

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ОБ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ

Предлагаем вашему вниманию 20 занимательных задач об астрономических явлениях. Эти задачи предлагались в 1997-2000 годах на Московских Городских школьных астрономических олимпиадах, а также на Всероссийских Заочных школьных астрономических олимпиадах, проводимых научно-популярным журналом “Звездочет”. Задачи сортированы по сложности, возрастающей от первой задачи к двадцатой.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ

1. Вчера произошло покрытие Венеры Луной. Может ли завтра наступить затмение Солнца? Луны?

2. Почему полные солнечные затмения очень интересны для наблюдателей комет?

3. Четыре солнечных затмения наблюдались в экваториальной области Земли. Первое из них было полным с шириной полосы в середине затмения 50 км, второе — полным с шириной 150 км, третье — кольцеобразным с шириной 50 км, четвертое — кольцеобразным с шириной 150 км. Расположите эти затмения в порядке возрастания величины наибольшей фазы.

4. Где наблюдается в среднем больше полных солнечных затмений — в северном или южном полушарии Земли и почему?

5. Вы находитесь в северных умеренных широтах. За несколько ближайших лет в Вашем городе будет видно 10 солнечных и 10 полных лунных затмений. Как вы думаете, каких явлений вы увидите больше на ясном небе?

6. *«Солнце уже зашло, и узенький серпик Луны был прекрасно виден. Петя не отрывал глаз от окуляра, боясь пропустить красивейшее явление. И вдруг на краю лунного диска вспыхивают сразу две яркие точки, как будто это была двойная звезда, состоящая из очень ярких компонент, разделенных промежутком чуть меньше одной угловой минуты. И лишь затем точки превратились в дужки и наконец соединились друг с другом. Рядом с Луной теперь светила Венера, также имеющая вид тонкого серпа. Хоть она и была намного меньше, но светила чуть ли не ярче всей Луны.»* Допустил ли автор ошибку в описании астрономического явления?

7. Сегодня на Земле наступило великое противостояние Марса. А могло ли сегодня на Марсе наблюдаться прохождение Земли по диску Солнца?

8. Какие значения может принимать фаза нашего естественного спутника в момент покрытия Венеры Луной?

9. 31 декабря 1997 года произошло красивое астрономическое явление — тесное соединение Луны и Венеры, при этом оба светила имели вид тонкого серпа. У кого фаза была больше — у Луны или Венеры и почему?

10. Почему солнечные затмения могут происходить в любой сезон года, а прохождения Венеры по диску Солнца — только в начале июня и начале декабря?

11. На Земле наблюдается частное солнечное затмение. Момент его наибольшей фазы наступил во время T , сама же наибольшая фаза наблюдается в пункте A . На какой высоте над горизонтом находится Солнце в этом пункте в это время? Как относительно диска Солнца располагается диск Луны?

12. На Земле наблюдается частное солнечное затмение. На какой максимальной высоте Солнца над горизонтом его можно увидеть?

13. Во сколько раз изменилась бы максимальная продолжительность полного солнечного затмения на Земле (7.5 мин), если бы наша планета вращалась вокруг своей оси вдвое быстрее?

14. Во время солнечного затмения в некотором пункте Земли наблюдается следующая конфигурация Солнца и Луны на горизонте:



Можно ли в этот момент откуда-нибудь на Земле наблюдать полное солнечное затмение?

15. Можно ли увидеть с поверхности Земли одновременно Солнце и Луну в полной фазе лунного затмения? А можно ли увидеть с Марса одновременно Солнце и спутник Фобос, полностью погруженный в тень планеты?

16. Некая обитаемая планета имеет два естественных спутника. Какие из нижеприведенных конфигураций этих спутников могут наблюдаться на небе этой планеты, а какие — нет?



17. Оцените максимальную ширину и продолжительность полной фазы при кольцеобразно-полном солнечном затмении. На какой широте Земли будет достигаться максимальная ширина? продолжительность?

18. На Земле произошло полное солнечное затмение. Его полная фаза наблюдалась в северном полушарии и во всей полосе была видна очень низко над горизонтом сразу после восхода Солнца. В какой сезон года это могло произойти?

