

Особенности лунной орбиты

В первом приближении можно считать, что Луна движется по эллиптической орбите с эксцентриситетом 0,0549 и большой полуосью 384399 км. Действительное движение Луны довольно сложное и при его расчёте необходимо учитывать множество факторов, например, сплюснутость Земли и сильное влияние Солнца, которое притягивает Луну в 2,2 раза сильнее, чем Земля. Более точно движение Луны вокруг Земли можно представить как сочетание нескольких движений

- обращение вокруг Земли по эллиптической орбите с периодом 27,32166 суток, это так называемый сидерический месяц (то есть движение измерено относительно звёзд);
- поворот плоскости лунной орбиты: её узлы (точки пересечения орбиты с эклиптикой) смещаются на запад, делая полный оборот за 18,6 лет. Это движение является прецессионным;
- поворот большой оси лунной орбиты (линии апсид) с периодом 8,8 лет (происходит в противоположном направлении, чем указанное выше движение узлов, то есть долгота перигея увеличивается);
- периодическое изменение наклона лунной орбиты по отношению к эклиптике от $4^{\circ}59'$ до $5^{\circ}19'$;
- периодическое изменение размеров лунной орбиты: перигея от 356,41 до 369,96 тыс. км, апогея от 404,18 до 406,74 тыс. км;
- постепенное удаление Луны от Земли вследствие приливного ускорения (на 38 мм в год), таким образом, её орбита представляет собой медленно раскручивающуюся спираль.

Для решения большинства задач на затмения достаточно понимать, что промежуток времени между двумя последовательными прохождением Луны через один и тот же (восходящий или нисходящий) узел орбиты называется *драконическим месяцем*, его продолжительность составляет 27,21 суток. Аналогичный промежуток времени для Солнца (прохождение через тот же узел лунной орбиты при движении Солнца по эклиптике) называется драконическим годом и составляет 346,62 дня.

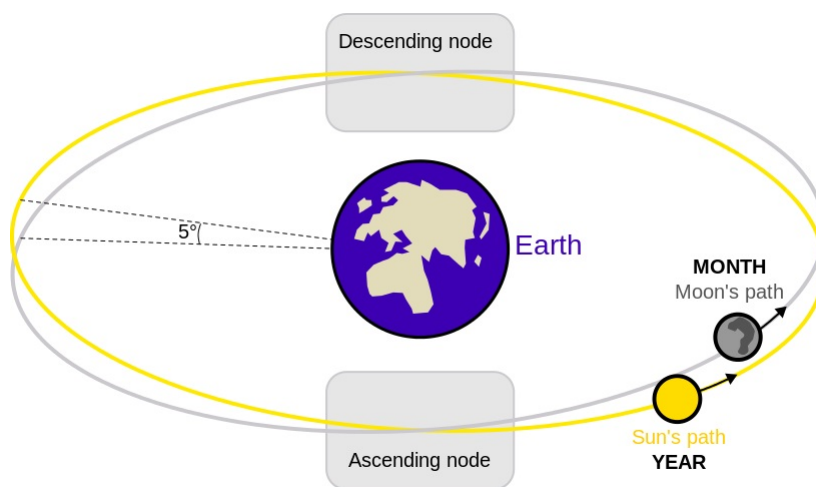


Рис. 1: ближний к нам узел - восходящий, дальний - нисходящий.

Условия наступления солнечных и лунных затмений

Если бы плоскость лунной орбиты совпадала с плоскостью эклиптики, то солнечные и лунные затмения происходили бы каждый синодический месяц. Но плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики под углом в $5^{\circ}09'$, поэтому Луна во время новолуния или полнолуния может находиться далеко от плоскости эклиптики, и тогда ее диск пройдет выше или ниже диска Солнца или конуса тени Земли, и никакого затмения не случится.

Чтобы произошло солнечное или лунное затмение, необходимо, чтобы Луна во время новолуния или полнолуния находилась вблизи узла своей орбиты, т.е. недалеко от эклиптики.

