

Часть 2. 58 Московская Астрономическая Олимпиада (2004 год)

I ТУР

7 класс и моложе

- 2.1. В 2004 году произойдет астрономическое явление: прохождение Венеры по диску Солнца. С какой стороны солнечного диска появится Венера? Можно ли будет увидеть ее невооруженным глазом?
- 2.2. Две разные звезды одновременно взошли и одновременно зашли за горизонт. Где на Земле находится наблюдатель?
- 2.3. После захода Солнца над восточным горизонтом появилась яркое звездообразное светило. Что это может быть?
- 2.4. Как-то раз школьник рассказал своему другу, что во время полного солнечного затмения он видел на потемневшем небе несколько ярких звезд, Венеру, Юпитер и серп Луны, на котором прекрасно были видны даже крупные кратеры. Как вы думаете, не обманывал ли школьник своего друга?

8-9 классы

- 2.5. На весенние каникулы московский школьник Ваня решил съездить в Петербург. Хорошо побывать в этом прекрасном городе, полюбоваться его видами. Спустившись к Неве около Петропавловской крепости, Ваня прогуливался вдоль крепостной стены. Кое-где Нева еще была покрыта тонким льдом, а на земле еще лежал мартовский снег. Но тут Ваня увидел любопытное зрелище – вдоль стены стояло множество людей в купальниках и плавках, загорающих на солнце! Этим людям совершенно не было холодно, им было очень тепло и приятно, несмотря на то, что под ногами лежал снег, стена была очень теплой. А вот сидеть было очень холодно. Объясните, почему.
- 2.6. В желтых лучах звезды **A** и **B** светят одинаково, а в красных лучах звезда **B** на 0.1^m ярче, чем звезда **A**. Какая из звезд горячее?
- 2.7. Сколько времени проходит от восхода до захода Луны на экваторе? Рефракцией и параллаксом пренебречь.
- 2.8. Как известно, Солнце движется вокруг центра Галактики со скоростью около 250 км/с, и в настоящий момент это движение происходит в направлении созвездия Цефея. Почему же во многих книгах написано, что апекс движения Солнца находится в созвездии Геркулеса?

10-11 классы

- 2.9. 8 июня 2004 года произойдет прохождение Венеры по диску Солнца. Насколько могут отличаться моменты первого контакта дисков Солнца и Венеры при наблюдении из разных областей Земли?
- 2.10. Как известно, самый короткий день в северном полушарии приходится на 22 декабря. Однако позже всего восход Солнца на широте Москвы происходит вблизи Нового Года. В чем причина кажущегося несоответствия? Как будет изменяться дата самого позднего восхода Солнца при движении на север и на юг?

2.11. Во время полнолуния мощная пушка, установленная на Луне, наводится на центр диска Земли и выпускает снаряд, летящий со скоростью 80 км/с. Достигнет ли снаряд поверхности Земли?

2.12. В далекой галактике вспыхнула сверхновая звезда. Ее блеск в максимуме составил 22^m . Линия водорода H β , наблюдавшаяся в ее спектре, совместилась с линией H α лабораторного водородного стандарта. Какой блеск имела бы эта сверхновая, находясь она вблизи центра нашей Галактики, на расстоянии 8 кпк от Солнца? Лабораторные длины волн линий H α и H β равны 6563 и 4861 ангстрем, постоянная Хаббла равна 65 км/(с·Мпк). Межзвездным и межгалактическим поглощением пренебречь.

II ТУР

7 класс и моложе

2.13. Вернувшись из долгого путешествия, юный натуралист рассказал своим друзьям очень много интересных и удивительных историй. Но друзья, никогда не выезжавшие за пределы родной страны, не поверили в некоторые из его историй. А поверите ли в них Вы?

1) "...Есть город, в котором день равен ночи круглый год, а иногда в полдень стоящие на земле предметы не отбрасывают теней!..."

2) "...А в одной из стран Солнце в течение дня находится все время в северной части неба..."

3) "...А еще я был в стране, где у серпа Луны ночью рога всегда направлены вверх..."

2.14. Венера вступила в тесное соединение с Марсом. У какой из двух планет видимый диаметр в это время больше?

2.15. Метеоры какого из двух октябрьских метеорных потоков – Драконид или Орионид – более быстрые и почему?

2.16. Во время противостояния внешней планеты она была хорошо видна в течение ночи прямо в гуще Млечного Пути. В какой сезон года произошло противостояние планеты, и в каком созвездии она наблюдалась?

2.17. Два покрытия Марса Луной произошли с интервалом в 26.5 дней. Какой (примерно) была фаза Луны во время этих покрытий?

8-9 классы

2.18. Две звезды имеют координаты $\alpha = 18^h$, $\delta = +5^\circ$ и $\alpha = 6^h$, $\delta = +35^\circ$. Можно ли наблюдать первую и вторую звезду на ночном небе на Северном полярном круге на востоке? на юге? на западе? на севере?

2.19. Звезда Вега имеет собственное движение 0.35" в год, параллакс 0.129" и лучевую скорость –14 км/с. Через сколько лет Вега окажется к нам вдвое ближе, чем сейчас?

