

54 Московская Астрономическая Олимпиада (2000 год)

1 тур

7 класс и моложе

- 4.1. Почему на Луне много кратеров, а на Земле их меньше?
- 4.2. Смогут ли будущие жители Луны наблюдать корону Солнца во время солнечных затмений? При каких еще условиях ее можно будет наблюдать?
- 4.3. Можно ли в июле наблюдать созвездие Орла? Созвездие Ориона?
- 4.4. 8-10 мая 2000 года в соединении с Солнцем вступят сразу три ярких планеты — Меркурий, Юпитер и Сатурн. В каком созвездии они будут в это время находиться? Можно ли их будет наблюдать, и если да, то в какое время суток?
- 4.5. Предположим, что сегодня Луна в фазе первой четверти покрывает звезду Альдебаран (α Тельца). Какой сейчас сезон года?

8 - 9 классы

- 4.6. Если бы Вам представилось выбрать место для новой обсерватории, работающей в оптическом диапазоне, то какие наиболее важные факторы Вы бы учли?
- 4.7. Телу на поверхности Земли сообщили в вертикальном направлении скорость, в точности равную первой космической скорости. Что будет происходить с этим телом? Соппротивлением атмосферы Земли пренебречь.
- 4.8. Среднее расстояние от Луны до Земли равно 384400 км, а от спутника Ио до планеты Юпитер — 421600 км. У какого из спутников период обращения вокруг планеты больше?
- 4.9. Какие значения может принимать фаза нашего естественного спутника в момент покрытия Венеры Луной?
- 4.10. 16 июля 2000 года произойдет полное лунное затмение, при котором Луна, находясь вблизи точки апогея своей орбиты, пройдет практически через центр земной тени. Будет ли близко к теоретически максимальному значение наибольшей фазы затмения? продолжительности полной фазы?

10 - 11 классы

- 4.11. Известно, что орбиты шаровых скоплений имеют большой эксцентриситет и наклонение к плоскости Галактики. Объясните, почему шаровых скоплений наблюдается больше в гало галактик, чем вблизи их ядер?
- 4.12. За какими типами звезд нам нужно следить, если мы желаем увидеть развитие взрыва сверхновой с самого начала?
- 4.13. Одна из компонент двойной системы очень похожа на Солнце, а другая по диаметру в 4 раза больше и имеет температуру поверхности около 12 тысяч градусов. Каковы будут звездные величины этих звезд в отдельности и двойной звезды в целом, если расстояние до них равно 100 пк?
- 4.14. Вычислите падение блеска системы Земля-Луна при наблюдении с поверхности Меркурия при центральном прохождении Луны за и перед диском Земли. Альbedo Земли равно 0.37, альbedo Луны 0.07.
- 4.15. На Земле наблюдается частное солнечное затмение. На какой максимальной высоте Солнца над горизонтом его можно увидеть?

2 тур

7 класс и моложе

- 4.16. Приведите примеры галактик, которые можно увидеть невооруженным глазом с экватора Земли.
- 4.17. Вчера произошло покрытие Венеры Луной. Может ли завтра наступить затмение Солнца? Луны?
- 4.18. Как можно определить географическую широту места по наблюдению Солнца в полдень? Когда вы будете делать это летом в Москве?
- 4.19. Сегодня Сириус взшел в 0 часов, а кульминировал в 6 часов по местному времени. Где вы находитесь? Какой сейчас сезон года?
- 4.20. Если серпик Луны узенький и очень похож на букву "С", то будет ли видна Луна через трое земных суток?

8 - 9 классы

- 4.21. В какое местное (среднее солнечное) время точка осеннего равноденствия находится в верхней кульминации через три недели после дня весеннего равноденствия?

4.22. С какой скоростью и в каком направлении нужно было двигаться по поверхности Земли, чтобы встретить новый 2000 год два раза?

