ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ
2024–2025 УЧЕБНЫЙ ГОД
ОТВЕТЫ

11 КЛАСС	
№ задания	Максимальный балл
1.	10
2.	10
3.	10
4.	10
5.	10
Итого:	50 баллов

ПОДРОБНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЙ

11 класс

Общие указания: за правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 5–7 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла. Жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

1. Альтаир и Денеб

Задание

Две известные звезды, входящие в астеризм «Летне-осенний треугольник», имеют следующие характеристики: Альтаир – видимая звездная величина m = +0,93^m, абсолютная звездная величина M = +2,21^m; Денеб – m = +1,33^m и M = –6,93^m, соответственно. К каким созвездиям относятся эти звезды? Какая из них дальше от нас и почему?

Решение

Это две главные звезды (альфы) созвездий Орла и Лебедя (Альтаир = α Орла, Денеб = α Лебедя).

Видимые звездные величины этих звезд примерно одинаковые (около первой звездной величины), но их абсолютные звездные величины (видимый блеск, пересчитанный на стандартное расстояние в 10 парсек), характеризующие их светимости (полные энергии, излучаемые в единицу времени), существенно разные. У Денеба абсолютная звездная величина отрицательная, поэтому мощность его излучения намного больше, чем у Альтаира, имеющего положительную абсолютную звездную величину. И если на небе мы видим их примерно одинакового блеска, то Денеб находится намного дальше Альтаира.

Примечание: знание того, что абсолютная звездная величина M – это видимый блеск звезды, пересчитанный на стандартное расстояние в 10 парсек, позволяет сразу же определить, что Альтаир находится даже ближе, чем 10 парсек, а Денеб – гораздо дальше. Прямое вычисление расстояний по формуле $M = m + 5 - 5\lg r$ тоже возможно, но качественное понимание в данном случае более важно (экономит время).

Ответ: это «главные» звезды созвездий Орла и Лебедя (Альтаир = α Орла, Денеб = α Лебедя). Дальше от нас Денеб.

Критерии оценивания

Правильное указание созвездий Орла и Лебедя – по 2 балла за каждое.

Знание понятия «абсолютная звездная величина» – 2 балла.

Обоснование того, что светимость Денеба во много раз больше светимости Альтаира, основанное на сравнении их абсолютных звездных величин – 2 балла.

Правильный вывод о том, что гораздо более «мощная» звезда с Земли видна примерно такого же блеска, как более слабая, именно потому, что она находится намного дальше – 2 балла.

Примечание: в случае использования участником в этой части решения формулы, связывающей абсолютную звездную величину с видимой звездной величиной и расстоянием, верные вычисления и вывод, что Денеб находится намного дальше Альтаира, оцениваются как предыдущие два критерия в сумме, т.е. в 4 балла.

2. Покрытия Венеры Луной

Задание

Покрытием называется такое расположение небесных тел, когда одно из них закрывает собой от наблюдателя другое. Оцените при каких фазах Луна может покрывать Венеру для земного наблюдателя?

Решение

Поскольку Венера является внутренней по отношению к Земле планетой, то условия ее видимости достаточно специфичны. Она всегда видна либо вечером, либо утром, не удаляясь от Солнца более чем на определенное количество градусов, которое может быть вычислено из следующего рисунка (Рис. 1).

