



Всесибирская открытая олимпиада
школьников по астрономии



Очный отборочный этап
7–8 классы

1. На каком расстоянии от «поверхности» Юпитера должен находиться его спутник Ганимед, чтобы при прохождении Ганимеда по диску Солнца с этой «поверхности» можно было наблюдать полное солнечное затмение?

Решение.

Граничное условие полного солнечного затмения – равенство угловых размеров Солнца и тела, закрывающего его. Угловой размер объекта равен отношению его линейного размера (диаметра) к расстоянию до него от наблюдателя.

Из условия равенства угловых размеров Ганимеда и Солнца получаем пропорцию:

$$R_C / D_{ЮС} = R_G / D_{ЮГ}$$

Из справочных данных $R_C = 697$ тыс. км, $D_{ЮС} = 5,2$ а.е. = 780 млн км, $R_G = 2,6$ тыс км, поэтому $D_{ЮГ} = D_{ЮС} \cdot R_G / R_C = 780$ млн км $\cdot 2,6 / 697 = 2,9$ млн км.

Отметим, что радиус орбиты реального спутника Ганимеда составляет около 1 млн км, то есть для наблюдателя на «поверхности» Юпитера он с запасом закрывает весь солнечный диск.

2. В литературе по истории России при указании дат до 1918 года можно встретить фразу «по старому стилю». Что имеется в виду? Какая дата «по старому стилю» соответствует современной дате 27 октября 2019 года? Когда и почему разница между датами по «старому стилю» и современными датами увеличится ещё на один день?

Решение

Неисчерпаемым источником задач астроолимпиад служит переход России с **юлианского** на **григорианский** календарь, который состоялся в феврале 1918 года.

В XX веке разница между юлианским календарём («старый стиль») и григорианским («новый стиль») составляет 13 дней. Это число легко высчитать, если, например, помнить дату празднования Рождества в Европе (по григорианскому календарю – 25 декабря) и в России (по юлианскому календарю – 7 января, на 13 дней позже).

27 октября 2019 года по григорианскому календарю соответствует дате **14 октября 2019 года** по «старому» юлианскому календарю.

Эта разница накапливается из-за неодинаковых правил определения високосных лет. В юлианском календаре года, делящиеся на 100, являются високосными, как и все остальные, делящиеся на 4. В григорианском же «круглые» года високосные, только если делятся на 400. Поэтому, например, 1900 год был високосным по «старому стилю» и невисокосным по «новому», что добавило +1 день к разнице календарей.

2000 год был високосным по обоим календарям, а вот **наступление 2100 года** также добавит +1 «лишний» день, и разница станет равной 14 дням.

-
3. В какие дни года в Новосибирске (55° с. ш., 83° в. д.) Солнце проходит через зенит?
Подробно объясните свой ответ (иначе получите неполные баллы).

Решение

Вариант 1 – объяснение через астрономические координаты.

Небесное тело проходит через зенит, только если его склонение равно широте наблюдателя (утверждение легко доказывается через формулу высоты верхней кульминации).

Склонение Солнца меняется в течение календарного года от $-23,4^\circ$ в декабре до $+23,4^\circ$ в июне. Широта Новосибирска равна 55° , то есть склонение Солнца никогда не будет равно широте наблюдателя. Прохождение Солнца через зенит в Новосибирске **невозможно**.

Вариант 2 – объяснение через сведения из географии.

Область на поверхности Земли, где Солнце хотя бы раз в году бывает в зените, ограничена северным и южным тропиками – именно так и определяются эти широтные круги.

Северный тропик проходит по параллели $23,4^\circ$ с.ш. Новосибирск расположен более чем на 20 градусов севернее, поэтому в Новосибирске наблюдение Солнца в зените **невозможно**.

-
4. Максимальное расстояние от Солнца до Земли — 152 млн км, а минимальное — 147 млн км. Во сколько раз больше энергии от Солнца падает на Землю в перигелии, чем в афелии?

Решение

По закону обратных квадратов поток энергии, падающий от Солнца на планету, обратно пропорционален квадрату расстояния от планеты до Солнца.

Поэтому отношение потоков энергии в перигелии и в афелии равно $152^2 / 147^2 = 1,07$.

В перигелии Земля получает **в 1,07 раза** (или на 7%) больше солнечной энергии, чем в афелии. Тем удивительнее для начинающего астронома выглядит тот факт, что перигелий Земля проходит в начале января, а афелий — в начале июня.