2.20. Жители далекой планеты терпят бедствие. Космический спасательный корабль с контейнером с медикаментами и продовольствием обращается вокруг этой планеты по круговой орбите. В некоторый момент контейнер массой 1 тонна отстреливается от корабля так, что после этого он падает по вертикали на поверхность планеты, раскрывая специальный парашют перед посадкой, а сам корабль улетает от планеты по параболической орбите. Определите массу корабля.

2.21. Астероид обращается вокруг Солнца по круговой орбите, лежащей в плоскости эклиптики. По удивительному совпадению в каждое противостояние Марса этот астероид тоже оказывается в противостоянии с Солнцем. Чему равен радиус его орбиты? Орбиты Земли и Марса считать круговыми.

2.22. «Предположим, сегодня произойдет полное лунное затмение с большой фазой, во время которого Луна пройдет через центр земной тени. За считанные секунды до начала частного теневого затмения произойдет покрытие Луной некоторой звезды. Покрытие будет также центральным, то есть через какое-то время звезда пройдет за центром видимого диска Луны. Очевидно, что покрытие звезды произойдет у восточного лимба Луны, который в это же время ближе всего подойдет к западному краю земной тени. Земная тень на небесной сфере представляет собой диск, размеры которого в течение затмения практически не изменяются, а центр находится в точке, противоположной Солнцу, и медленно движется относительно звезд с запада на восток. Следовательно, в течение покрытия западный край земной тени будет постепенно удаляться от звезды, и ее выход из-за диска Луны в нашем наблюдательном пункте произойдет до начала полного затмения и будет наблюдаться у того края диска Луны, который еще не погрузится в тень Земли».

Справедлив ли вывод автора, и если нет, то где кроется ошибка в его рассуждениях?

10-11 классы

2.23а. (для 10 класса) В день весеннего равноденствия на Земле наблюдается солнечное затмение. Для наблюдателя, находящегося на экваторе, оно начинается на восходе Солнца, а диск Луны вступает на солнечный диск точно сверху. Каким будет затмение в данной точке Земли? В каком полушарии Земли фаза солнечного затмения будет наибольшей?

2.23б. (для 11 класса) Частное солнечное затмение наступает в день весеннего равноденствия и видно в северном полушарии Земли. На какой широте и в какое время суток будет видна его наибольшая фаза, если затмение происходит вблизи нисходящего узла лунной орбиты? вблизи восходящего узла лунной орбиты?

2.24. Во время периода вечерней видимости планета Венера дважды вступила в соединение с Марсом. Могла ли Венера оказаться в точке наибольшей восточной элонгации:

- а) до первого соединения с Марсом?
- б) между двумя соединениями с Марсом?
- в) после второго соединения с Марсом?

2.25. Малая планета обращается вокруг Солнца по круговой орбите. Хотя плоскость этой орбиты совпадает с плоскостью эклиптики, на Земле никогда не наблюдаются покрытия данной планеты Луной. Определить радиус орбиты малой планеты.

2.26. Затменная переменная звезда большую часть времени имеет блеск 4.6^m , однако каждые 45.5 дней ее блеск ослабевает до 4.7^m . Параллакс звезды составляет $0.01''$. Спектральные измерения лучевых скоростей показали наличие двух компонент с амплитудами ± 15 км/с у более яркой и ± 105 км/с у более слабой компоненты, период их изменения был равен периоду колебаний блеска. Дальнейшие исследования показали, что яркая компонента является звездой-гигантом, вещество которого перетекает на спутник – белый карлик, образуя вокруг него аккреционный диск. Оцените темп аккреции вещества гиганта на белый карлик (в массах Солнца в год), считая орбиты звезд круговыми и принимая радиус белого карлика равным радиусу Земли.

2.27. Экспедиция межзвездного корабля прибыла на планету, обращающуюся вокруг далекой звезды по круговой орбите, и высадилась на ее северное полушарие (60° с.ш.). Хотя температурные условия на поверхности планеты были очень похожи на земные, наблюдавшаяся в

пункте посадки картина поразила даже весьма опытных путешественников. Центральное светило заходило каждый раз точно на западе, причем ровно через 16.14 земных суток после предыдущего захода, а вот восходило попеременно на севере и на юге! Оцените наклон экватора планеты к плоскости орбиты, а также определите ее расстояние от звезды, период обращения и массу самой звезды, если известно, что данная звезда относится к главной последовательности, и для таких звезд светимость пропорциональна третьей степени массы.

Часть 2. 58 Московская Астрономическая Олимпиада (2004 год)

I ТУР

7 класс и моложе

2.1. Прохождения Венеры по диску Солнца происходят вблизи нижнего соединения Венеры. В это время она движется на небе относительно звезд попятно, с востока на запад, навстречу Солнцу. Поэтому прохождение Венеры по диску Солнца начинается у восточного края солнечного диска, то есть слева, если вести наблюдения из северного полушария Земли. Во время прохождения угловой диаметр Венеры составляет около $1'$, и зоркие люди смогут увидеть ее на солнечном диске при использовании темного светофильтра.