4.23. Представьте себе планету, которая вращается, “лежа на боку” как Уран, и при этом движется по вытянутой орбите, как Меркурий. Ее сутки намного короче года, как у Земли. Ось вращения планеты, лежащая в плоскости ее орбиты, ориентирована так, что в моменты прохождения перигелия и афелия плоскость экватора планеты проходит через Солнце. Опишите, как меняются сезоны года на этой планете.

4.24. 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?

4.25. Вам хорошо известно, что такое на Земле “Полярный круг” и как он связан с сезонным ходом Солнца. Аналогичный “Полярный круг” имеется на земном шаре и для Луны. Найдите широту “Лунного полярного круга” для северного полушария Земли, если наклон плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики составляет $i=5.1^\circ$.

10 - 11 классы

4.26. Куда прибудет земной путешественник, если он будет двигаться на северо-восток, ориентируясь по магнитной стрелке компаса?

4.27. Галактика имеет диаметр $R=30$ кпк и толщину около $d=600$ пк. Если в нашей Галактике вспыхивают 5 сверхновых за 100 лет, то как часто можно ожидать, что взрыв сверхновой произойдет в окрестности нашей Солнечной системы на расстоянии до 100 пк? *Примечание: считать, что плотность населения звезд в Галактике везде одинакова.*

4.28. Два одинаковых спутника массой m соединены тросом длиной l . Спутники вращаются по круговым орбитам вокруг Земли один над другим, т.е. всегда находятся на прямой, проходящей через центр Земли. Расстояние между центром Земли и серединой троса равно r . Найти силу натяжения троса.

4.29. По фотометрическим наблюдениям звезды, имеющим точность 0.005^m , удалось открыть обращающуюся вокруг нее планету. Это удалось сделать, зарегистрировав ее прохождения по диску звезды, приводящие к падению ее блеска на 0.02^m на период в 5 часов. Удастся ли открыть спутник этой планеты, в 3 раза меньший ее по размеру и обращающийся вокруг нее по орбите радиусом в 20 радиусов планеты? Плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью орбиты планеты.

4.30. Что мы можем на Земле видеть чаще — центральные солнечные или теньевые лунные затмения? *Примечание: центральным называется затмение, при котором центры дисков светил в момент наибольшей фазы совпадают.*

54 Московская Астрономическая Олимпиада (2000 год)

1 тур

7 класс и моложе

4.1. Кратеры образуются, в основном, в результате падения метеоритов на поверхность небесного тела. К счастью для нас, жителей Земли, большинство потенциальных метеоритов не долетает до поверхности нашей планеты, сгорая в атмосфере, этот процесс вы все не раз видели как полет метеора. И кратеров на поверхности нашей планеты намного меньше, чем на Луне и других небесных телах, лишенных атмосферы и не защищенных от постоянной метеоритной бомбардировки.

4.2. Самое интересное заключается в том, что солнечное затмение будет далеко не лучшим временем для наблюдения солнечной короны на Луне! Видимый с Луны диск Земли намного больше видимого диска Солнца, и корона может быть видна только в самом начале и самом конце полной фазы затмения. Мало того, эти наблюдения будут крайне затруднены из-за ярко-красного свечения вокруг диска Земли, связанного с атмосферой нашей планеты.

Гораздо проще будет наблюдать корону во время восхода или захода Солнца как за горизонт, так и за любой другой объект, например лунную гору или даже вашу вытянутую руку! Ведь на Луне нет атмосферы, создающей яркое свечение неба вблизи Солнца, и достаточно лишь закрыть яркий диск дневного светила, и корона станет прекрасно видимой на фоне темного неба. Таким образом, поверхность Луны является прекрасным местом для строительства солнечной обсерватории с внеатмосферным коронографом.