Условия солнечных затмений

Для наступления Солнечного затмения необходимо, чтобы Солнце находилось не далее $16,5^{\circ}$ от узла по эклиптике. *Можете самостоятельно решить эту не сложную геометрическую задачу.*

Заметим, что затмение Солнца возможно и по другую сторону лунного узла, на таком же расстоянии от него. Путь по эклиптике в 33° Солнце, перемещаясь со средней скоростью $59'$ в сутки, проходит за 34 дня. Но за 34 дня обязательно будет одно новолуние, а может быть и два, так как продолжительность синодического месяца $29,5$ суток. Следовательно, каждый год обязательно бывает 2 солнечных затмения (около двух узлов лунной орбиты), но может быть 4 и даже 5 затмений. Пять солнечных затмений в году случается тогда, когда первое происходит вскоре после 1-го января. Тогда второе наступает в следующее новолуние, третье и четвертое произойдут несколько раньше, чем через полгода, а пятое — через 354 дня после первого (через 354 дня пройдет 12 синодических месяцев).

Условия лунных затмений

Для наступления лунных затмений необходимо, чтобы в полнолуние расстояние между центрами земной тени и Луны было меньше, чем $41' + 15',5 = 56',5$. Лунное затмение, хотя бы и непродолжительное, возможно в том случае, если центр земной тени отстоит от лунного узла, по одну или другую сторону, менее чем на $10^{\circ},6$. Тень Земли, перемещаясь по эклиптике со скоростью $59'$ в сутки, проходит это расстояние за 10,8 суток, а двойное расстояние в $21^{\circ},2$ — за 21,6 суток. Но так как синодический месяц содержит 29,5 суток, то одно полнолуние может произойти на расстоянии, большем $10^{\circ},6$ к западу от узла, а следующее полнолуние — на таком же расстоянии к востоку от узла, и тогда в этом месяце лунных затмений не будет. Тем более их не будет и в следующий месяц, так как центр Луны пройдет через узел спустя 27,2 дня (драконический месяц), а полунолуние случится на 2,3 дня позже. За 2,3 дня Луна уйдет от узла на 30° , и центр ее пройдет мимо центра земной тени на расстоянии, большем $56,5'$.

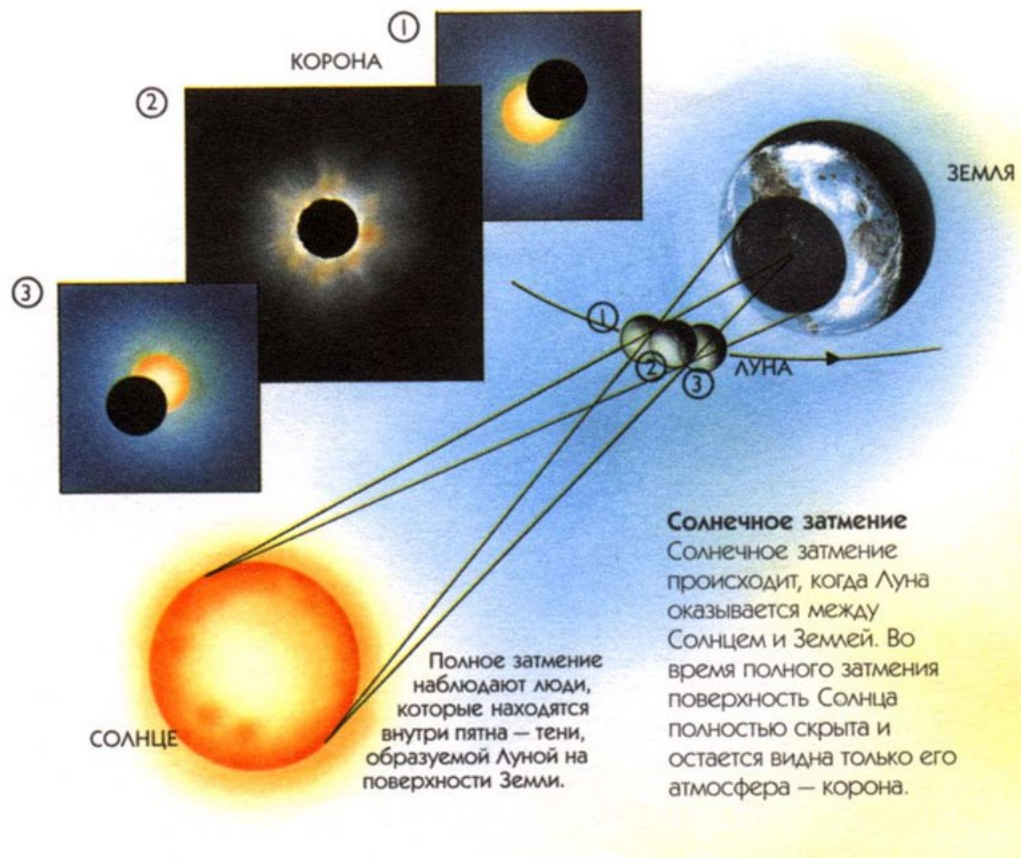
Следующее лунное затмение может произойти лишь через полгода, вблизи другого узла лунной орбиты, но по тем же причинам его может и не быть.