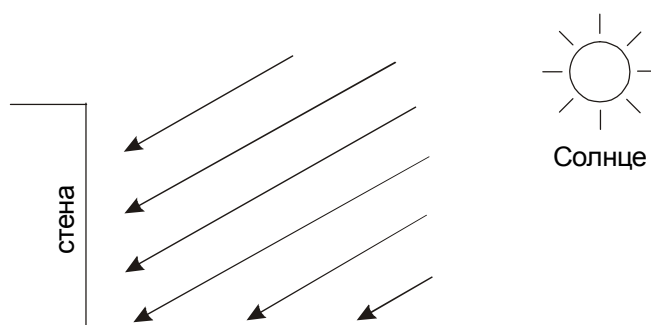
2.2. Для любых широт Земли (кроме полюсов, где звезды не восходят и не заходят) две разные звезды, одновременно восходящие в разных (даже близких) точках горизонта, имеют разное склонение. На любых широтах, кроме экватора, это будет означать разный промежуток времени от восхода до захода. И лишь на экваторе все звезды заходят ровно через 12 часов после восхода (если не учитывать рефракцию). Поэтому наблюдатель находится на экваторе.

2.3. «Ярким звездообразным светилом» может быть какая-либо из планет, превосходящая в блеске звезды. Однако, раз светило находилось над восточным горизонтом, планета может быть только внешней. Из внешних планет ярче всех звезд ночного неба может быть только Марс (вблизи противостояния) или Юпитер.

2.4. Школьник обманывал своего друга. Диск Луны во время полного солнечного затмения находится на диске Солнца, вызывая само затмение, и не может быть виден в стороне в виде серпа.

8-9 классы

2.5. В Петербурге в марте Солнце в полдень поднимается на высоту около 30° над горизонтом. Стена Петропавловской крепости у берега Невы обращена практически точно на юг, и днем солнечные лучи падают на нее под углом 60° , хорошо нагревая стену и соприкасающийся с ней воздух. Поэтому стоять у стены достаточно тепло. А вот сидеть было холодно, так как горизонтальные поверхности освещались Солнцем значительно слабее, а у земли вообще лежал снег.



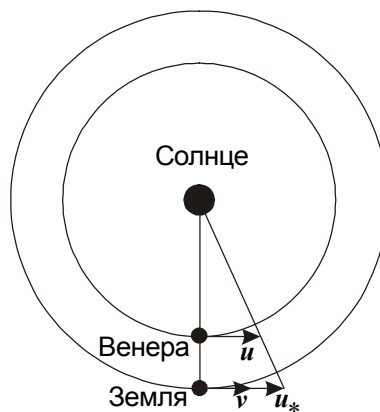
2.6. Как известно, чем горячее звезда, тем в более коротковолновую область спектра попадает максимум ее излучения. В нашем случае в спектре звезды **В** преобладает длинноволновое (красное) излучение, и если на пути от Земли к этим звездам нет большого количества межзвездной пыли, поглощающей свет звезд и меняющей его цвет, то звезда **А** горячее звезды **В**.

2.7. Если пренебречь параллаксом Луны и атмосферной рефракцией, то ее восход и заход на экваторе происходят при часовом угле $\pm 6\text{ч}$ независимо от склонения. За 29.53 солнечных суток (синодический период Луны) завершается один оборот Луны по небу относительно Солнца, и тем самым проходит только 28.53 «лунных суток». Тем самым, продолжительность лунных суток составляет 24ч50м, а между восходом и заходом проходит половина этого периода – 12ч25м.

2.8. В движении вокруг центра Галактики участвуют как Солнце, так и все окрестные звезды, однако величины и направления их скоростей немного отличаются. Апекс в созвездии Геркулеса есть направление скорости Солнца относительно группы ближайших звезд, также обращающихся вокруг центра Галактики. Величина этой скорости составляет около 20 км/с.

10-11 классы

2.9. Венера движется по орбите со скоростью $u = 35.0$ км/с. Земля находится в 1.38 раз дальше от Солнца, чем Венера, и полутень Венеры на расстоянии Земли будет двигаться со скоростью $u_* = 48.4$ км/с. Но Земля сама движется по орбите в том же направлении со скоростью $v = 29.8$ км/с, и скорость полутени относительно Земли составит $u_* - v = 18.6$ км/с. Если прохождение Венеры по диску Солнца центральное, и край полутени будет двигаться по Земле вдоль своей нормали, то он пересечет Землю с экваториальным диаметром 12756 км за 686 секунд или за 11 минут 26 секунд. Именно настолько могут отличаться моменты контактов Венеры и Солнца в разных точках Земли. В 2004 году прохождение не будет центральным, поэтому эта разница будет несколько больше.