4.3. Не торопитесь с ответом. Казалось бы, в июле созвездие Орла находится в противоположной Солнцу стороне неба и видно всю летнюю ночь, а созвездие Ориона, наоборот, вблизи дневного светила и не видно. Это конечно правильно, но только для наших широт. В северных полярных широтах, например, в июле Солнце не заходит за горизонт, и вы вообще не увидите никаких созвездий, если, конечно, не случится полного солнечного затмения. А если вы отправитесь на юг, то вы сможете увидеть и созвездие Орла, и созвездие Ориона, которое станет видно перед восходом Солнца, а в южных умеренных широтах также и вечером.

4.4. В это время все три планеты будут находиться рядом с Солнцем в созвездии Овна, восходить и заходить почти одновременно с ним, находясь над горизонтом только днем. Их можно было бы увидеть разве что во время полного солнечного затмения, но такового в мае 2000 года не случится. Все три планеты видны не будут.

4.5. Звезда Альдебаран находится неподалеку от эклиптики в созвездии Тельца. Солнце проходит эту область неба в конце мая — начале июня. Луна в фазе первой четверти отстоит от Солнца на 90° к востоку и находится в том месте неба, куда Солнце придет через три месяца. Следовательно, сейчас конец февраля — начало марта.

8 - 9 классы

4.6. Самые важные факторы — это большое количество ясных дней, отсутствие засветки неба от близлежащих населенных пунктов и стабильность атмосферы, от которой будет сильно зависеть качество изображения. Ведь очень часто даже при ясной погоде из-за атмосферного дрожания изображения звезд размываются до размеров в несколько угловых секунд. Это сильно ограничивает разрешающую способность инструмента. И еще один фактор нужно принять во внимание. Чем ближе обсерватория будет к экватору, тем большая часть небесной сферы будет доступна наблюдениям. Но, как известно, в экваториальной зоне Земли очень мало ясных дней и очень большая влажность. Поэтому современные обсерватории строятся, в основном, в тропических поясах нашей планеты.

4.7. Даже если бы земная атмосфера не тормозила бы движение этого тела, оно все равно вскоре бы упало на Землю, так как для ухода от земного притяжения необходима вторая космическая скорость. Наше тело вышло бы на эллиптическую орбиту, точка перигея которой находилась бы внутри Земли, что означает последующее неминуемое падение на поверхность нашей планеты. Оно произойдет всего через 1 час 10 минут после запуска (эта величина совпадает с периодом облета Земли близ ее поверхности по круговой траектории). Тело упадет в ту же точку, только если оно было запущено с полюса Земли, во всех остальных случаях точка падения будет смещена от нее в направлении экватора и к западу.

4.8. Луна и Ио обращаются по своим орбитам вокруг центральных тел с существенно разной массой, поэтому для решения задачи нужно воспользоваться III обобщенным законом Кеплера:

$$\frac{a^3}{T^2(M+m)} = const.$$

Из этого закона легко получить, что так как масса Юпитера M в 318 раз массивнее Земли, то период обращения Ио T будет намного меньше периода обращения Луны, хотя радиус орбиты Ио a немного больше (масса спутника m намного меньше массы планеты). Ио завершает оборот вокруг Юпитера за 1.77 суток, а Луне на это требуется 27.32 дня.

4.9. 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 F , 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.

4.10. По мере удаления от Земли пространственный диаметр тени нашей планеты уменьшается, соответственно уменьшается и его отношение к диаметру Луны. Поэтому наибольшую фазу будут иметь центральные лунные затмения, при которых наш спутник близок к точке перигея, а не апогея орбиты, и фаза затмения 16 июля 2000 года будет меньше максимальной. А вот продолжительность полной фазы (1 час 47 минут), напротив, приблизится к своему максимальному значению, так как скорость движения Луны в апогее почти на 15% меньше, чем в перигее, а пространственный размер тени меньше всего на 5%.

10 - 11 классы

4.11. Из второго закона Кеплера следует, что скорость движения небесного тела вблизи самой удаленной от центра притяжения точки орбиты меньше, чем вблизи центра. Поэтому шаровые скопления проводят большую часть времени вдалеке от центра Галактики. А так как их орбиты наклонены к плоскости Галактики на большие углы (это является следствием большого возраста шаровых скоплений), то они при этом оказываются в гало вдали от плоскости Млечного Пути.

