направление на Солнце, под которым на горизонте лежит точка юга.

Пр и м е р. В местности с географической долготой $\lambda = 99^\circ 25'$ время T отличается от московского времени на $\Delta T = 4^ч$. В момент передачи 7-часового радиосигнала из Москвы 5 июля 1981 г. часы местного наблюдателя показали $T_q = 11^ч 06^м 20^с$.

В этот момент местное время $T = T_M + \Delta T = 7^ч 0^м 0^с + 4^ч = 11^ч 0^м 0^с$ и согласно формуле (3) поправка часов $u = T - T_q = 11^ч 0^м 0^с - 11^ч 06^м 20^с = -6^м 20^с = -6^м,3$.

Географическая долгота местности $\lambda = 99^\circ 25' = 6^ч 37^м 40^с = 6^ч 37^м,7$. Из таблицы находим, что 5 июля 1981 г. уравнение времени $\eta = +4^ч 29^с = +4^м,5$. Тогда по формуле (4) найдем, что истинный полдень в данной местности наступит в момент показания часов $T_q = 15^ч + \eta + \Delta T - \lambda - u = 15^ч + 4^м,5 + 4^ч - 6^ч 37^м,7 + 6^м,3 = 12^ч 33^м,8 \approx 12^ч 34^м$.

В этот момент нужно отметить направление на небесный меридиан и на точку юга, лежащую под Солнцем на горизонте.

В третьем простом методе используется гномон, т. е. вертикальный столбик с заостренным верхним концом. На ровном месте горизонтальной площадки сначала вбивается небольшой колышек, вокруг которого с помощью бечевы прочерчиваются концентрические окружности: ближайшая радиусом около 50 см, а три последующие — на расстояниях 10—15 см друг от друга. Затем вместо

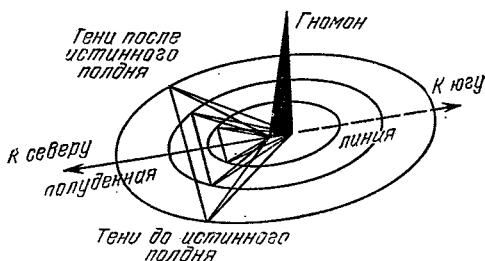


Рис. 55. Определение направления меридиана по гномону.

колышка в центр окружностей устанавливается гномон высотой 60—65 см. Вертикальность гномона выверяется отвесом.

Задача сводится к наблюдениям за тенью гномона, освещаемого Солнцем. Их надо начинать задолго до полудня, когда тень выходит за пределы окружности наибольшего радиуса. До истинного полудня день гномона укорачивается, и наблюдатель штрихами отмечает на окружностях те точки, в которых их последовательно касается самый конец тени. После истинного полудня тень гномона удлиняется, и на окружностях снова ставятся метки в точках касания с ними края тени. Затем через две отмеченные точки на каждой окружности проводятся хорды, которые делятся пополам, и через центры хорд и основание гномона проводится прямая линия (рис. 55). Ее направление от периферии к основанию гномона указывает на точку юга и фиксируется на местности. Оно называется полуденной линией. Как и в предыдущих способах, направление на точку юга из других мест наблюдательной площадки параллельно полуденной линии.

Для вычисления азимута A и высоты h Солнца в определенном моменте времени T необходимо знать его экваториальные координаты (прямое восхождение α и склонение δ) на тот же момент времени. Все вычисления

проще проводить для моментов московского времени T_M .

Пусть требуется вычислить A и h Солнца для некоторого момента T местного времени. Тогда этот же момент по московскому времени

$$T_M = T - \Delta T,$$

где ΔT — разность в целых часах между временем, принятым в данной местности, и московским временем.

Если в московскую полночь (когда $T_M = 0$) экваториальные координаты Солнца были α_0 и δ_0 , то в найденный момент T_M его координаты будут

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha \cdot T_M \text{ и } \delta = \delta_0 + \Delta\delta \cdot T_M, \quad (5)$$

где $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ — изменения экваториальных координат Солнца за $1^{\text{ч}}$ (часовые изменения экваториальных координат), причем в этих формулах T_M выражено в часах и его десятичных долях.

В астрономии для научных целей применяется счет времени по положению точки весеннего равноденствия относительно небесного меридиана; этот счет времени ради краткости называется звездным временем. В момент T местного времени в местности с географической долготой λ звездное время

$$S = s_0 + \lambda + T_M + \tau, \quad (6)$$

где $T_M = T - \Delta T$, s_0 — звездное время в Гринвиче в московскую полночь, λ выражена в единицах времени и τ — поправка, учитывающая расхождение звездного времени с московским временем.