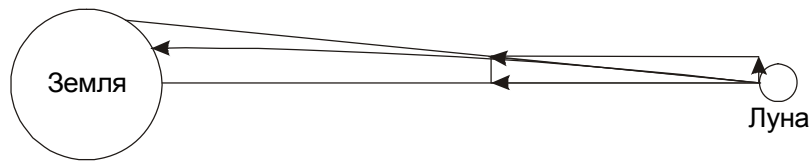


2.10. По причине эллиптичности орбиты Земли и наклона ее экватора к эклиптике промежуток между двумя последующими верхними кульминациями Солнца не остается постоянным. Истинный солнечный полдень наступает в $12\text{ч} + \eta$ по местному времени, где величина η называется уравнением времени. В конце декабря и начале января, вблизи зимнего солнцестояния и прохождения Земли точки перигелия орбиты, угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца превосходит среднюю за год, к тому же, прямое восхождение Солнца быстрее возрастает из-за его движения вдали от небесного экватора. В результате, промежуток между двумя полуднями примерно на полминуты превосходит 24 часа, и уравнение времени быстро увеличивается, из-за чего каждый день и восход, и заход Солнца происходят чуть позже, чем в предыдущий день.

Этот эффект особенно заметен в тропических широтах, где изменение склонения меньше влияет на время восхода и захода Солнца. Там дата самого позднего восхода Солнца смещается на еще более поздние даты января, а вблизи экватора – даже на февраль – эпоху максимума величины η . Вблизи Полярного Круга, где Солнце лишь ненадолго показывается над горизонтом, резкие изменения долготы дня приводят к тому, что дата самого позднего восхода Солнца приближается ко дню зимнего солнцестояния – 22 декабря.

2.11. Снаряд запускался с поверхности Луны, которая сама движется относительно Земли по орбите со скоростью 1 км/с. В результате, снаряд вылетит не в направлении центра Земли, а под углом около 0.7° к этому направлению. Но этот угол меньше, чем угловой радиус Земли,

наблюдаемой с Луны (около 1°). Гравитационное влияние Земли и Солнца превратит траекторию снаряда из прямой в гиперболу, что еще приблизит траекторию к центру Земли. Снаряд попадет на поверхность Земли, если, конечно, не сгорит в ее атмосфере. Движение Земли по орбите со скоростью около 30 км/с никак не повлияет на результат, так как в этом движении участвует вся система Земля-Луна, в том числе и снаряд.



2.12. По данным длинам волн можно вычислить величину красного смещения галактики:

$$z = \frac{\lambda(H_\alpha)}{\lambda(H_\beta)} - 1 = 0.35.$$

При таких значениях z для лучшей точности нужно воспользоваться релятивистской формулой для красного смещения. Расстояние до галактики можно вычислить по закону Хаббла:

$$R = \frac{c}{H} \frac{z^2 + 2z}{z^2 + 2z + 2}.$$

Подставляя численные значения, получаем $1.34 \cdot 10^9$ пк (здесь c – скорость света, H – постоянная Хаббла).

Блеск сверхновой m с такого расстояния составлял 22^m , следовательно, в центре нашей Галактики, с расстояния $r = 8000$ пк ее блеск m_1 был бы равен

$$m_1 = m + 5 (\lg r - \lg R) = -4.1,$$

и сверхновая выглядела бы как Венера на земном небе.

II ТУР

7 класс и моложе

2.13. Утверждение 1 справедливо на экваторе Земли, если не принимать во внимание атмосферную рефракцию. В этом случае долгота дня будет всегда равна 12 часам, а дважды в год, в дни равноденствий, Солнце будет проходить через зенит, и вертикальные предметы не будут отбрасывать тени. Там же, на экваторе, справедливо и утверждение 3, правда с некоторой натяжкой, так как направление рогов серпа Луны может отклоняться от вертикального на угол до 18.3° в период «низкой Луны» и 28.6° в период «высокой Луны». А вот утверждение 2 не может быть верно нигде, разве что кроме Южного Полюса, где все направления – на север. В период с 23 сентября до 21 марта Солнце восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе во всех районах Земли, где оно только появляется над горизонтом.

2.14. Во время соединения Венера находится к нам ближе, чем Марс, вне зависимости от своей конфигурации. Диаметр Венеры больше диаметра Марса, следовательно, ее угловые размеры были также больше.

2.15. Созвездие Дракона, по направлению из которого вылетают метеоры Драконид, находится в районе полюса эклиптики. Эти метеоры будут лететь к Земле с севера почти перпендикулярно к направлению движения Земли, и их скорость относительно Земли будет практически такой же (на

самом деле, чуть меньшей), чем их скорость относительно Солнца. Созвездие Ориона в октябре располагается в направлении движения Земли, и метеоры Орионид будут лететь навстречу Земле, что сильно увеличит их относительную скорость. Метеоры Орионид – одни из самых быстрых, наблюдаемых на Земле.

2.16. Планеты на небе располагаются вблизи эклиптики. Эклиптика пересекается с Млечным Путем в созвездии Стрельца и на границе созвездий Тельца и Близнецов. В этих районах неба и могла располагаться планета. Ее противостояние в этих случаях наступает, соответственно, в июне или в декабре, то есть вблизи летнего или зимнего солнцестояния.