Таким образом, на протяжении года может не произойти ни одного лунного затмения, а самое большее их может быть два или три. Три лунных затмения в году случаются тогда, когда первое из них происходит вскоре после 1-го января, второе — в конце июня, а третье — в конце декабря, через 12 синодических месяцев (через 354 дня) после первого.

Солнечные затмения

Солнечное затмение — астрономическое явление, которое заключается в том, что Луна закры-

вает (затмевает) полностью или частично Солнце от наблюдателя на Земле. Солнечное затмение возможно только в новолуние, когда сторона Луны, обращённая к Земле, не освещена, и сама Луна не видна. Затмения возможны, только если новолуние происходит вблизи одного из двух лунных узлов.



Типы солнечных затмений

По астрономической классификации, если затмение хотя бы где-то на поверхности Земли может наблюдаться как полное, оно называется полным. Если затмение может наблюдаться только как частное, оно и классифицируется как частное.

Когда наблюдатель находится в тени от Луны, он наблюдает полное солнечное затмение. Когда он находится в области полутени, он может наблюдать частное солнечное затмение.

Помимо полных и частных солнечных затмений, бывают кольцеобразные затмения. Кольцеобразное затмение происходит, когда в момент затмения Луна находится на большем удалении от Земли, чем во время полного затмения, и конус тени проходит над земной поверхностью, не достигая её. Визуально при кольцеобразном затмении Луна проходит по диску Солнца, но оказывается меньше Солнца в диаметре, и не может скрыть его полностью. В максимальной фазе затмения Солнце закрывается Луной, но вокруг Луны видно яркое кольцо незакрытой части солнечного диска. Небо при кольцеобразном затмении остаётся светлым, звёзды не появляются, наблюдать корону Солнца невозможно. Одно и то же затмение может быть видно в разных частях полосы

затмения как полное или кольцеобразное. Такое затмение называют полным кольцеобразным или гибридным.