19. В некоторой точке Земли наблюдается солнечное затмение с максимально возможной общей продолжительностью (от первого до последнего касания дисков Солнца и Луны). Какого типа это затмение (полное, кольцеобразное, частное) и почему?

20.

*На ясном небе темном
Видны соседние миры.
Взгляни на свет их ровный
В их тайны загляни!*

*Найди рогатое созвездье
И в центр его посмотри.
Там два сияющих брильянта
У взгляда встанут на пути:*

*“Планета — сила” светит ярче
Любой сияющей звезды.
Но ярче силы светит рядом
“Богиня вечной красоты”.*

*В созвездии тринадцатом
Еще два мира светят.
И лишь Сатурна нет нигде
На небе темном этом.*

В какой сезон года (с точностью до месяца) и в какое время суток могла наблюдаться такая картина?

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

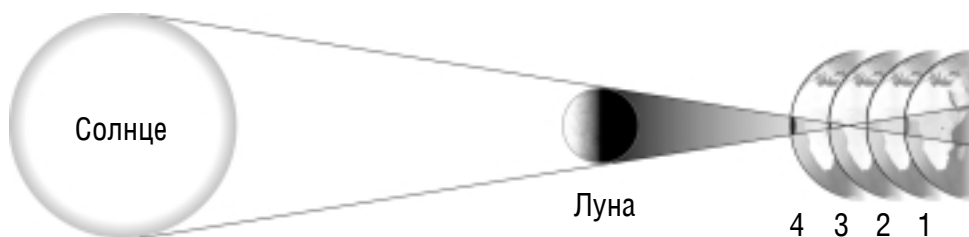
1. Как известно, солнечные затмения происходят в новолуние, когда Луна находится между Солнцем и Землей, а лунные затмения — в полнолуние, когда Луна оказывается в противоположной стороне от Солнца. Планета Венера — внутренняя, и она не удаляется на небе от Солнца более чем на 47° . Следовательно, покрытие Луной Венеры может произойти на небе недалеко от Солнца, то есть за несколько (не более четырех) дней до или после новолуния. И если вчера произошло это явление, то завтра может быть новолуние, а значит, возможно и наступление солнечного затмения. Полнолуния и лунного затмения завтра быть не может.

2. Кометы резко увеличивают свою яркость вблизи прохождения точки перигелия (ближайшей к Солнцу) своей орбиты. В это время самыми яркими и длинными становятся их хвосты. Именно в это время лучше всего было бы наблюдать эти небесные объекты. Но, подходя к точке перигелия орбиты, многие кометы подходят очень близко к Солнцу и на небе, из-за чего перестают быть видимыми.

Полное солнечное затмение дает возможность увидеть кометы, которые находятся в этот момент очень близко от дневного светила. Известны случаи, когда во время солнечных затмений на небе появлялись кометы, которые вообще не наблюдались до этого момента!

3. В условии задачи сказано, что все четыре затмения наблюдались вблизи экватора Земли. Это значит, что в середине каждого явления на Земле полная или кольцеобразная фаза наблюдалась очень высоко над горизонтом, что в свою очередь означает, что ширина полосы в середине затмения практически равна толщине конуса лунной тени или его продолжения.

Фаза центрального солнечного затмения, а также его тип (полное или кольцеобразное) зависят от расстояния до Солнца и Луны. На рисунке показаны Солнце, Луна и отбрасываемый ею сходящийся конус тени, в котором можно наблюдать полное солнечное затмение. На некотором расстоянии от Луны конус сжимается в точку, и дальше он переходит в расходящийся конус, из которого видно уже кольцеобразное затмение Солнца.



Очевидно, что фаза солнечного затмения тем больше, чем больше видимые размеры Луны, то есть чем ближе мы к ней находимся. Поэтому самая маленькая фаза была у кольцеобразного затмения с шириной полосы 150 км, в этом случае поверхность Земли находилась в положении 1. Далее следуют: кольцеобразное затмение с шириной полосы 50 км (положение 2), полное затмение с шириной полосы 50 км (положение 3) и полное затмение с шириной полосы 150 км (положение 4).