4.12. Взрыв Сверхновой — редкое событие, которое может произойти только с массивной звездой в момент окончания ее “жизни” как нормальной звезды. Поэтому следить за конкретными звездами в ожидании их взрыва придется очень и очень долго, и если такую задачу и ставить, то только для сверхмассивных звезд с массами до 100 масс Солнца и выше, так как продолжительность жизни этих звезд самая маленькая.

4.13. Первая звезда по условию задачи похожа на Солнце, и ее абсолютная звездная величина $M_1 = +4.72^m$. Вторая звезда, как следует из закона Стефана-Больцмана, будет светить в

$$\left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4 = 256$$

раз ярче первой, и ее абсолютная звездная величина равна

$$M_2 = 4.72 - 2.5 \lg 256 = -1.30.$$

Абсолютная звездная величина обеих звезд вместе будет фактически равна абсолютной величине второй звезды, так как она значительно ярче первой.

На расстоянии $r=100$ пк видимая величина звезд будет равна

$$m = M - 5 + 5 \lg r = M + 5,$$

то есть составит $+9.72^m$ для первой звезды и $+3.70^m$ для второй звезды и для обеих звезд вместе.

4.14. Очевидно, что при наблюдении с Меркурия Земля и Луна будут иметь одинаковую и практически полную фазу, а отношение их угловых диаметров будет равно

$$K = \frac{R_E}{R_L} = 3.67.$$

Здесь R_E и R_L — радиусы Земли и Луны соответственно. Отношение яркостей Земли и Луны составит

$$\frac{AK^2}{a} = 71.2.$$

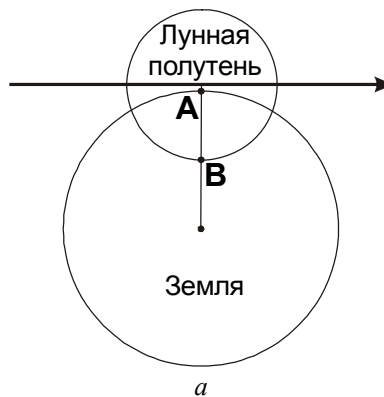
Здесь A и a — альbedo Земли и Луны соответственно. Из этого мы получаем, что падение блеска при прохождении Луны за диском Земли будет равно

$$\Delta m_1 = 2.5 \lg \frac{AK^2 + a}{AK^2} = 0.015.$$

Если мы предположим, что диск Земли светит равномерно, то падение его блеска при прохождении Луны перед ним можно оценить как

$$\Delta m_2 = 2.5 \lg \frac{AK^2 + a}{A(K^2 - 1) + a} = 0.083.$$

4.15. 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 на рисунке a).



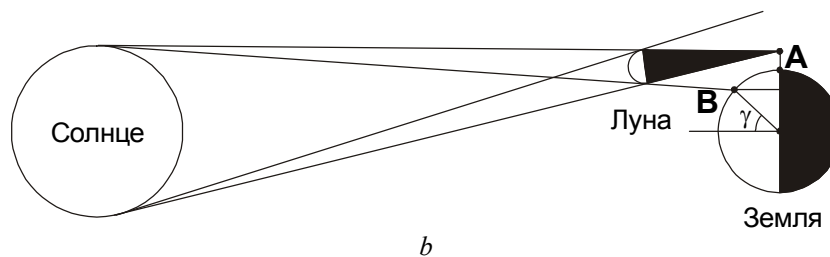
Для начала определим радиус лунной полутени R_p . Если обозначить расстояния от Земли до Солнца и Луны как L и l , а радиусы Солнца и Луны как R и r соответственно, то из геометрической схемы образования полутени можно получить

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

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 $D = R_p - R_U$, не превышающую 3485 км.