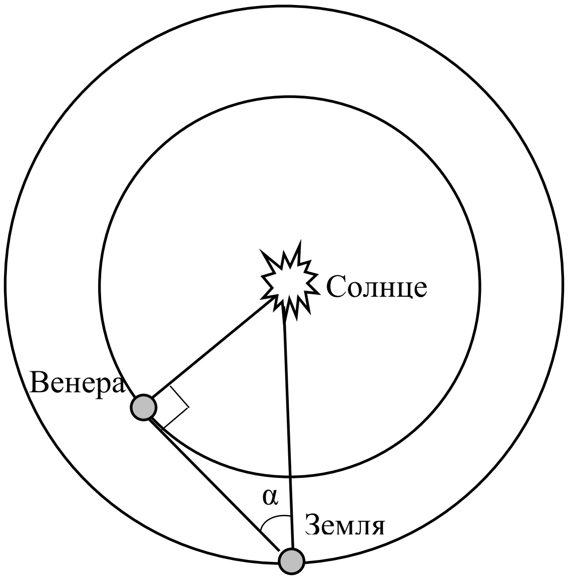

Рис. 1

На этом рисунке показано расположение Венеры в одной из наибольших элонгаций (максимальное угловое удаление от Солнца α). Радиусы орбит известны (см. Таблицу 2 Приложения 1 к заданиям): у Земли – 1 а.е., у Венеры – 0,7233 а.е., а угол между Солнцем, Венерой и Землей равен 90° (касательная от Земли к орбите Венеры).

Из тригонометрического выражения $\sin(\alpha)$ = 0,7233 а.е. / 1 а.е., вычислим угол наибольшей элонгации:

$$\alpha = \arcsin(0{,}7233 \text{ а.е.} / 1 \text{ а.е.}) \approx 46°.$$

Примечание: большей точности, чем целое число градусов здесь не требуется, так как это среднее значение наибольшей элонгации, полученное для круговой орбиты, но из-за эллиптичности орбиты Венеры оно может принимать значения 45 –48 .

Таким образом, чтобы Луна покрывала Венеру, ее угловое удаление от Солнца должно быть в пределах примерно ±46°.

В этот диапазон попадает фаза новолуния (Φ = 0), когда угловое удаление Луны от Солнца (тоже элонгация) близко к 0°.

Теперь определим максимальную фазу, при которой Луна может покрывать Венеру. Фазой (линейной) Φ называется освещенная доля диаметра диска. Для ее вычисления воспользуемся следующим соотношением:

$$\Phi = \frac{1 + \cos\varphi}{2},$$

где φ – фазовый угол – угол с вершиной в центре тела, образованный направлениями на Солнце и Землю.

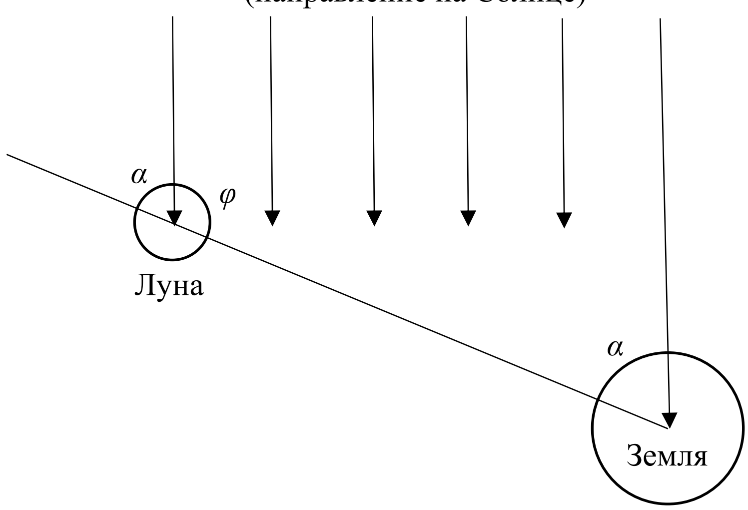

Рис. 2.

Для определения фазового угла Луны в момент наибольшей элонгации Венеры изобразим следующий рисунок (Рис. 2).

Так как расстояние от Земли с Луной до Солнца велико, солнечный свет будет падать и на Землю, и на Луну, с одного направления (лучи будут параллельны). Угол с Земли, межу направлением на Солнце и на Луну, равен наибольшей элонгации Венеры α, так как Луна в данный момент покрывает Венеру. Фазовый угол Луны (см. определение выше) обозначен на рисунке как φ.

Из рисунка видно, что $\varphi = 180° - \alpha = 180° - 46° = 134°$.

Таким образом, максимальная фаза Луны составит:

$$\Phi = \frac{1 + \cos 134°}{2} = \frac{1 + (-0{,}695)}{2} = 0{,}15.$$

Так как элонгаций у Венеры две – восточная и западная, то Луна может покрывать планету в фазах от новолуния и растущая, примерно, до 0,15, и убывающая, примерно, от 0,15 и до новолуния.