4. Как мы уже упоминали, тип центрального затмения зависит также от расстояния от Земли до Солнца, которое не остается все время одинаковым. Земля обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, подходя ближе всего к дневному светилу в начале января и отходя дальше всего в начале июля. То есть, зимой угловые размеры Солнца немного больше, чем летом. А значит, летом выше вероятность наступления полного затмения, при котором видимые размеры Луны больше, чем Солнца. Кстати, по этой же причине полные солнечные затмения с самой большой продолжительностью (7 минут и выше) наблюдаются только в июне, июле и начале августа.

Примем далее во внимание, что в летний период солнечные затмения чаще видны в северном полушарии, обращенном в это время к Солнцу, а зимой солнечные затмения видны больше в южном полушарии, где в это время лето. Итак, получается, что полные солнечные затмения чаще видны в северном полушарии, в южном же видно больше кольцеобразных затмений.

5. Солнечные затмения видны в одном конкретном пункте в северных умеренных широтах большей частью в весенне-летний период, когда Солнце подолгу находится в этом пункте над горизонтом. Полные лунные затмения, наоборот, чаще будут видны осенью и зимой, когда над горизонтом долго бывает полная Луна. А так как в наших широтах погода чаще бывает ясной весной и летом, можно с уверенностью предположить, что из 10 солнечных затмений вы увидите на ясном небе большую часть, нежели из 10 полных лунных затмений.

Идею этой задачи автору подсказала реальная ситуация: за период с середины 1990 до середины 2000 года в Москве произошло 4 частных солнечных затмения, из которых 3 были видны на ясном небе, и 5 полных лунных затмений, из которых на чистом от облаков небе автору не удалось пронаблюдать ни одного!

6. Ошибка в описании астрономического явления есть. Очевидно, что в момент покрытия серпы Луны и Венеры должны быть направлены в одну сторону. Покрытие происходило вечером, значит, Луна была молодой и двигалась относительно Венеры рогами вперед. Тогда при открытии сначала должен был выйти освещенный лимб Венеры, а лишь затем рога. Описанное же явление могло произойти утром перед восходом Солнца при покрытии Венеры “старой” Луной.

Других ошибок автором допущено не было. Угловой диаметр Венеры в фазе тонкого серпа действительно может приблизиться (и даже достигнуть) одной угловой минуты. При этом ее яркость может не уступать яркости тонкого серпа Луны, а при наблюдении в телескоп на сумеречном небе маленькая Венера может показаться ярче Луны.

7. Во время великого противостояния планета Марс находится по ту же сторону от Солнца, что и Земля, находясь вдобавок к этому вблизи точки перигелия своей орбиты. Казалось бы, Земля находится между Солнцем и Марсом, и наблюдатели на Марсе могли бы увидеть прохождение Земли по диску Солнца. Но орбиты Земли и Марса находятся в разных плоскостях, и прохождение возможно, только если планеты находятся вблизи “линии узлов” — линии пересечения плоскостей орбит. Такое бывает, если противостояние Марса наступает в середине мая или середине ноября. Великие же противо-

стояния Марса происходят в августе или сентябре, и тогда Марс располагается на небе значительно южнее эклиптики. Соответственно, для наблюдателей на Марсе Земля пройдет севернее диска Солнца, и прохождение не наступит.

8. Как мы уже говорили, угловое расстояние Венеры от Солнца на земном небе не может превышать 47° . Соответственно, фазовый угол Луны θ (угол между направлениями от Луны на Солнце и Землю) во время покрытия Венеры будет не меньше 133° . Фаза Луны, равная доле освещенной части площади ее диска или, что то же самое, доле освещенной части ее диаметра, направленного на Солнце (параллельного “рогам” серпа), связана с фазовым углом соотношением