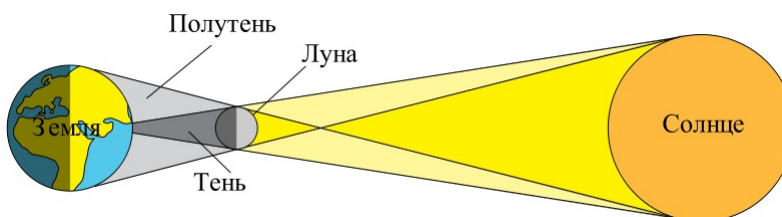


Рис. 2: схема полного затмения

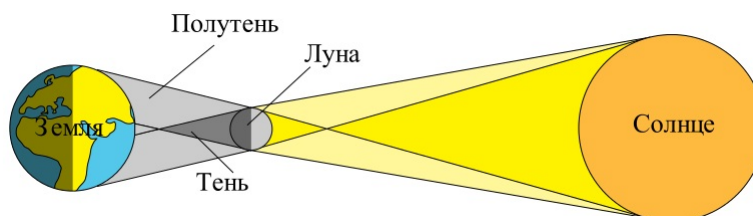


Рис. 3: схема кольцеобразного затмения

Частота солнечных затмений

Как уже говорилось выше, в год на Земле может происходить от 2 до 5 солнечных затмений, из которых не более двух — полные или кольцеобразные, остальные затмения - частные.

Геометрия солнечных затмений

На рисунке представлена схема прохождения тени Луны по поверхности Земли.

Выделены зоны, в которых можно наблюдать полное и частное солнечное затмение, а также указана точка с максимальной продолжительностью затмения. Ширина полосы полного затмения составляет порядка 200 км, максимальная 270 км.

Направление движение тени зависит от времени года. Во-первых, время года определяет расположение оси вращения земли относительно Солнца и эклиптики, во-вторых, время года определяет угол, под которым движется Солнце относительно плоскости экватора.

Лунные затмения

Лунное затмение — затмение, которое наступает, когда Луна входит в конус тени, отбрасываемой Землёй. Диаметр пятна тени Земли на расстоянии 363000 км (минимальное расстояние Луны от Земли) составляет около 2,6 диаметров Луны, поэтому Луна может быть затенена целиком. В каждый момент затмения степень покрытия диска Луны земной тенью выражается фазой затмения. Величина фазы Φ определяется расстоянием Γ от центра Луны до центра тени.

Когда Луна во время затмения полностью входит в тень Земли, говорят о полном лунном затмении, когда частично — о частном затмении. Когда Луна входит только в полутень Земли,

Geocentric Conjunction = 17:35:38.3 UT J.D. = 2450871.233082
 Greatest Eclipse = 17:28:25.1 UT J.D. = 2450871.228068
 Eclipse Magnitude = 1.0441 Gamma = 0.2391

F. Espenak, NASA's GSFC - 2004 Jul 07

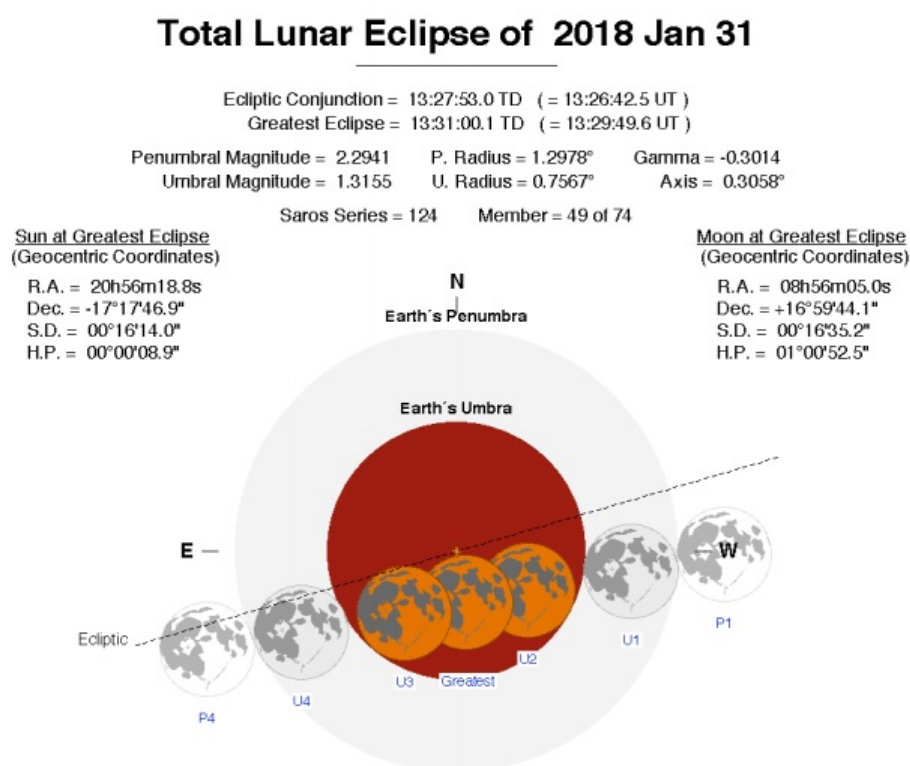
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html