Эта поправка

$$\tau = 0^{\text{м}},164 \cdot T_M = 9^{\text{с}},9 \cdot T_M, \quad (7)$$

причем здесь T_M опять дается в часах и его десятичных долях, а число $0^{\text{м}},164$, как и $9^{\text{с}},9$, показывает расхождение во времени за 1 час.

В день солнечного затмения 31 июля 1981 г. в московскую полночь экваториальные координаты Солнца

$$\alpha_0 = 8^{\text{ч}}39^{\text{м}}57^{\text{с}},4 \text{ и } \delta_0 = +18^{\circ}22'35'',$$

их часовые изменения $\Delta\alpha = +9^{\text{с}},74$ и $\Delta\delta = -36'',9$, а звездное время в Гринвиче $s_0 = 17^{\text{ч}}33^{\text{м}}38^{\text{с}}$.

Следовательно, согласно формуле (5), в любой момент T_M по московскому времени экваториальные координаты

Солнца

$$\begin{aligned}\alpha &= 8^{\text{ч}}39^{\text{м}}57^{\text{с}},4 + 9^{\text{с}},74 \cdot T_{\text{М}}, \\ \delta &= +18^{\circ}22'35'' - 36'',9 \cdot T_{\text{М}}.\end{aligned}\quad (8)$$

В экваториальной системе координат положение Солнца относительно небесного меридиана определяется величиной, называемой часовым углом t , причем

$$t = S - \alpha. \quad (9)$$

Тогда высота h Солнца вычисляется по формуле

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t, \quad (10)$$

где φ — географическая широта местности.

Азимут A Солнца находится по формуле

$$\sin A = \frac{\cos \delta}{\cos h} \cdot \sin t. \quad (11)$$

При $A > 0$ Солнце расположено к западу от небесного меридиана, а при $A < 0$ — к востоку от него.

Вычисленные горизонтальные координаты A и h Солнца позволяют заранее направить инструмент, предназначенный для наблюдений солнечного затмения, на тот участок неба, где будет находиться затмившееся Солнце. Для этого нужно сначала направить инструмент на точку юга, а затем повернуть его в горизонтальной плоскости на вычисленный угол A ; при $A > 0$ — повернуть к западу (вправо), а при $A < 0$ — к востоку (влево). После этого инструмент устанавливается под углом h к горизонту.

Пример. В местности с $\lambda = 101^{\circ}45'$ и $\varphi = 56^{\circ}04'$ полное солнечное затмение 31 июля 1981 г. начнется в $T = 10^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}}$, а разность во времени между этой местностью и Москвой $\Delta T = 5^{\text{ч}}$. Следовательно, в заданный момент времени московское время

$$T_{\text{М}} = T - \Delta T = 5^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}},$$

и этот же интервал времени

$$T_{\text{М}} = 5^{\text{ч}},9961.$$

В московскую полночь звездное время в Гринвиче $s_0 = 17^{\text{ч}}33^{\text{м}}38^{\text{с}}$. Географическая долгота, выраженная в единицах времени, $\lambda = 6^{\text{ч}}47^{\text{м}}0^{\text{с}} = 6^{\text{ч}}47^{\text{м}},0$.

Согласно формулам (5) и (8) в момент $T_M = 5^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}}$ экваториальные координаты Солнца

$$\alpha = 8^{\text{ч}}39^{\text{м}}57^{\text{с}},4 + 9^{\text{с}},74 \cdot 5^{\text{ч}},9961 = 8^{\text{ч}}40^{\text{м}}56^{\text{с}},$$

$$\delta = +18^{\circ}22'35'' - 36'' \cdot 9 \cdot 5^{\text{ч}},9961 = +18^{\circ}18'54'',$$

а по формулам (6) и (7) звездное время

$$S = 17^{\text{ч}}33^{\text{м}}38^{\text{с}} + 6^{\text{ч}}47^{\text{м}}0^{\text{с}} + 5^{\text{ч}}59^{\text{м}}46^{\text{с}} + 9^{\text{с}},9 \cdot 5^{\text{ч}},9961 = \\ = 30^{\text{ч}}21^{\text{м}}23^{\text{с}} - 24^{\text{ч}} = 6^{\text{ч}}21^{\text{м}}23^{\text{с}},$$