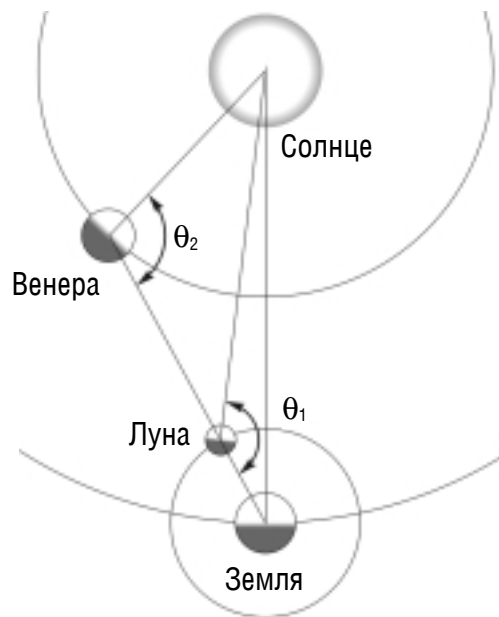
$$F = \frac{1 + \cos\theta}{2},$$

которое легко вывести из геометрических соображений. Подставляя численные значения, получаем, что максимально возможное значение фазы Луны в момент покрытия Венеры равно 0.16.

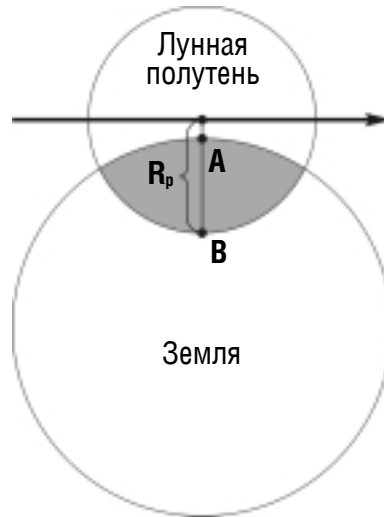
В период с 2001 по 2012 год произойдут два покрытия Венеры (18 июня 2007 г. и 13 августа 2012 г.), видимые в России, при которых наш естественный спутник будет иметь фазу 0.15, близкую к максимальной.

9. Для решения задачи достаточно взглянуть на рисунок, показывающий конфигурацию Луны и Венеры в день их соединения. Видно, что фазовый угол Венеры меньше фазового угла Луны, а значит (см. формулу из решения предыдущей задачи) фаза Венеры будет больше фазы Луны.

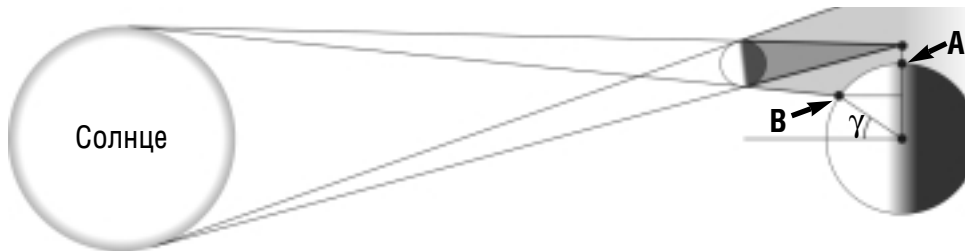
10. Известно, что как орбита Луны вокруг Земли, так и орбита Венеры вокруг Солнца наклонены к плоскости эклиптики на некоторый угол. Поэтому далеко не в каждое новолуние происходит солнечное затмение и не в каждое нижнее соединение Венеры — ее прохождение по диску Солнца. Для наступления такого явления еще нужно, чтобы Луна или Венера находились вблизи одного из узлов своих орбит — точек их пересечения с плоскостью эклиптики. Но положение узлов орбиты Венеры практически не изменяется со временем, и они соответствуют положению Земли в начале июня и начале декабря — именно тогда возможно наступление такого редкого астрономического явления, как прохождение Венеры по диску Солнца. Узлы орбиты Луны вращаются с периодом 18.6 лет, и поэтому в разное время солнечные затмения могут происходить в любой сезон года.



11. В условии задачи сказано, что на Земле наблюдается только частное затмение Солнца. Значит, линия, соединяющая центры Солнца и Луны (линия центрального затмения) не попала на поверхность нашей планеты. В этом случае наибольшая фаза затмения будет наблюдаться в точке Земли А, глубже всего вошедшей в лунную полутень. Если смотреть на Землю со стороны Луны (см. рисунок), то эта точка будет находиться на краю диска Земли, ближе всего к центру тени и полутени. В этой точке Земли Солнце и Луна будут находиться на горизонте.