Всесибирская открытая олимпиада
школьников по астрономии



Очный отборочный этап
9 класс

1. На каком расстоянии от «поверхности» Юпитера должен находиться его спутник Ганимед, чтобы при прохождении Ганимеда по диску Солнца с этой «поверхности» можно было наблюдать полное солнечное затмение?

Решение приведено в разделе «7-8 класс»

2. Чему равно максимальное и минимальное центростремительное ускорение Луны в системе отсчёта, где Земля неподвижна? Будет ли ускорение Луны существенно отличаться в других системах отсчёта (например, в гелиоцентрической системе)?

Решение

В геоцентрической системе отсчёта Луна обращается вокруг Земли по эллиптической орбите. Минимальным центростремительным ускорением она обладает в точке афелия, максимальным – в точке перигея своей орбиты.

Скорость Луны в перигее вычисляется по формуле $V_{\text{п}} = (GM/R_{\text{п}} \cdot (1+e))^{1/2}$ и равна 1,05 км/с, скорость в афелии $V_{\text{а}} = (GM/R_{\text{п}} \cdot (1 - e))^{1/2} = 0,994$ км/с.

Зная значения орбитальных скоростей и расстояния перигея и афелия, получаем $a_{\text{ц}} = v^2/R = 3,14$ мм/с² в перигее и **2,41** мм/с² в афелии.

Переход в другие системы отсчёта, в частности, в гелиоцентрическую, приведёт к необходимости учёта других взаимодействий. Траектория Луны станет более нетривиальной, и центростремительные ускорение **существенно изменится**. В частности, известным фактом является превышение силы притяжения Луны Солнцем над силой притяжения Луны к Земле (примерно в 2 раза).

3. Для неподвижного наблюдателя две разные звезды, проходя точки своих нижних кульминаций, имеют одинаковое зенитное расстояние 42° . Чему может быть равна разность их высот в верхней кульминации (для того же наблюдателя)?

Решение

Нижняя кульминация звезды с положительной высотой может быть только в одной стороне от зенита (к северу для наблюдателя в северном полушарии и к югу для наблюдателя в южном полушарии). Поэтому если две звезды имеют одинаковую положительную высоту нижней кульминации, то они однозначно расположены на одном и том же суточном круге.

Заметим, что для случая верхней кульминации, либо для случая отрицательных высот нижней кульминации последнее утверждение в общем случае неверно.

Итого получаем, что ситуация возможна, только когда две звезды находятся на одном суточном круге, а значит, имеют одинаковое склонение и, следовательно, одинаковую высоту верхней кульминации. Разность высот равна **нулю**.

-
4. Определите среднее солнечное время начала отборочного тура Всесибирской олимпиады по астрономии для жителей города Южно-Сахалинска. Считайте, что олимпиада началась в 10:00 местного времени, координаты города 47° с.ш., 143° в.д. Сахалинская область расположена в часовом поясе UTC+11.

Решение

10:00 по поясному времени Южно-Сахалинска – это 23:00 UTC. На нулевом меридиане среднее солнечное время совпадает с UTC, поэтому в момент начала олимпиады на меридиане 0° солнечное время равно 23:00.

Южно-Сахалинск же расположен существенно восточнее, поэтому среднее солнечное время там опережает Гринвич на $143 / 15 = 9,53$ часа = 9 ч 32 мин. В итоге среднее солнечное время в Южно-Сахалинске = **08:32**.

Заметим, что разница солнечного и поясного времени в Южно-Сахалинске составляет около 1,5 часов, то есть город живёт не в своём «родном» часовом поясе. Такая же ситуация наблюдается во многих других городах и регионах, в частности, и в Новосибирске.

5. Периодически в средствах массовой информации появляется предупреждение о грядущем взрыве звезды Бетельгейзе (альфа Ориона). Утверждается, что в максимуме блеска сверхновая будет сиять, как полная Луна. В то же время, модели учёных показывают, что яркость звезды «на пике» взрыва увеличится примерно в 10 тысяч раз по сравнению с яркостью в настоящее время. Определите «пиковую» видимую звёздную величину Бетельгейзе-сверхновой. Во сколько раз она на самом деле будет ярче или тусклее Луны в полнолуние? В настоящее время видимая звёздная величина Бетельгейзе составляет в среднем $+0,7^m$.

Решение

Увеличение яркости в 100 раз соответствует уменьшению звёздной величины объекта на 5 звёздных величин (по определению шкалы звёздных величин). Значит, увеличение яркости в 10000 раз приведёт к уменьшению видимой звёздной величины на 10 единиц.

В итоге звёздная величина Бетельгейзе-сверхновой достигнет $+0,7^m - 10^m = -9,3^m$.