Лунное затмение может наблюдаться на всём полушарии Земли, обращённом в этот момент к Луне (то есть там, где на момент затмения Луна находится над горизонтом). Вид затемнённой Луны с любой точки Земли, где она вообще видна, практически одинаков — в этом состоит коренное отличие лунных затмений от солнечных, которые видны лишь на ограниченной территории. Максимальная теоретически возможная продолжительность полной фазы лунного затмения составляет 108 минут; такими были, например, лунные затмения 26 июля 1953 года, 16 июля 2000 года. При этом Луна проходит через центр земной тени; полные лунные затмения такого типа называют центральными, они отличаются от нецентральных большей продолжительностью и меньшей яркостью Луны во время полной фазы затмения.

Во время затмения (даже полного) Луна не исчезает полностью, а становится тёмно-красной. Этот факт объясняется тем, что Луна даже в фазе полного затмения продолжает освещаться. Солнечные лучи, проходящие по касательной к земной поверхности, рассеиваются в атмосфере Земли и за счёт этого рассеяния частично достигают Луны. Поскольку земная атмосфера наиболее прозрачна для лучей красно-оранжевой части спектра, именно эти лучи в большей мере достигают поверхности Луны при затмении, что и объясняет окраску лунного диска. По сути, это тот же эффект, что и оранжево-красное свечение неба у горизонта (заря) перед восходом или сразу после заката. Для оценки яркости Луны во время затмения используется шкала Данжона.

Геометрия лунных затмений

На данном рисунке представлена стандартная схема полного лунного затмения, которое произошло в январе 2018 года.



Как видно из схемы

- это затмение было полным, поскольку Луна полностью зашла в тень Земли.
- Оно не было центральным, так как на протяжении всего затмения Луна была ниже эклиптики.
- Луна находилась вблизи восходящего узла своей орбиты, но еще не дошла до него.
- В момент максимального затмения центр Луны прошел на расстоянии $0,3R_{\oplus}$ южнее плоскости эклиптики. (это показатель Γ)

- В момент максимального затмения Луна была в зените в точке с широтой $+16^{\circ}59'$ с.ш. и долготой $172,5^{\circ}$ в.д.

Сарос

Имея в виду условия наступления затмений, легко установить, что на протяжении года может произойти самое большее семь затмений — либо два лунных и пять солнечных, либо три лунных и четыре солнечных. В первом случае в начале года происходит два солнечных затмения и между ними одно лунное, затем в середине года — опять два солнечных и одно лунное и в конце года — пятое солнечное затмение. Во втором случае в начале года происходит одно лунное затмение и после него одно солнечное, затем в середине года — два солнечных и одно лунное, а в конце года — одно солнечное и после него третье лунное затмение. Однако такие годы случаются редко; чаще всего в году бывает два солнечных и два лунных затмения. Наименьшее число затмений в году — два и оба солнечных.

Последовательность затмений повторяется почти точно в прежнем порядке через промежуток времени, который называется **саросом** (сарос — египетское слово, означающее “повторение”). Сарос, известный еще в древности, составляет 18 лет и 11,3 суток. Действительно, затмения будут повторяться в прежнем порядке (после какого-либо начального затмения) спустя столько времени, сколько необходимо, чтобы та же фаза Луны случилась на том же расстоянии Луны от узла ее орбиты, как и при начальном затмении.

