

НАШ СПУТНИК

Лунный свет был первым лучом в познании неба. Луна — еще не небо, но уже и не Земля. Кроткое светило ночей является первой станцией при путешествии в бесконечность.

К. Фламмарин

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО

Младенец часто тянется ручонками к предметам, явно для него недостижимым. Правильное восприятие пространства приходит с возрастом.

Первобытный человек, подобно младенцу, не ощущал необъятность окружающего его мироздания. Луна и Солнце казались ему предметами одинакового размера и видимое он принимал за истинное. Расстояние до всех небесных светил представлялось ему одинаковым, и обманчивый облик небосвода породил у древних звездочетов ошибочное представление о небесной тверди, окружающей со всех сторон Землю.

Первая попытка определить расстояние до Луны была предпринята крупнейшим астрономом древнего мира Гиппархом (190—125 гг. до н. э.). По относительной продолжительности последовательных фаз лунного затмения Гиппарх нашел, что расстояние Земля — Луна изменяется в пределах от 62 до 74 земных радиусов. Метод Гиппарха не отличался точностью — на самом деле расстояние от Земли до Луны меняется в пределах от 56 до 64 земных радиусов. Но все же порядок этой величины был оценен правильно, и благодаря Гиппарху человечество впервые почувствовало, как далеки от Земли небесные тела.

Более совершенный способ определения космических расстояний основан на измерении так называемого параллактического смещения. Идея этого способа проста. Поместите указательный палец перед своим лицом и посмо-

трите на него попеременно то правым, то левым глазом—палец заметно смещается на фоне более далеких предметов. Это кажущееся смещение предмета при переходе от одной точки наблюдения к другой и называется **п а р а л л а к т и ч е с к и м с м е щ е н и е м**. Расстояние же между точками, из которых наблюдается предмет, называется **б а з и с о м**. Проверьте: чем дальше вы отводите палец от лица, тем

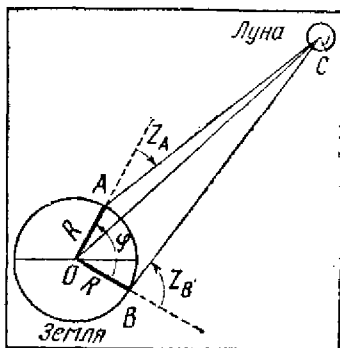


Рис. 1. Определение расстояния до Луны.

меньше (при одном и том же базисе!) его параллактическое смещение. Легко сообразить, что с увеличением базиса растет и параллактическое смещение данного предмета. Следовательно, зная размеры базиса и измерив параллактическое смещение (или, как иначе говорят, **п а р а л л а к с**) недоступного предмета, можно вычислить расстояние от него до наблюдателя.

Впервые параллакс Луны был измерен лишь в 1752 г., когда и телескопы и микрометры, измеряющие угловые расстояния на небесной сфере, стали достаточно совершенными. Лаланд и Лакайль, два известных французских астронома, одновременно наблюдали Луну из двух обсерваторий. Расстояние между ними (базис) было значительным (рис. 1). Одна из обсерваторий находилась в Берлине (точка А), другая на Мысе Доброй Надежды (точка В). Астрономы измерили углы Z_A и Z_B — так называемые **з е н и т н ы е р а с с т о я н и я**. Угол ϕ между радиусами Земли, проведенными в пункты наблюдения, равен разности географических широт этих пунктов. Так как величина земного радиуса R была известна, в четырехугольнике $OBCA$ осталось вычислить большую диагональ OC , равную расстоянию между центрами Земли и Луны, — задача, доступная школьникам старших классов.

Метод, примененный впервые Лаландом и Лакайлем, позже использовался и другими астрономами. Оказалось, что среднее расстояние между центрами Земли и Луны равно 384 400 км, что почти в 30 раз больше земного поперечника. Радиолокация Луны позволила вычислить это расстояние

с точностью до 1 км, а с помощью лазера расстояние до Луны определили с ошибкой, не превышающей доли метра.

Зная расстояние d до Луны, легко найти ее размеры (рис. 2). Для этого достаточно измерить видимый угловой поперечник Луны ($31'$). Тогда радиус Луны r определяется по очевидной формуле $r = d \sin \alpha$, где α — угловой радиус Луны (около $15'$).

Луна значительно меньше Земли. Ее поперечник (3476 км) почти вчетверо меньше земного, а по объему земной шар в 49 раз превосходит лунный. Это означает, что площадь поверхности Луны почти в 14 раз меньше общей площади земной поверхности. Иначе говоря, вся поверхность Луны по площади близка к поверхности обеих Америк — Северной и Южной.

Небольшие размеры Луны и, как следствие, значительная искривленность ее поверхности сужают радиус видимого горизонта. Космонавтов, оказавшихся на Луне, поражала непривычная близость горизонта — расстояние до предметов на лунном горизонте не превышало 2,5 км (что почти вдвое меньше радиуса видимого горизонта на Земле). Разумеется, с подъемом на какую-нибудь лунную гору радиус лунного горизонта расширяется. С другой стороны, далекие, но высокие лунные горы могут казаться космонавту на Луне высовывающимися из-за горизонта.