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

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

2 тур

7 класс и моложе

4.16. С экватора Земли при правильном выборе времени можно наблюдать любую точку небесной сферы. Поэтому задача сводится к перечислению всех галактик, видимых невооруженным глазом с Земли. Это прежде всего Большое и Малое Магеллановы облака, а также Туманность Андромеды (М31). Однако, на этом список не исчерпывается. Как сообщается в журнале “Звездочет” за 1997 год (№10), невооруженным глазом при особо благоприятных условиях наблюдались Туманность Треугольника (М33), галактики М81 (Большая Медведица) и М83 (Гидра). И, наконец, не стоит забывать и про нашу Галактику, которую мы тоже видим, правда изнутри, как Млечный Путь, проходящий через все небо.

4.17. 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.

4.18. Высота Солнца во время верхней кульминации в северных умеренных широтах равна

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta,$$

где φ — географическая широта места наблюдения, а δ — склонение Солнца, которое приводится в “Астрономическом Календаре” на каждые сутки. Измерив высоту Солнца в истинный солнечный полдень, мы по данной формуле можем определить широту места. Однако при этом нужно знать время истинного солнечного полудня, который отличается от полудня по вашим часам и наступает в

$$T_0 = 12^h + N - \lambda + \eta,$$

где N — разница между декретным и всемирным временем, λ — долгота места, выраженная в часах, и η — уравнение времени. В Москве ($\lambda=2^h31^m$) в летний период $N=4$, и истинный солнечный полдень наступает в $13^h29^m + \eta$. Значение уравнения времени можно также взять в “Астрономическом календаре”, хотя летом оно не превышает $\pm 6^m$.

4.19. Очевидно, что через 6 часов после восхода может произойти только верхняя, а не нижняя кульминация светила. Заход Сириуса произойдет еще через 6 часов, то есть в 12 часов по местному времени. Склонение Сириуса составляет около -17° , и ровно 12 часов он может находиться над горизонтом только на экваторе. Для определения сезона наблюдения вспомним, что Сириус кульминирует в местную полночь 2 января, значит кульминировать в 6 часов он будет на 3 месяца раньше, то есть в начале октября (точный ответ — 3 октября).

4.20. Если вы видите такой серпик Луны в северном полушарии Земли, значит Луна сейчас “старая”, и через несколько дней произойдет новолуние. В этом случае наш естественный спутник, скорее всего, будет, но не будет. Однако во время новолуния может произойти солнечное затмение, и тогда диск Луны будет виден на

диске Солнца. Кроме этого, если вы сейчас видите очень тонкий серп Луны менее чем за два дня до новолуния, то через три дня у вас уже появится шанс увидеть узкий серп “молодой” Луны.

Если же вы увидели такой серп Луны в южном полушарии Земли, то это “молодая” Луна, и через три дня серп станет толще и будет еще лучше виден на вечернем небе.

8 - 9 классы

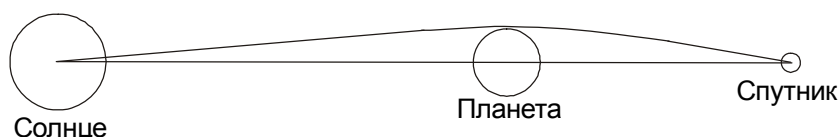
4.21. В день весеннего равноденствия точка осеннего равноденствия совпадает с противосолнечной точкой неба и кульминирует в 0^h по местному времени (с точностью до уравнения времени). С каждым днем ее кульминация будет происходить на 3^m56^s раньше, и через 21 день местное время кульминации точки осеннего равноденствия составит 22^h37^m . Уравнение времени в эти дни (около 10 апреля) близко к нулю, и его учет не изменит ответ задачи.