Безусловно, объект будет крайне ярким и видимым даже на дневном небе, но до полной Луны ($-12,8^m$) явно недотягивает.

Разница видимых звёздных величин Бетельгейзе-сверхновой и Луны с хорошей точностью равна $3,5^m$, что соответствует отношению световых потоков **в 25 раз**.

В очередной раз уважаемые журналисты несколько преувеличили эффект от грядущего астрономического события, впрочем, в этом случае действительного очень необычного и яркого.



Всесибирская открытая олимпиада
школьников по астрономии



Очный отборочный этап
10 класс

1. Склонение двух звёзд одинаково и равно $+40^\circ$. Прямое восхождение одной звезды равно $04^h 00^m$, а другой — $07^h 30^m$. Найдите угловое расстояние между звёздами на небе. Какая из звёзд и насколько раньше зайдёт за горизонт для наблюдателя в Новосибирске (55° с.ш., 83° в.д.)? А в Мурманске (69° с.ш., 33° в.д.)?

Решение

Сначала ответим на вопросы второй части задачи, они проще. Вообще разница моментов захода двух звёзд с одинаковым склонением определяется разностью их прямых восхождений, и очевидный ответ на вопрос задачи – первая звезда зайдёт на 3 часа 30 минут раньше второй. Однако здесь есть «подводные камни».

Стоит обратить внимание, что широты наблюдателей достаточно высоки, и склонение двух звёзд достаточно большое. Действительно, простые расчёты высот нижних кульминаций показывают, что для Новосибирска, а тем более для Мурманска, обе эти звезды оказываются **незаходящими**. Таким образом, ответ на вторую часть задачи – обе эти звезды **никогда не зайдут**.

Для расчёта расстояний также есть простой и не очень верный путь – посчитать расстояние как разницу прямых восхождений с учётом изменения радиуса малого круга: $\alpha = \Delta RA \cdot \cos \delta = 40,22^\circ$.

Однако этот ответ не совсем верен, поскольку расстояние нужно считать по дуге большого круга небесной сферы. Из малого круга можно посчитать величину хорды, соединяющей эти две точки: $L = 2 \cdot R \cos \delta \cdot \sin (\Delta RA/2)$. Здесь R – это гипотетический радиус небесной сферы, который в конце расчётов, разумеется, сократится.

Центральный угол большого круга, опирающийся на эту же хорду, вычисляется аналогично: $L = 2 \cdot R \cdot \sin (\alpha/2)$. Получаем: $\sin (\alpha/2) = \cos \delta \cdot \sin (\Delta RA/2)$, откуда $\alpha = 39,6^\circ$.

2. Астроном из окрестностей Юпитера наблюдает Меркурий в максимуме элонгации. Сможет ли он разглядеть его невооружённым глазом? Телескоп с какими параметрами ему нужен, чтобы наблюдать Меркурий в виде диска, а не точки? Угловое разрешение глаза можно принять равным $1'$, телескоп считаем равнозрачковым, диафрагмы нет.

Решение

Для наблюдателя с Земли Меркурий в максимуме элонгации имеет звёздную величину $-0,1^m$. При наблюдении с Юпитера изменяется только расстояние от Меркурия до наблюдателя, остальные существенные факторы (расстояние от Солнца, альbedo, фаза) не изменяются.

Расстояние в максимуме элонгации от Земли до Меркурия равно $(1^2 - 0,4^2)^{1/2} = 0,916$ а.е., а от Юпитера до Меркурия в этой конфигурации $(5,2^2 - 0,4^2)^{1/2} = 5,18$ а.е. Соответственно, для юпитерианских астрономов Меркурий будет тусклее в $(5,18/0,916)^2 = 32$ раза, то есть на $2,5 \lg 32 = 3,8^m$.

В итоге видимая звёздная величина Меркурия ($+3,7^m$) вполне достаточна для наблюдения невооружённым глазом. Правда, на небе в окрестностях Юпитера Меркурий будет крайне близко к Солнцу (максимальный угол элонгации не превышает 5°), что, конечно, сделает наблюдения достаточно сложными.

Видимый угловой размер Меркурия равен $4880 \text{ км} / 5,18 \text{ а.е.} = 1,3''$. Чтобы разглядеть его диском, угловой размер после увеличения должен составлять как минимум $1' = 60''$. То есть нам нужен телескоп с коэффициентом углового увеличения $k = 60 / 1,3 = 46$.

Равнозрачковый телескоп ($d = 6 \text{ мм}$) без диафрагмы и с коэффициентом увеличения $k = 46$ имеет диаметр входного отверстия $D = k \cdot d = 276 \text{ мм}$. 300-миллиметрового телескопа точно хватит.