2.17. Интервал между покрытиями в условии задачи меньше звездного периода обращения Луны (27.3 дня). Следовательно, Марс в это время двигался на небе относительно звезд навстречу Луне, с востока на запад. Это могло быть только вблизи противостояния Марса, следовательно, фаза Луны была близка к полной.

8-9 классы

2.18. Обе звезды имеют северное склонение, меньшее широты Полярного круга, а вторая из них является вообще незаходящей за горизонт на Северном Полярном круге. Поэтому первая из звезд может находиться на востоке, юге и западе, а вторая – во всех четырех направлениях. Но вспомним, что когда звездное время равно 18 часам, Солнце на Северном Полярном круге оказывается на горизонте независимо от времени года. В этот момент небо всегда будет светлым, и в этот же момент первая звезда оказывается на юге, а вторая – на севере. В итоге, первая звезда может наблюдаться на ночном небе только на востоке и западе, а вторая – на востоке, юге и западе.

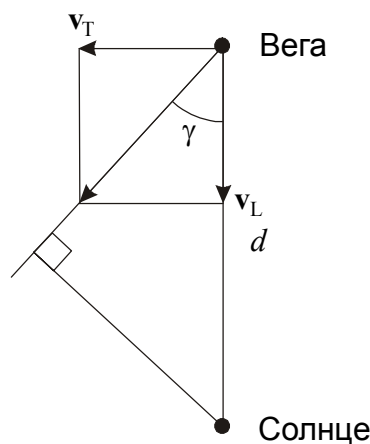
2.19. По данным условия задачи, расстояние до Веги в настоящий момент составляет

$$d = 1 / \pi = 7.76 \text{ пк},$$

а ее тангенциальная скорость равна

$$v_T = \alpha d = \alpha / \pi = 2.71 \text{ а.е./год} = 12.9 \text{ км/с}.$$

Здесь годичный параллакс и собственное движение обозначены соответственно как π и α .



Лучевая скорость равна -14 км/с , значит, Вега приближается к Солнцу, двигаясь под углом

$$\gamma = \arctg \left| \frac{v_T}{v_L} \right| = 42.7^\circ$$

относительно направления на Солнце. Из этого можно сделать вывод, что Вега никогда не приблизится к нам на расстояние $d/2$. Ее минимальное расстояние до Солнца составит

$$d \sin \gamma = 5.26 \text{ пк},$$

и это случится через время

$$\Delta t = \frac{d \cos \gamma}{\sqrt{v_L^2 + v_T^2}},$$

что составляет около 290 тысяч лет.

2.20. До отстрела контейнера скорость корабля вместе с контейнером была равна первой космической скорости v_1 , соответствующей данному расстоянию от планеты. Для того, чтобы контейнер с массой m упал по вертикали на поверхность планеты, его скорость после отстрела должна быть равна нулю. При этом скорость космического аппарата с массой M становится равной второй космической скорости $v_2 = v_1 \cdot \sqrt{2}$. По закону сохранения импульса получаем:

$$(M + m)v_1 = M v_1 \sqrt{2}.$$

Из этого уравнения вытекает, что масса корабля составляет

$$M = \frac{m}{\sqrt{2} - 1} = m(\sqrt{2} + 1),$$

то есть 2.414 тонны.

2.21. В задаче сразу же напрашивается тривиальное решение – радиус орбиты астероида равен радиусу орбиты Марса. Однако такое решение не может реализоваться практически, так как в этом случае астероид и Марс окажутся в одной точке пространства. Найдем другие решения.

Синодический период внешней планеты S (а нас интересуют только такие, раз речь идет о противостоянии) связан с периодом обращения этой планеты и Земли T и T_0 соотношением

$$S = \frac{T_0 T}{T - T_0}.$$

Однако нужно сразу оговорить, что эта формула справедлива для планеты или астероида, обращающегося вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля. Марс этому условию удовлетворяет, обозначения T и S будут далее относиться к нему. Для выполнения условия задачи синодический период астероида S_* не обязательно должен быть равен синодическому периоду Марса S , но может быть меньше в целое число раз:

$$S_* = S/n.$$

Период обращения астероида вокруг Солнца будет равен

$$T_* = \frac{T_0 S_*}{S_* - T_0} = \frac{T_0 T}{T - n(T - T_0)}.$$

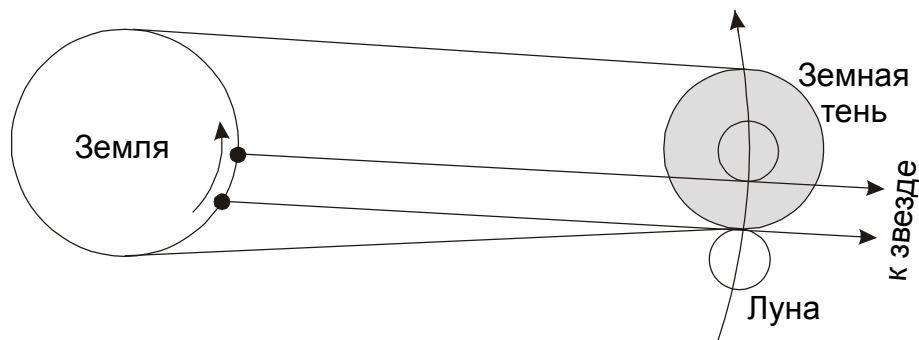
Случай $n=1$ соответствует упомянутому выше тривиальному решению, а при $n=2$ мы получаем период обращения астероида 15.8 лет. По III закону Кеплера радиус его орбиты оказывается равным 6.3 а.е. Решения с $n > 3$ приводят к отрицательным значениям периода T_* . Фактически эти