4.22. Самое интересное, что для этого вообще не нужно куда-то спешить, пытаюсь нагнать вращение Земли вокруг собственной оси! Встретить новый 2000 год два и даже большее количество раз можно было, практически стоя на месте! Для этого было бы достаточно заранее приехать к границе любых двух часовых поясов. Встретив Новый год в одном шаге к востоку от этой границы, вы можете спокойно сделать этот шаг на запад, вернуться в 1999 год и через час вновь поздравить себя с праздником. А еще можно в течение этого часа ходить через границу часовых поясов туда-сюда сколько угодно раз, при этом все время переходя из одного года в другой.

4.23. На этой планете была бы очень резкая смена сезонов года, при этом она проходила бы по-разному в разных полушариях планеты. Будем для определенности считать, что прохождение перигелия планеты совпадает с весенним равноденствием для ее северного полушария. Тогда весна в этом полушарии была бы особенно ранней и теплой, очень быстро переходящей в лето. Пик жары пришелся бы на первую половину лета, и уже к осеннему равноденствию наступили бы холода, астрономическая осень началась бы почти одновременно с природной зимой.

В южном полушарии, напротив, и весна и осень не были бы столь резкими. Весной погода большее время оставалась бы прохладной, а лето задержалось бы до осеннего равноденствия.

4.24. 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, увидеть слабую красную Луну у самого горизонта на фоне дневного неба вам навряд ли удастся...

4.25. В отличие от “солнечного” полярного круга, “лунный” полярный круг не будет сохранять постоянное положение на поверхности Земли. Ведь лунная орбита наподобие детской юлы прецессирует в пространстве, и максимальное угловое расстояние Луны от небесного экватора изменяется 18.4° до 28.6° с периодом 18.6 лет. Соответственно, широта лунного полярного круга будет изменяться от 71.6° до 61.4° с тем же периодом.

Нельзя забывать также о том, что широта полярного круга для незаходящей и невосходящей Луны будет различаться из-за явления параллакса, уменьшающего видимую высоту Луны у горизонта. По абсолютной величине этот эффект больше, чем атмосферная рефракция, которая наоборот “приподнимает” все светила, в том числе и Луну.

10 - 11 классы

4.26. Двигаясь по спирали, этот путешественник прибудет в южный магнитный полюс Земли, находящийся, как известно, в северных полярных широтах нашей планеты. Именно на южный магнитный полюс указывает северная стрелка компаса.

4.27. Вначале отметим, что шар с радиусом $r=100$ пк и центром в Солнце целиком находится внутри Галактики, так как его радиус значительно меньше полутолщины Галактики, а Солнце находится неподалеку от ее плоскости. Темп вспышек сверхновых во всей Галактике составляет $N=0.05$ шт/год. Для определения темпа вспышек сверхновых в окрестности Солнца умножим эту величину на отношение объемов окрестности и всей Галактики

$$n = N \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{\pi R^2 d}.$$

Темп вспышек сверхновых в окрестностях Солнца получается равным $1.27 \cdot 10^{-7}$ шт/год, то есть сверхновая вспыхивает там в среднем 1 раз за 8.1 миллионов лет.

4.28. Будем считать, что длина троса l много меньше расстояния от его середины до центра Земли r . Запишем уравнения кругового движения обоих спутников:

$$\begin{aligned} \frac{GMm}{(r + l/2)^2} + T &= m\omega^2(r + l/2); \\ \frac{GMm}{(r - l/2)^2} - T &= m\omega^2(r - l/2). \end{aligned}$$