и тогда согласно формуле (9) часовой угол Солнца

$$t = 6^{\text{ч}}21^{\text{м}}23^{\text{с}} - 8^{\text{ч}}40^{\text{м}}56^{\text{с}} = -2^{\text{ч}}19^{\text{м}}33^{\text{с}}$$

или

$$t = -34^{\circ}52'45''.$$

Поскольку географическая широта местности φ дается с точностью до $1'$, то для дальнейших вычислений принимаем:

$$\varphi = +56^{\circ}04', \quad \sin \varphi = +0,82969, \quad \cos \varphi = +0,55823,$$

$$\delta = +18^{\circ}19', \quad \sin \delta = +0,31427, \quad \cos \delta = +0,94933,$$

$$t = -34^{\circ}53', \quad \sin t = -0,57191, \quad \cos t = +0,82032.$$

По формуле (10)

$$\sin h = 0,82969 \cdot 0,31427 + 0,55823 \cdot 0,94933 \cdot 0,82032 = \\ = +0,69547,$$

что определяет высоту Солнца $h = +44^{\circ}04'$.

Найдя по таблицам $\cos h = +0,71853$, вычислим по формуле (11)

$$\sin A = \frac{0,94933}{0,71853} \cdot (-0,57191) = -0,75561,$$

откуда азимут Солнца $A = -49^{\circ}05'$.

Следовательно, необходимо повернуть инструмент от точки юга на $49^{\circ}05'$ к востоку и затем придать ему наклон в $44^{\circ}04'$ к горизонту.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

АДРЕСА НАИБОЛЕЕ КРУПНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПРИ АКАДЕМИИ НАУК СССР

- Центральный совет* — 103001, Москва, К-1, Садово-Кудринская ул., д. 24.
- Азербайджанское* — 370000, Баку, Центральный почтамт, а/я 77.
- Алма-Атинское* — 480068, Алма-Ата, Каменское плато, Астрофизический институт.
- Армянское* — 375019, Ереван, ул. Барекамутиян, д. 12. Президиум АН Арм. СССР.
- Горьковское* — 603000, Горький, Главный почтамт, а/я 24.
- Душанбинское* — 734042, ул. Свириденко, д. 22, Институт астрофизики.
- Казанское* — 422520, Зеленодольский р-н, разъезд Обсерватория, Астрономическая обсерватория.
- Киевское* — 252053, Киев, Обсерваторная ул, д. 3, Астрономическая обсерватория КГУ.
- Киргизское* — 720000, Фрунзе, Ленинский проспект, д. 265а, Институт автоматки.
- Латвийское* — 226098, Рига, Главный почтамт, а/я 202.
- Ленинградское* — 199164, Ленинград, В-164, а/я 411.
- Литовское* — 232600, Вильнюс, ГСП, ул. К. Пожелос, д. 54.
- Московское* — 117313, Москва, В-313, а/я 740.
- Одесское* — 270014, Одесса, парк Шевченко, д. 10, Астрономическая обсерватория ОдГУ.
- Свердловское* — 620038, Свердловск, Л-38, проспект Ленина, д. 24а, ГлавАПУ.
- Тбилисское* — 380060, Тбилиси, ул. Павлова, д. 2а, Городская лаборатория Астрофизической обсерватории АН Груз. ССР.
- Туркменское* — 744000, Ашхабад, ул. Гоголя, д. 16, Институт физики Земли, астрофизическая лаборатория.
- Узбекское* — 700052, Ташкент, Астрономическая ул., д. 33, Астрономический институт АН Узб. ССР.
- Эстонское* — 200016, Таллин, ул. Тяхеторни, д. 2.
- Ярославское* — 150000, Ярославль, ул. Трефолева, д. 20.

**СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ 31 ИЮЛЯ 1981 ГОДА
И ЕГО НАБЛЮДЕНИЕ**

Под редакцией *А. А. Михайлова*

М.; 1980 г.; 160 стр. с илл.

Редактор *Г. С. Куликов*
Техн. редактор *Е. В. Морозова*
Корректор *Т. С. Вайсберг*

ИБ № 11620

Сдано в набор 26.05.80. Подписано к печати 18.07.80. Т-13096.

Бумага 84x108¹/₃₂, тип. № 3. Обыкновенная гарнитура.

Высокая печать. Условн. печ. л. 8,72. Уч.-изд. л. 9,14.

Тираж 125 000 экз. Заказ № 3160. Цена книги 30 коп.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

2-я типография изд-ва «Наука» 121099, Москва, Б-99, Шубинский пер., 10

Цена 30 к.