решения относятся к случаю обратного направления вращения астероида, для которого последняя формула будет иметь вид:

$$T_* = \frac{T_0 S_*}{T_0 - S_*} = \frac{T_0 T}{n(T - T_0) - T}$$

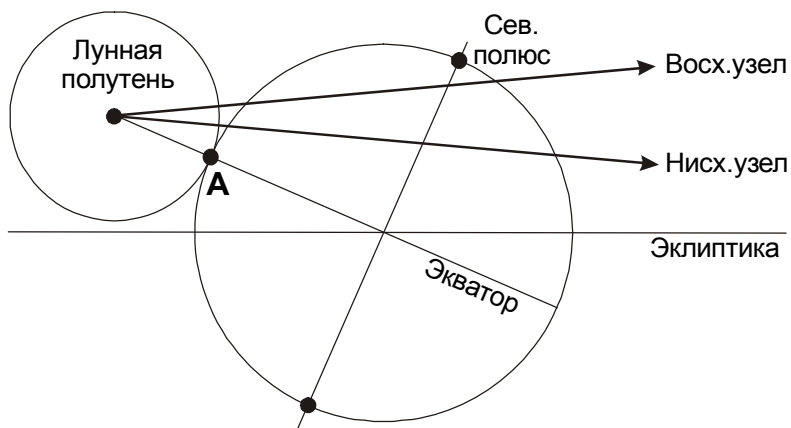
При этом астероид остается внешним, и период T_* должен превышать один год. Этому условию удовлетворяют случаи $n=3$ и $n=4$, период обращения астероида для этих случаев составляет соответственно 2.47 и 1.14 года, а радиус орбиты – 1.82 и 1.09 а.е.

2.22. В том, что автор не прав, можно убедиться хотя бы потому, что центральные покрытия звезд Луной в тропической зоне Земли могут длиться почти 2 часа (см. решение задачи 4.13), а при центральном затмении Луна за час полностью погружается в тень Земли. А ошибка автора заключается в следующем: при наблюдении с поверхности нашей планеты центр земной тени *не будет* совпадать с антисолнечной точкой. Как и любое физическое тело, расположенное близко от Земли (на расстоянии Луны), тень будет испытывать параллактическое смещение с амплитудой до 1 градуса и периодом в одни солнечные сутки. В своем движении по небу центр тени вблизи полуночи будет совершать попятное движение, похожее на движение планет вблизи противостояния. И в течение частной фазы затмения тень вполне может «наползти» на звезду, у которой параллактического смещения нет (см. рисунок). Это никак не скажется на самой звезде, но существенно скажется на виде края диска Луны, из-за которого эта звезда появится.

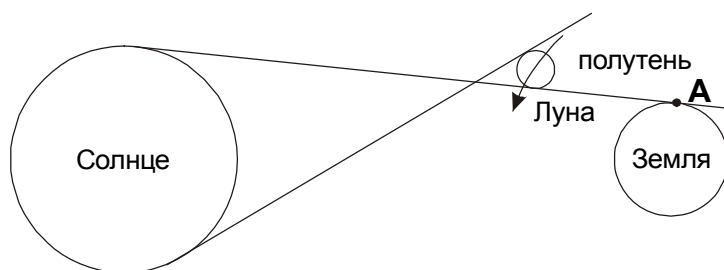


10-11 классы

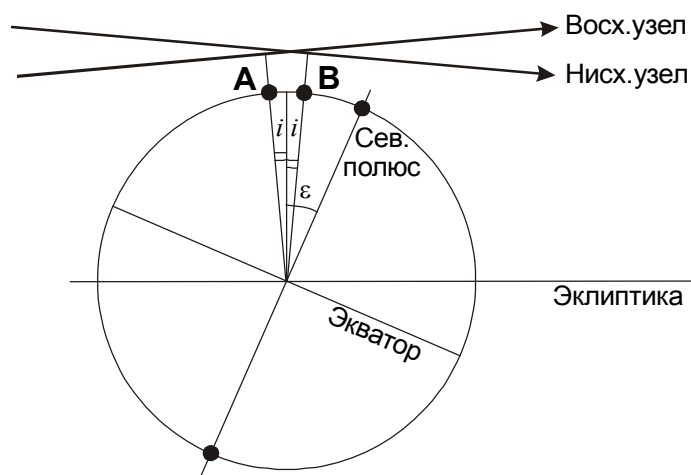
2.23. Описанная в обеих задачах ситуация весьма схожа, поэтому решения обеих задач будут описаны вместе. На рисунке показано взаимное положение Земли и лунной полутени при наблюдении с Солнца, причем горизонтальная линия соответствует плоскости эклиптики. В день весеннего равноденствия экватор Земли в данной проекции будет проходить по диаметру диска Земли под углом 23.45° к плоскости эклиптики, а северный полюс нашей планеты будет располагаться в задней части диска Земли по отношению к ее орбитальному движению.