Здесь M — масса Земли, T — сила натяжения троса, ω — угловая скорость вращения спутников вокруг Земли. Складывая эти два уравнения, с учетом $l \ll r$ получаем

$$\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r,$$

откуда

$$\omega^2 = \frac{GM}{r^3}.$$

Если же мы вычтем второе уравнение из первого, то получим

$$2T - \frac{2GMml}{r^3} = m\omega^2 l.$$

Из последних двух формул можно получить выражение для силы натяжения троса:

$$T = \frac{3GMml}{2r^3}.$$

4.29. Площадь видимого диска спутника будет в 9 раз меньше площади видимого диска планеты. Поэтому прохождения спутника планеты по диску звезды вызовут падение ее блеска в 9 раз слабее, чем при прохождении самой планеты, то есть всего на 0.0022^m , и их не удастся зарегистрировать. Однако с помощью тех же наблюдений удастся обнаружить другой эффект, связанный с движением планеты вокруг центра масс системы “планета-спутник”. Действительно, если предположить, что средняя плотность спутника равна средней плотности планеты, то масса спутника составит $1/27$ массы планеты, и радиус орбиты планеты вокруг общего со спутником центра масс будет в 27 раз меньше радиуса орбиты спутника и составит 0.74 от радиуса планеты. В результате будет нарушаться строгая периодичность наблюдаемых прохождений планеты по диску звезды, что будет обнаружено на основе анализа кривых блеска звезды. Таким образом, спутник планеты будет обнаружен.

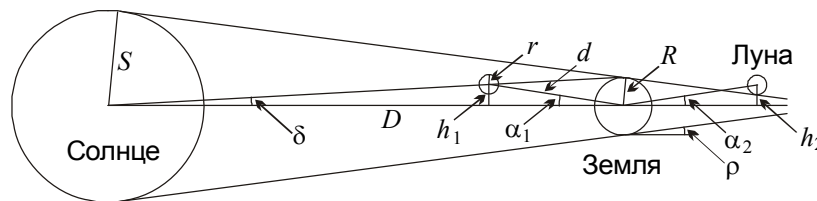
4.30. На рисунке показаны предельные положения Луны в новолуние для наступления центрального солнечного затмения и в полнолуние для наступления теневого лунного затмения. Учитывая, что все углы, θ

которых далее пойдет речь, достаточно малы (порядка видимого радиуса Солнца и Луны), мы можем приравнять их синусы и тангенсы к значению самих углов, а косинусы считать равными 1 (ошибка не превышает 0.01%). Из рисунка видно, что центральное солнечное затмение наступит, если расстояние Луны от плоскости эклиптики (линии, соединяющей центры Солнца и Земли на рисунке) не превысит

$$h_1 = \delta(D-d) = \frac{R(D-d)}{D}.$$

Здесь R — полярный радиус Земли (6356.8 км), D и d — расстояния от Земли до Солнца и Луны, δ — параллакс Солнца, равный R/D . Соответственно, угловое расстояние Луны от плоскости эклиптики α_1 не превысит значения

$$\alpha_1 = \frac{h_1}{d} = \frac{R(D-d)}{Dd} = 0.01649 = 56.70'.$$



Для расчета возможности наступления теневого лунного затмения учтем, что конус земной тени сходится под углом ρ , равным

$$\rho = \frac{S-R}{D},$$

где S — радиус Солнца. Лунное затмение произойдет при расстоянии Луны от плоскости эклиптики, не превышающем

$$h_2 = R+r-\rho d = R+r-\frac{(S-R)d}{D},$$

где r — радиус Луны. Угловое расстояние Луны от эклиптики не должно превышать

$$\alpha_2 = \frac{h_2}{d} = \frac{(R+r)D-(S-R)d}{Dd} = 0.01646 = 56.57'.$$

Получается, что диапазон углов отклонения Луны от эклиптики для центральных солнечных затмений всего на 0.2% шире, чем для тневых лунных затмений, и ровно настолько центральных солнечных затмений должно быть больше. Однако, если учесть, что в современных справочниках размер земной тени считается равным 1.02 от ее геометрического значения (чтобы учесть эффекты поглощения света в атмосфере Земли), получается, что тневых лунных затмений должно наблюдаться примерно на 1.8% больше, чем центральных солнечных. При этом, если рассматривать конечные промежутки времени, то и это правило может нарушаться. Так, в XXI веке произойдут 144 центральных солнечных и 143 тневых лунных затмения.