3. Самолёт летит из Новосибирска (55° с.ш., 83° в.д.) в Москву (56° с.ш., $37,5^\circ$ в.д.). Найдите кратчайшее расстояние между городами по поверхности Земли и среднюю скорость самолёта, если местное время взлёта и посадки оказалось одинаковым. Москва расположена в часовом поясе UTC+3, Новосибирск – UTC+7.

Решение

Поскольку разница широт Новосибирска и Москвы достаточно малая, ей можно пренебречь, и считать, что точки старта и приземления самолёта находятся на одной параллели (для определённости, 55°). К слову, московский аэропорт Домодедово имеет широту $55^\circ 25'$, а новосибирский Толмачёво – $55^\circ 01'$, так что погрешность не превышает половины градуса.

Кратчайшее расстояние – это дуга большого круга с центром в центре Земли.

Из малого круга параллели 55° можно посчитать величину хорды, соединяющей точки старта и финиша: $L = 2 \cdot R \cos 55^\circ \cdot \sin ((83^\circ - 37,5^\circ)/2)$. R – радиус Земли. Центральный угол большого круга, опирающийся на эту же хорду, вычисляется аналогично: $L = 2 \cdot R \cdot \sin (\alpha/2)$, где α – «угловое» расстояние между точками на поверхности Земли.

Получаем: $\sin (\alpha/2) = \cos 55^\circ \cdot \sin 23,25^\circ$, откуда $\alpha = 25,6^\circ$.

Расстояние в километрах считается как $R \cdot \alpha$ (рад) = **2850 км**.

Если местное время взлёта и посадки одинаково, значит, самолёт летит ровно 4 часа (разница часовых поясов). Скорость самолёта = $2850 / 4 = 712$ км/ч.

В реальности, при полёте из Новосибирска в Москву практически такая ситуация и наблюдается. Время посадки отличается от времени взлёта максимум на 15-20 минут. Обратно лететь, разумеется, гораздо менее удобно.

-
4. Астероид (20461) Диоретса вращается по ретроградной орбите с большой полуосью, равной 24 а.е. Найдите период между противостояниями астероида с точки зрения земного наблюдателя. Как вы думаете, почему астероид был так назван?

Решение

Сидерический период спутника по закону Кеплера равен $(24)^{3/2} = 117,6$ лет.

Синодический период можно найти из формулы $1/S = 1/T + 1/Z$. Здесь S – искомый синодический период, T – сидерический период, Z – период планеты наблюдателя (1 год).

Знак «+» в формуле появился именно из-за ретроградного (обратного) направления движения астероида по орбите, в случае «обычных» астероидов в формуле будет разность.

В итоге получаем период между противостояниями (синодический) чуть меньше 1 земного года – **365,04 суток**.

Астероид (20461) был первым из обнаруженных астероидов с ретроградной орбитой. Именно по этому свойству он и был назван: «Диоретса» – это просто «астероид» наоборот.

5. Периодически в средствах массовой информации появляется предупреждение о грядущем взрыве звезды Бетельгейзе (альфа Ориона). Утверждается, что в максимуме блеска сверхновая будет сиять, как полная Луна. В то же время, модели учёных показывают, что яркость звезды «на пике» взрыва увеличится примерно в 10 тысяч раз по сравнению с яркостью в настоящее время. Определите «пиковую» видимую звёздную величину Бетельгейзе-сверхновой. Во сколько раз она на самом деле будет ярче или тусклее Луны в полнолуние? В настоящее время видимая звёздная величина Бетельгейзе составляет в среднем +0,7m.

Решение приведено в разделе «9 класс»

6. Эксцентриситет кометы I2/Borisov равен 3,36. Найдите отношение её максимальной и минимальной орбитальных скоростей.

Решение

Комета Борисова летит по незамкнутой гиперболической орбите, и эксцентриситет у неё существенно больше единицы.

Максимальная скорость – это скорость в перигелии орбиты, она вычисляется по обычной формуле, работающей для всех типов орбит: $V_{\Pi} = (GM/R_{\Pi} \cdot (1+e))^{1/2}$.

Минимальная скорость достигается на бесконечном удалении от Солнца и вычисляется по закону сохранения энергии:

$$E = mV_{\infty}^2/2 = mV_{\Pi}^2/2 - GMm / R_{\Pi} = GMm / 2R_{\Pi} \cdot (1 + e - 2) = GMm / 2R_{\Pi} \cdot (e - 1)$$

Отсюда $V_{\min} = V_{\infty} = V_{\Pi} \cdot [(e+1)/(e-1)]^{1/2}$, и их отношение равно $(4,36/2,36)^{1/2} = \mathbf{1,36}$.