В условии задачи а) описана ситуация, при которой диск Луны на горизонте касается солнечного диска точно сверху. Такое может иметь место только в тот момент, когда лунная полутень только касается Земли, то есть, в самом начале или конце затмения на Земле, как видно из следующего рисунка, где показан вид системы с севера.



В условии сказано, что затмение только начинается, и лунная полутень вступает на Землю в точке экватора (точка А на обоих рисунках). Полутень движется относительно Земли вместе с Луной в направлении, обратном движению системы Земля-Луна по орбите, под углом 5.15° к эклиптике вверх или вниз в зависимости от того, у какого узла орбиты Луны происходит затмение. Однако в обоих случаях, как видно на рисунке, наибольшая фаза затмения будет видна в северном полушарии Земли, а в данной точке на экваторе затмение будет лишь частным.



Ситуация, описанная в задаче b) отличается тем, что затмение видно на Земле только как частное, и центр лунной полутени вообще не вступает на поверхность нашей планеты. На рисунке показано движение центра полутени для обоих случаев (Луна в восходящем или нисходящем узле). Наибольшая фаза затмения будет видна на краю диска Земли, ближайшем к центру тени – в точках А и В для восходящего и нисходящего узла соответственно. Угол i равен 5.15° , а угол ε составляет 23.45° . Широта точек А и В составляет:

$$\varphi = 90^\circ - \varepsilon - i = 61.4^\circ \text{ для восходящего узла,}$$

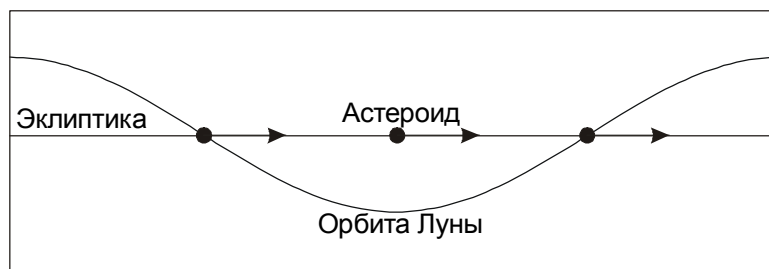
$$\varphi = 90^\circ - \varepsilon + i = 71.7^\circ \text{ для нисходящего узла.}$$

В обоих случаях затмение будет видно на горизонте западнее полуденной линии, то есть утром, на восходе Солнца.

2.24. В течение периода вечерней видимости, от верхнего до нижнего соединения, угловая скорость движения Венеры среди звезд постепенно уменьшается. До момента наибольшей восточной элонгации она больше, чем у Солнца, после этого момента – меньше, а после прохождения точки стояния она меняет знак, становясь отрицательной. Марс, находясь недалеко от Солнца (в соединении с Венерой), двигается только прямо, а угловая скорость его движения всегда меньше угловой скорости движения Солнца.

Очевидно, что два соединения Венеры с Марсом могут произойти, если в первом из этих соединений Венера обгонит Марс в своем движении среди звезд, а во втором Марс обгонит замедлившуюся или уже двигающуюся попятно Венеру (вступить во второе соединение с Марсом, обогнав его на целый круг, Венера не успеет, так как на это ей потребуется больше года). Но в этом случае второе соединение не может наступить до момента наибольшей элонгации, когда Венера движется по небу быстрее Марса. Поэтому вариант в) в условии задачи невозможен. Варианты а) и б) возможны и часто реализуются.

2.25. Такая ситуация может иметь место только в одном случае – если астероид движется вдоль эклиптики синхронно с узлами лунной орбиты, никогда не встречаясь с ними. Для этого астероид должен двигаться вокруг Солнца в обратном направлении (по часовой стрелке), делая один оборот, как и лунные узлы, за 18.6 лет. По закону Кеплера радиус его орбиты получается равным 7.02 а.е.



2.26. Так как мы наблюдаем затмения, Земля находится вблизи плоскости орбит двух компонент двойной системы и вблизи плоскости аккреционного диска. Размеры белого карлика и толщина аккреционного диска много меньше размеров гиганта, и падение блеска может вызвать только затмение карлика гигантом. Раз при этом суммарный блеск системы уменьшается на 0.1^m , значит светимость белого карлика примерно в 10 раз меньше светимости звезды-гиганта.

Зная период обращения T (45.5 суток или $1/8$ года) и относительную скорость звезд v (120 км/с), мы получаем расстояние между звездами:

$$R = \frac{vT}{2\pi} = 0.5 \text{ а.е.}$$

По III обобщенному закону Кеплера получаем, что суммарная масса системы составляет 8 масс Солнца. При этом амплитуда изменения скорости у белого карлика в 7 раз больше, чем у гиганта, следовательно, масса гиганта – 7 масс Солнца, масса карлика – 1 масса Солнца.