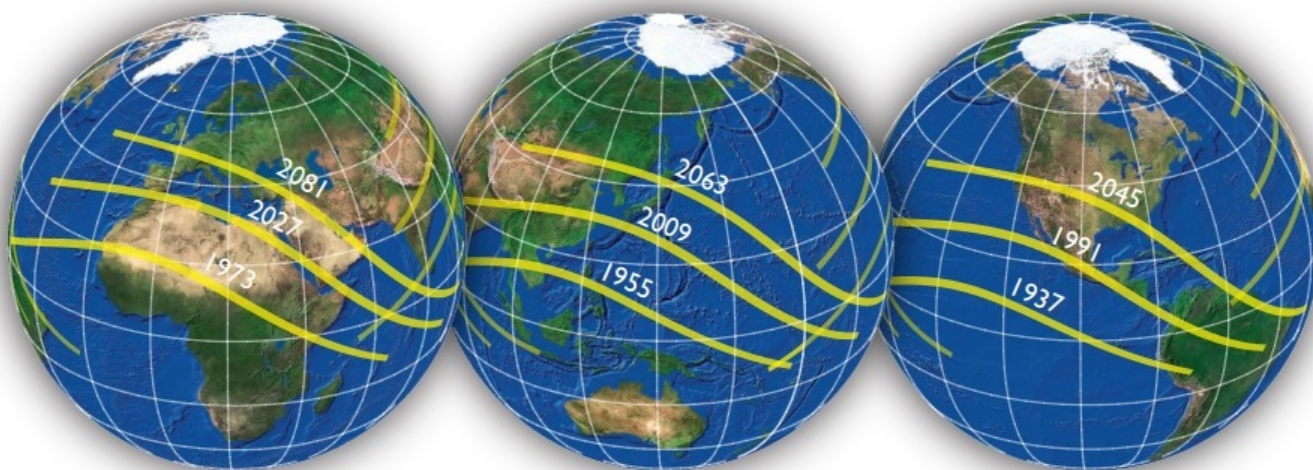
Фазы Луны повторяются в среднем через 29,53 суток; возвращение Луны к одному и тому же узлу своей орбиты происходит через 27,21 суток, а промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра Солнца через один и тот же узел лунной орбиты, называемый драконическим годом, равен 346,62 суток. Следовательно, период повторяемости затмений (сарос) будет равен промежутку времени, по истечении которого начала этих трех периодов будут снова совпадать. Оказывается, что 242 драконических месяца почти в точности равны 223 синодическим месяцам, а также 19 драконическим годам, а именно:

- 242 драконических месяца = 6585,36 суток;
- 223 синодических месяца = 6585,32 суток = 18 лет 11 дней 7 часов 42 минуты;
- 19 драконических лет = 6585,78 суток.

Так как 223 синодических месяца на 0,04 суток короче, чем 242 драконических месяца, то через 6585 дней новолуние (или полнолуние) будет происходить на несколько ином расстоянии от узла лунной орбиты, чем 18 лет назад. Поэтому условия затмений не будут повторяться в точности. Кроме того, так как в саросе содержится целое число суток и еще примерно $1/3$ суток, то области видимости затмений за 18 лет перемещаются по земной поверхности к западу примерно на 120° .

В течение каждого сароса происходит 70 затмений, из них 41 солнечное и 29 лунных. Таким образом, солнечные затмения происходят чаще лунных, но в данной точке на поверхности Земли чаще можно наблюдать лунные затмения, так как они видны на целом полушарии Земли, тогда как солнечные затмения видны лишь в сравнительно узкой полосе

Saros 136



Orthographic projection centered
at 26° North, 22° East

Orthographic projection centered
at 26° North, 142° East

Orthographic projection centered
at 26° North, 98° West

← Each eclipse path shifts ~120° west of the previous one.