А чтобы ответить на второй вопрос задачи, рассмотрим ту же конфигурацию Солнца, Луны и Земли “сбоку”. Из рисунка видно, что в интересующей нас точке Земли диск Луны будет виден точно над диском Солнца, то есть Солнце будет на горизонте и превратится в серп с рогами, направленными вверх.



12. Обратимся к первому рисунку из решения предыдущей задачи. Частное затмение Солнца будет видно во всех точках Земли, попадающих в лунную полутень. Высота Солнца и Луны будет максимальной в точке, находящейся ближе всего к видимому с Луны центру диска Земли (точке В).

Для начала определим радиус лунной полутени R_p . Если обозначить расстояния от Земли до Солнца и Луны как L и l , а радиусы Солнца и Луны как R и r соответственно, то из геометрической схемы образования полутени можно получить

$$R_p = \frac{Rl + rL}{L - l} .$$

Соответственно, радиус лунной тени или ее продолжения R_U равен

$$R_U = \frac{|Rl - rL|}{L - l} .$$

Учитывая, что по условию задачи тень Луны или ее продолжение не попадают на Землю (ни полного, ни кольцеобразного затмения на Земле не видно), мы получаем, что длина отрезка АВ не может превышать разность $R_p - R_U$, которое в свою очередь, удовлетворяет неравенству

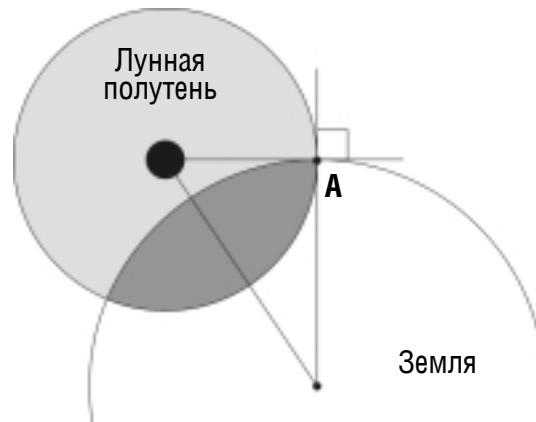
$$D \leq R_p - R_U \leq \frac{2rL}{L-l} = 3485 \text{ км.}$$

Чтобы определить теперь высоту Солнца над горизонтом в точке В, обратимся к рисунку в проекции “сбоку”. Очевидно, что искомая высота h равна дополнению до 90° угла γ , из чего получаем (R_E — радиус Земли):

$$h = \arccos \frac{R_E - D}{R_E} = 63^\circ.$$

13. Как известно, максимальная ширина конуса лунной тени составляет приблизительно 270 км, это можно определить по формуле из решения предыдущей задачи, подставив в нее минимальное расстояние до Луны из “подлунной” точки Земли (350.0 тыс. км) и максимальное расстояние до Солнца (152.1 млн. км). Максимальная продолжительность полной фазы солнечного затмения достигается, если оно видно вблизи экватора, и скорость суточного движения наблюдателя (0.46 км/с) сонаправлена со скоростью движения тени (около 1.06 км/с, Луна находится вблизи точки перигея орбиты). В таком случае наблюдатель пересекает тень по диаметру за $270/(1.06 - 0.46) = 450$ секунд, или 7 с половиной минут. Если бы Земля вращалась вокруг собственной оси вдвое быстрее, то скорость наблюдателя составила бы 0.92 км/с, и продолжительность полной фазы солнечного затмения могла бы достичь $270/(1.06 - 0.92) = 1928$ секунд или 32 с лишним минут, то есть в четыре с лишним раза больше! Замечательное было бы зрелище...

14. Вновь представим, как выглядит Земля и лунная тень и полутень при наблюдении с Луны. Обозначим точку Земли, в которой наблюдается данная конфигурация, через А. Раз затмение там наблюдается на горизонте, эта точка должна находиться на краю диска Земли. Диски Солнца и Луны при наблюдении из точки А касаются друг друга, значит точка А должна находиться на краю полутени. И, наконец, раз линия Солнце-Луна при наблюдении из точки А параллельна горизонту, то при наблюдении с Луны параллельно земному горизонту (т.е. касательно к диску Земли) должно быть направление на центр лунной тени и полутени.