Во время затмения мы видим только звезду-гигант, ее блеск m на нашем небе равен 4.7^m , из измерений параллакса расстояние до нее $r = 100$ пк. Следовательно, абсолютная звездная величина гиганта равна

$$m_0 = m + 5 - 5 \lg r = -0.3,$$

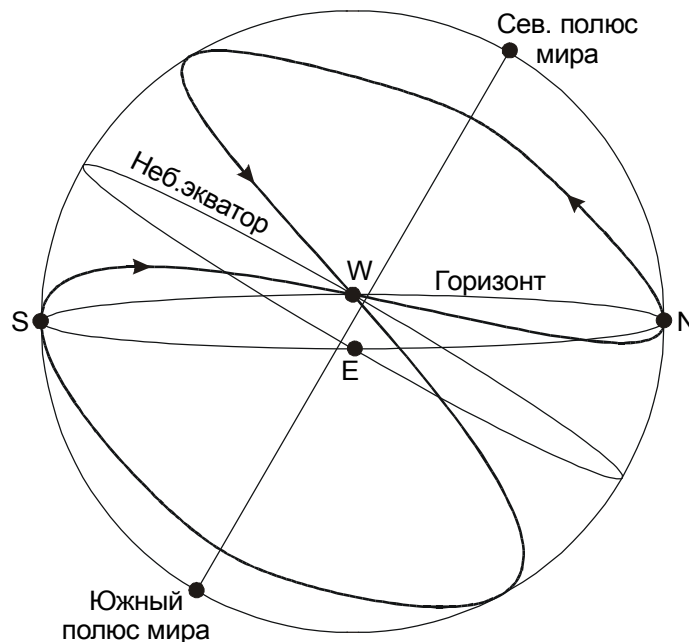
то есть светимость гиганта в 100 раз больше солнечной. Светимость белого карлика I получается равной 10 светимостям Солнца, т.е. $3.88 \cdot 10^{27}$ Вт.

Для оценки темпа аккреции примем, что вся кинетическая энергия падающего на белый карлик вещества за период времени Δt переходит в излучение. Эта же величина равна потенциальной энергии упавшего вещества со знаком минус:

$$I \Delta t = GMM^*\Delta t \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{d} \right),$$

где M и r – масса и радиус белого карлика, d – расстояние от белого карлика до точки либрации, с которой начинается аккреция, M^* – темп аккреции. Расстояние d , по порядку величины равно расстоянию между звездами R , значительно больше радиуса белого карлика, и потенциальной энергией вещества в точке либрации можно пренебречь, исключая слагаемое $(1/d)$ в последней формуле. Подставляя далее численные значения, получаем $M^* = 1.9 \cdot 10^{14}$ кг/с или $3 \cdot 10^{-9}$ масс Солнца в год.

2.27. Такой необычный путь звезды по небу (он показан на рисунке) может быть только в случае, если продолжительность солнечных суток сопоставима с продолжительностью года. Заход звезды в точке запада (стороны горизонта на рисунке помечены латинскими буквами) может происходить только в момент равноденствия. После одного из таких заходов звезда появляется на севере, имея положительное склонение, после другого – на юге, с отрицательным склонением. Наклон небесного экватора к плоскости эклиптики велик, и центральная звезда появляется над горизонтом в каждое летнее солнцестояние и скрывается за ним в каждое зимнее солнцестояние. Следовательно, заходы звезды происходили в каждое равноденствие, а продолжительность года T была равна двум солнечным суткам этой планеты, то есть 32.28 земным суткам. Восход звезды на севере происходит еще задолго до летнего солнцестояния, но склонение звезды уже равно $+30^\circ$. Следовательно, наклон экватора планеты к плоскости орбиты еще больше, составляя около 50° (точный анализ для случая круговой орбиты дает значение 53.65°).



Схожесть температурного режима этой планеты с земным означает, что поток энергии от звезды на расстоянии планеты равен потоку солнечной энергии на Земле. Из этого следует связь светимости звезды L и расстояния до планеты R :

$$\frac{L}{R^2} = \frac{L_0}{R_0^2}.$$

Здесь L_0 – светимость Солнца, R_0 – расстояние от Солнца до Земли. Звезда относится к главной последовательности, и ее масса M связана со светимостью соотношением

$$\frac{L}{M^3} = \frac{L_0}{M_0^3}.$$

Здесь M_0 – масса Солнца. Наконец, по третьему закону Кеплера, с учетом малости массы планеты по сравнению с массой звезды мы получаем связь периодов обращения планеты T и Земли T_0 :

$$\frac{T^2 M}{R^3} = \frac{T_0^2 M_0}{R_0^3}.$$

Из этих трех уравнений получаем связь массы звезды и радиуса орбиты планеты с периодом ее обращения:

$$\frac{M^7}{M_0^7} = \frac{T^4}{T_0^4}, \quad \frac{R^7}{R_0^7} = \frac{T^6}{T_0^6}.$$

В итоге, масса звезды получается равной 1/4 массы Солнца, а радиус орбиты – 1/8 а.е.