Всесибирская открытая олимпиада
школьников по астрономии



Очный отборочный этап
11 класс

1. Склонение двух звёзд одинаково и равно $+40^\circ$. Прямое восхождение одной звезды равно $04^{\text{h}} 00^{\text{m}}$, а другой — $07^{\text{h}} 30^{\text{m}}$. Найдите угловое расстояние между звёздами на небе. Какая из звёзд и насколько раньше зайдёт за горизонт для наблюдателя в Новосибирске (55° с.ш., 83° в.д.)? А в Мурманске (69° с.ш., 33° в.д.)?

Решение приведено в разделе «10 класс».

2. Космический аппарат питается от солнечной панели площадью 5 м^2 с коэффициентом полезного действия $0,15$. Солнечные лучи падают на панель под углом 60° к её поверхности. За 8 часов работы панель собрала 3 кДж энергии. На каком расстоянии от Солнца сейчас находится аппарат?

Решение

Собранная солнечной батареей энергия равна $E = W \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot T \cdot 0,15$, откуда плотность потока энергии $W = 0,16 \text{ Вт/м}^2$.

На орбите Земли плотность потока солнечной энергии составляет 1360 Вт/м^2 , поэтому батарея находится от Солнца в $(1360/0,16)^{1/2} = 92,2$ раза дальше, чем Земля.

Расстояние от Солнца до аппарата составляет **92,2 а.е.**

3. Параллакс звезды с видимой звёздной величиной $+7,5^{\text{m}}$ составляет 3 угловых микросекунды. Определите светимость звезды и оцените её эффективную температуру. Считаем, что звезда находится на главной последовательности. Атмосферным поглощением пренебречь.

Решение

Методическая комиссия приносит извинения, в условии задачи вкралась досадная опечатка, должно быть «параллакс звезды ... составляет 3 угловых миллисекунды». В результате параметры звезды получаются далёкими от реальности, что некоторые участники заметили в решениях. Полный балл ставился как за решение с «микросекундами», так и за решение с «миллисекундами» параллакса. Ниже приведено изначальное авторское решение для варианта с параллаксом 3 миллисекунды.

Для начала определим расстояние до звезды: $D \text{ (пк)} = 1 / \pi'' = 330 \text{ ПК}$. По известной видимой звёздной величине можем определить абсолютную: $M = m - 5 \lg 33 = -0.1^m$.

Светимость звезды составляет примерно $2,512^{4.8} = 83$ светимости Солнца.

Звезда главной последовательности ДГР с абсолютной звёздной величиной около 0^m (примеры – Вега A0V) соответствует спектральным классам A0-A2 с характерной температурой поверхности **10000 К**.

-
4. Определите среднее солнечное время начала отборочного тура Всесибирской олимпиады по астрономии для жителей города Южно-Сахалинска. Считайте, что олимпиада началась в 10:00 местного времени, координаты города 47° с.ш., 143° в.д. Сахалинская область расположена в часовом поясе UTC+11.

Решение приведено в разделе «9 класс»

-
5. Оцените видимую звёздную величину Луны в новолуние.

Решение

В новолуние видимая часть лунного диска не получает прямых солнечных лучей и освещается только «пепельным светом» – лучами, отражёнными от Земли.

Светимость Земли равна $L_3 = 1360 \text{ Вт/м}^2 \cdot \pi R_3^2 \cdot \varepsilon_3 = 6,4 \cdot 10^{16} \text{ Вт}$ ($\varepsilon_3 = 0.37$ – альbedo Земли, 1360 Вт/м^2 – плотность потока энергии от Солнца на Землю).

Полный поток энергии, отражающийся от Луны (светимость в «пепельном свете»), равен

$$L_{\text{Л}} = L_3 / (4\pi D_{\text{ЗЛ}}^2) \cdot \pi R_{\text{Л}}^2 \cdot \varepsilon_{\text{Л}} = 3,95 \cdot 10^{11} \text{ Вт.}$$

Плотность потока пепельного света на Землю равна $L_{\text{л}} / (4\pi D_{\text{Зл}}^2) = 2,13 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2$, что соответствует видимой звёздной величине $2.5 \lg (1360 / 2,13 \cdot 10^{-8}) - 26,78^{\text{m}} = +0,23^{\text{m}}$.

6. Эксцентриситет кометы I2/Borisov равен 3,36. Найдите отношение её максимальной и минимальной орбитальных скоростей.

Решение приведено в разделе «10 класс»