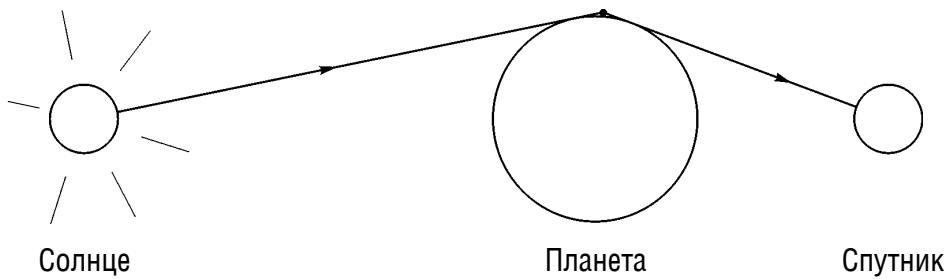
Мы видим, что центр лунной тени не попадает на Землю, а находится на некоторой высоте H , которую можно найти по формуле

$$H = \sqrt{R_E^2 + R_p^2} - R_E.$$

Радиус лунной полутени R_p можно найти по формуле из решения задачи 12, подставив в нее средние значения L и l . Он получается равным 3534 км, а ве-

личина H оказывается равной 913 км, что значительно больше возможного радиуса лунной тени. Следовательно, полное солнечное затмение в этот момент не может быть видно ни в какой точке Земли.

15. Из рисунка видно, что если наблюдатель на поверхности планеты видит одновременно Солнце и спутник, полностью погруженный в тень планеты, это значит, что лучи света от Солнца попадают на спутник! Нереальная ситуация? Нет, ведь благодаря преломлению в атмосфере Земли солнечные лучи попадают на поверхность Луны даже во время полного лунного затмения. Для нас же явление преломления (рефракции) солнечных лучей выражается в “приподнятии” светил над горизонтом, которое и позволяет нам увидеть Солнце и Луну в полной фазе одновременно! На Марсе же этого явления не наблюдается, так как атмосфера там очень разреженная. Поэтому Солнце и Фобос, полностью погруженный в тень Марса, там одновременно видны быть не могут.



Справедливости ради добавим, что хоть Солнце и Луна в полной фазе затмения и могут быть одновременно над горизонтом, слабую красную Луну увидеть на фоне дневного неба вам навряд ли удастся...

16. В условии задачи ничего не сказано о форме орбит и размерах спутников, так что заранее неизвестно, какой из них находится ближе к наблюдателю в той или иной конфигурации. Очевидно, что правый спутник в фазе тонкого серпа должен располагаться на небе неподалеку от центральной звезды и не может быть рядом с полностью освещенным левым спутником. Но правый спутник может находиться в тени другого тела! Заметим, что на всех четырех рисунках терминатор правого спутника проходит через его полюса, но имеет форму дуги окружности, а не полуэллипса!

В этом случае возможными становятся варианты *a)* и *в)*, если предположить, что правый спутник находится в тени планеты. Однако такая ситуация невозможна в конфигурациях *б)* и *г)* — в этом случае тень планеты неминуемо попала бы и на левый спутник. Но в случае *г)* правый спутник может находиться в тени левого! Очевидно, что при этом левый спутник находится не точно противоположно звезде, но он может быть очень близко от точки “противозвезды” на небе, и отличие его фазы от полной будет совершенно незаметным.

А вот конфигурация *б)* невозможна и в этом случае, так как при этом тень от левого спутника имела бы большой угловой диаметр, чем сам спутник. Этого, разумеется, не может быть. Итак, на небе этой планеты два спутника могут находиться в конфигурациях *a)*, *в)* и *г)* и не могут быть в конфигурации *б)*.

17. Напомним определение кольцеобразно-полного солнечного затмения: это затмение, которое вначале в некоторых точках Земли видно как кольцеобразное, затем, уже в других точках, как полное, и наконец — вновь как кольцеобразное. Такое затмение может наступить, если конус лунной тени не дотягивается до центра Земли или (что то же самое) до края Земли при вступлении и сходе с нашей планеты, но дотягивается до поверхности Земли в середине затмения (за счет того, что данная точка будет ближе к Луне, чем центр Земли).