Массу Луны можно определить по влиянию Луны на движение Земли вокруг Солнца. Строго говоря, вокруг

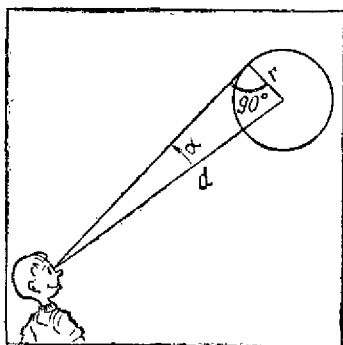


Рис. 2. Определение размеров Луны,

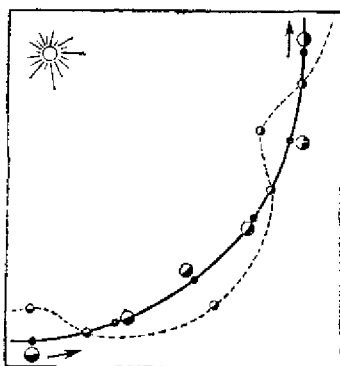


Рис. 3. Движение Луны вокруг Солнца. Орбита Луны изображена пунктиром.

Солнца по эллипсу, называемому земной орбитой, обращается не Земля, а центр тяжести системы Земля — Луна. Он лежит внутри земного шара на расстоянии 4635 км от центра Земли, и потому на рисунке 3 движение нашей планеты для наглядности изображено в увеличенном виде.

Легко сообразить, что отклонение центра Земли от эллипса земной орбиты зависит от массы Луны. Чем меньше эта масса, тем меньше отклонение. При равенстве масс Луны и Земли центр тяжести системы Земля — Луна помещался бы точно посередине между этими двумя телами и тогда было бы неясно, какое из тел считать основным, а какое — его спутником. Подобный случай наблюдается в системах некоторых двойных звезд. В системе же Земля — Луна отклонения Земли от строго эллиптического движения невелики, но именно эти отклонения и позволяют вычислить массу нашего естественного спутника.

По массе Луна в 81 раз меньше Земли — ее масса равна $7,33 \cdot 10^{25}$ г, тогда как масса нашей планеты $5,98 \cdot 10^{27}$ г. Зная объем Луны и ее массу, нетрудно подсчитать, что средняя плотность Луны $3,33$ г/см³ (что значительно меньше средней плотности Земли — $5,52$ г/см³). О возможных причинах этого факта будет сказано ниже.

Обозначим буквой a ускорение свободного падения на поверхности Луны, M — ее массу, r — радиус, а f — постоянную тяготения. Тогда вес тела массы m , лежащего на поверхности Луны, определяется формулой: $ma = f \frac{Mm}{r^2}$, откуда

$$a = f \frac{M}{r^2} \approx 1,6 \frac{m}{сек^2}.$$

Как известно, ускорение свободного падения на поверхности Земли равно $g \approx 9,8$ м/сек². Следовательно, сила тяжести на Луне почти в 6 раз меньше, чем на Земле, и космонавт, весящий на Земле 900 н, очутившись на лунной поверхности, стал бы весить всего 150 н. Так как при этом мускульная сила остается прежней, космонавты на Луне должны чувствовать себя в соседнем мире существами гораздо более могучими, чем у себя на планете. Практически, однако, это не совсем так — сказывается вес скафандра и всякие неудобства, связанные с перемещением в этом далеко не пзящном костюме.

Для каждого небесного тела можно вычислить критическую скорость u_k , т. е. минимальную скорость, при

которой любой предмет навсегда покинет данное небесное тело, удалившись от него по параболе. Критическая скорость вычисляется по формуле:

$$v_k = \sqrt{2ar},$$

где r — радиус небесного тела, а a — ускорение свободного падения на его поверхности. Для Луны критическая скорость равна 2,4 км/сек, что почти в пять раз меньше критической скорости для Земли (11,2 км/сек). Это обстоятельство во многом определило эволюцию Луны — наша небесная соседка не имеет вокруг себя атмосферы.

Как известно, в любой массе газа (в частности, в атмосфере планеты) составляющие его молекулы движутся с различными скоростями. Эти скорости при непрерывных соударениях молекул меняются и по величине и по направлению. Некоторые из молекул газа могут при этом достичь скоростей, превышающих критическую, — тогда они навсегда покидают планету.

Эти хаотические скорости молекул различны. Но для данной температуры есть так называемая средняя квадратичная скорость v_c , с которой движется подавляющее большинство молекул газа. Чем значительнее отклонение скорости от v_c , тем меньше молекул, которые обладают этой скоростью. С возрастанием температуры газа v_c увеличивается, с понижением температуры, наоборот, уменьшается.

В теории диссипации (рассеяния) планетных атмосфер доказывается, что если $v_c > \frac{1}{5} v_k$ (где v_k — критическая скорость для данной планеты), то атмосфера планеты полностью рассеивается за астрономически короткие сроки. Наоборот, при $v_c \ll \frac{1}{5} v_k$ планета может обладать стабильной атмосферой.