В задаче требуется рассмотреть предельный случай с максимальной шириной полосы и продолжительностью полной фазы. Это будет иметь место, если кольцеобразное затмение будет видно только в точках вступления и схода линии Солнце-Луна на Землю, а в остальных точках центральной линии затмения оно будет полным. Другими словами, это значит, что конус лунной тени будет не дотягиваться на бесконечно малую величину до лимба и центра Земли.

Пусть в середине затмения его наибольшая фаза видна в точке А (рисунок). Затмение будет видно на высоте h над горизонтом. Точка А окажется ближе к Луне, чем центр Земли, на расстоянии $R_E \sin h$, где R_E — радиус Земли. Угол раствора конуса тени γ равен *совпадающим* геоцентрическим угловым диаметрам Солнца и Луны. Ширина конуса в точке А равна $R_0 r \sin h$. Однако из-за эффекта проекции ширина полосы полной фазы будет равна

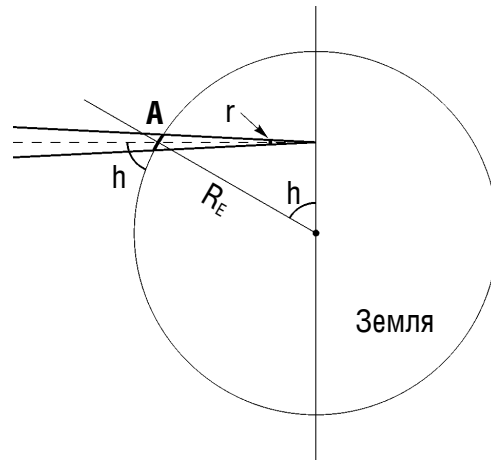
$$D = R_E r \sin h / \sin h = R_E r$$

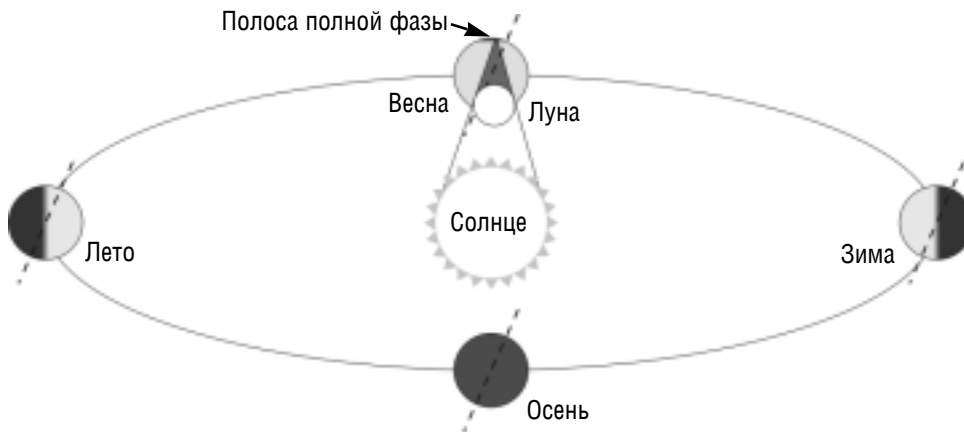
и не будет зависеть от h , то есть не будет зависеть от широты. Максимальное возможное значение γ составляет $32'.6$ или 0.0095 рад, что приводит к значению $D = 60.5$ км.

Продолжительность полной фазы будет самой большой, если затмение видно вблизи экватора, где наибольшими будут ширина конуса тени и линейная скорость вращения Земли, компенсирующая скорость движения тени (с этим эффектом мы уже столкнулись в задаче 13). Считая скорость движения тени равной 1.02 км/с, а скорость движения наблюдателя — 0.46 км/с, получаем максимальную продолжительность $60.5 / (1.02 - 0.46) = 108$ с, или 1 минуту 48 секунд.

Очень близкое к такому предельному случаю кольцеобразно-полное солнечное затмение произойдет 3 ноября 2013 года. Ширина полосы полной фазы в середине затмения составит 57.5 км, а максимальная продолжительность полной фазы — 1 минуту 40 секунд.