При 0°С средние квадратичные скорости в километрах в секунду молекул разных газов таковы: водород 1,8, гелий 1,3, водяной пар 0,6, азот и кислород 0,5, углекислый газ 0,4. Для Луны $\frac{1}{5} v_k$ составляет 0,48 км/сек. Казалось бы, атмосфера из углекислого газа вокруг Луны могла бы существовать. Но приведенные выше значения скоростей верны для температуры 0°С. Днем же на Луне температура повышается до +130°С, и вычисленные по теоретическим

формулам v_k будут на 20% выше. Отсюда следует, что Луна на современной орбите не может удержать вокруг себя стабильную атмосферу.

Теоретические выводы полностью подтверждаются наблюдениями. Все попытки обнаружить лунную атмосферу (а они предпринимались еще со времен Галилея) привели к отрицательным результатам. Доказано, что если вокруг Луны и есть атмосфера, то ее плотность по меньшей мере в миллиарды раз меньше плотности комнатного воздуха. Практически это означает, что атмосферы вокруг Луны нет.

Отсутствие атмосферы создает на Луне весьма своеобразный температурный режим. На Земле воздух сильно сглаживает температурные контрасты. Благодаря конвекции (перемешиванию воздушных масс) температуры ночью и днем, в тени и на солнце различаются не очень сильно. Иная картина наблюдается на Луне. Максимальная температура пород, составляющих поверхность Луны, в лунный полдень близка к $+130^{\circ}\text{C}$, а в полночь она падает до -150°C . Температура различных точек лунной поверхности зависит от угла наклона солнечных лучей. Но и в одном и том же пункте Луны температуры «на солнце» и в тени от какой-нибудь горы различаются на многие десятки градусов. В этом нас убеждает тот факт, что во время лунных затмений, когда тень от Земли падает на Луну, температура затененных участков лунной поверхности иногда за очень короткое время понижается от $+130^{\circ}$ до -130°C !

Луна — мир температурных контрастов. Они возможны лишь при таком поверхностном слое, который обладает крайне низкой теплопроводностью. Если бы поверхность Луны была сплошь покрыта голыми скалами, температурные колебания на Луне были бы значительно меньшими. Только мелко раздробленные породы, напоминающие пыль или песок, могли бы объяснить наблюдаемую картину. Ведь в этом случае тепло от одной частицы к другой будет передаваться лишь излучением — конвекция отсутствует, а теплопроводность играет малую роль, так как соседние частицы соприкасаются друг с другом в небольшом числе точек. По всем этим соображениям еще задолго до начала непосредственного изучения Луны средствами космонавтики астрономы предсказали, что поверхность Луны, обладающая крайне низкой теплопроводностью, покрыта толстым пылевым слоем. Он столь же быстро нагревается солнечными лучами, как и отдаст (в тени или ночью) накопленное теп-

ло. Прямые космонавтические исследования Луны показали, однако, что слой пыли, покрывающий лунную поверхность, сравнительно тонок (не толще нескольких сантиметров).

ДВИЖЕНИЯ ЛУНЫ

Казалось бы, движения Луны очень просты: вращение вокруг оси и обращение вокруг Земли. К этим двум движениям можно также прибавить и третье — обращение Луны вместе с Землей вокруг Солнца. На самом деле мы перечислили лишь главные, простейшие из лунных движений. Кроме них, есть множество «второстепенных», учет которых, однако, совершенно необходим. Вот почему теория движения Луны считается одной из самых трудных проблем небесной механики. Можно смело сказать, что ни одно небесное тело не потребовало столько труда для изучения его движения, сколько наш естественный спутник.

Еще в 1747 г. Клеро, знаменитый французский математик, заложил первые основы теории лунных движений. Затем свои творческие способности в этой области применили Даламбер и Лаплас. Последний более 30 лет занимался теорией движения Луны, но тема отнюдь не была исчерпана и в дальнейшем крупнейшие математики мира пробовали свои силы в этой, оказавшейся очень сложной, области небесной механики. Среди них были Эйлер и Пуассон, Делоне и Пуансо, Хилл и Браун. Современная теория движения Луны окончательно оформилась лишь к 1923 г. С тех пор на основе этой теории во всех астрономических ежегодниках публикуются данные о положениях Луны на небе для различных моментов времени.

В чем же причина всех этих трудностей? Почему движение Луны так сложно?

Лишь в первом, самом грубом приближении орбиту Луны можно считать окружностью. На самом деле это эллипс, в одном из фокусов которого находится центр Земли. Ближайшая к Земле точка лунной орбиты называется *периселием*, самая удаленная — *апоселием*. В момент прохождения Луны через периселий ее центр отстоит от центра Земли на расстоянии 363 300 км. На земном небе видимые размеры Луны становятся наибольшими — ее поперечник достигает 32' 52". Наоборот, в апоселии, когда Луна удаляется от Земли до расстояния 405 500 км, видимый диаметр лунного диска сокращается