18. Вначале отметим, в каком случае могло произойти полное солнечное затмение, всюду видимое низко над горизонтом. Очевидно, что при этом конус лунной тени должен только задеть Землю, не отходя далеко от ее лимба, причем он должен задеть Землю с северной стороны.





Далее рассмотрим орбиту Земли вокруг Солнца на рисунке, где показано положение ее оси вращения во время солнцестояний и равноденствий. Ввиду того, что лунная орбита наклонена к плоскости эклиптики на небольшой угол (около 5°), путь лунной тени по Земле будет также практически параллелен плоскости эклиптики. Из рисунка прекрасно видно, что из четырех положений Земли лишь во время весеннего равноденствия тень, задевая Землю с севера, может все время оставаться у ее лимба левее полуденной линии, то есть там, где Солнце только взошло над горизонтом.

Полный же ответ такой: подобное затмение возможно в течение полугода, между зимним и летним солнцестоянием, максимальная же вероятность его наступления — вблизи весеннего равноденствия.

19. Если предположить, что это затмение было центральным (простой вариант решения), то на его продолжительность будет сказываться расстояние, которое должен пройти диск Луны относительно диска Солнца, и скорость его движения. Расстояние, очевидно, тем больше, чем больше угловые диаметры Солнца и Луны, но гораздо сильнее на картину влияет скорость диска Луны, которая минимальна, когда Луна находится в апогее, т.е. когда ее размер минимален. В этом случае расстояние, которое нужно пройти Луне, уменьшается, но незначительно (на него влияет еще и размер Солнца), а угловая скорость, как можно убедиться из II закона Кеплера, убывает намного сильнее. В результате максимальная продолжительность затмения будет при максимальном угловом размере Солнца и минимальном угловом размере Луны, то есть это затмение



будет *кольцеобразным*. Вращение Земли увеличивает продолжительность любого затмения, не изменяя баланс между продолжительностью полного и кольцеобразного затмения.

Однако если решать задачу более точно, то необходимо учесть, что путь диска Луны относительно диска Солнца в результате вращения Земли вокруг своей оси не будет прямолинейным, и затмение не должно быть центральным. Действительно, самое длительное затмение должно наблюдаться в экваториальной зоне Земли около зимнего солнцестояния, когда диск Солнца имеет максимальные размеры, а скорости движения лунной тени и полутени и вращения поверхности Земли направлены в одну сторону (см. рисунок). Но при этом путь земного наблюдателя не будет прямым, и он увидит *частное*, хотя и очень близкое к кольцеобразному, затмение Солнца.

20. В стихах рассказано о положении на небе планет. “Рогатым созвездьем” может быть Овен, Телец или Козерог. В его центре находятся две планеты. “Богиня вечной красоты” — Венера, “планета-сила” — Юпитер (а не Марс, который, находясь рядом с Венерой, недалеко от Солнца, не светил бы ярче “любой сияющей звезды”). Сатурна в данный момент на небе нет, следовательно “еще два мира” — это Меркурий и Марс, и они находятся в “тринадцатом созвездии” — Змееносце.

Меркурий и Венера — внутренние планеты, не отходящие от Солнца дальше, чем на 28° и на 47° соответственно. Значит, они не могут отстоять более, чем на 75° друг от друга. А так как Меркурий находится в созвездии Змееносца, то Венера не может быть видна в созвездиях Овна или Тельца, отстоящих почти на 180° . Ей остается находиться в центре “рогатого созвездья” — Козерога. Но и в этом случае угловое расстояние между Меркурием и Венерой не менее 45° - 50° , т.е. они находятся по разные стороны от Солнца (или Меркурий будет очень близко к Солнцу), и тем не менее видны “на ясном небе темном”. Солнце, находящееся между Меркурием и Венерой, не может быть глубоко под горизонтом. Остается единственный вариант — полное солнечное затмение, при этом Солнце находится в центре или на западе созвездия Стрельца (не далее 28° от Меркурия), т.е. картина могла наблюдаться во второй половине декабря или в первой половине января только днем во время полного затмения Солнца.