Примечание: угловые размеры Луны можно не учитывать, так как угол наибольшей элонгации Венеры определен с погрешностью более, чем 1°, а ее угловой размер составляет 0,5°.

Ответ: Луна может покрывать Венеру для земного наблюдателя при фазах менее 0,15 растущей и убывающей, включая фазу новолуния.

Критерии оценивания

Верное вычисление значения наибольшей элонгации Венеры (или его знание) – 2 балла.

Указание, что в фазе новолуния Луна может покрывать Венеру – 2 балла.

Указание, что растущая Луна может покрывать Венеру (без указания фазы) – 1 балл.

Указание, что убывающая Луна может покрывать Венеру (без указания фазы) – 1 балл.

Верное определение фазового угла Луны – 2 балла.

Верное вычисление максимальной фазы Луны – 2 балла, если указано, что фаза Луны должна быть менее 0,25 без определения фазового угла – 1 балл.

3. Покрытия Спики полной Луной

Задание

Достаточно ярая звезда Спика (α Девы) находится вблизи эклиптики и может покрываться Луной. В какие месяцы такие покрытия происходят вблизи полнолуния? Экваториальные координаты Спики: α = 13 ч 25 мин, $\delta = -11° \, 10'$.

Решение

За начало пути Солнца вдоль эклиптики принято считать день весеннего равноденствия (20–21 марта), когда его прямое восхождение равно 0 часов (эклиптическая долгота 0°). За календарный (тропический) год (T = 365,2422 суток) Солнце, перемещаясь по эклиптике, снова оказывается в точке весеннего равноденствия. Из этого можно получить примерное среднесуточное смещение центра солнечного диска по эклиптике (увеличение его эклиптической долготы): 360°/365,2422 сут = 0,99°/сут.

На столько же ночь от ночи смещается и точка «противосолнца», вблизи которой Луна находится в полнолунии. В день весеннего равноденствия эклиптическая долгота этой точки равна 180°.

Примечание: Солнце смещается по небесной сфере на полный оборот в 360° за звездный год, равный 365,26 суток – промежуток времени, за который Земля совершает полный оборот вокруг Солнца относительно звезд (продолжительность звездного года, а также продолжительность тропического года, можно взять из Приложения 1 к заданиям). Звездный год на 20 мин 24 с больше, чем тропический из-за медленного движения точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу, вызванного прецессией земной оси. Однако требуемая точность, исходя из условий задания (около месяца), позволяют это не учитывать.

Прямое восхождение, как и эклиптическая долгота, отсчитывается от точки весеннего равноденствия против вращения небесной сферы. Однако прямое восхождение отсчитывается вдоль небесного экватора, а эклиптическая долгота – вдоль эклиптики, которая наклонена к небесному экватору на угол 23,5°. Но этот наклон можно не учитывать, так как по условию задания требуется невысокая точность ответов – до месяца. Поэтому будем считать, что и прямое восхождение и эклиптическая долгота отсчитываются вдоль одного большого круга небесной сферы.

Переведем прямое восхождение Спики (13 ч 25 мин) в градусную меру угла (если 24 ч = 360°, то 1 ч = 15°, и в 1 ч = 60 мин): (13 ч + 25 мин /60 мин) · 15° ≈ 201°.

Таким образом, разница эклиптических долгот Спики и точки «противосолнца» составляет 201°–180° = 21°. И именно, примерно, на такое угловое расстояние должна сместиться точка «противосолнца», чтобы покрытие произошло именно в полнолуние.

При скорости 0,99°/сутки для совпадения понадобится около 21° / 0,99°/сут ≈ 21 суток.

Другими словами, получаем 20–21 марта + 21 сут. Примерно, через 10 суток наступает апрель (в марте 31 день). Остается 11 суток. Таким образом, покрытия Спики полной Луной происходят в апреле.

Примечания: 1. склонение Спики в решении задачи не используется, поскольку в условии задания указано, что она находится вблизи эклиптики и может покрываться Луной; 2. попытка начать решение напрямую с текущего положения Солнца, приводит к большей угловой разнице, так что возможно накопление ошибок в расчетах – хотя такое решение тоже верно.

Ответ: в апреле.

Критерии оценивания

Верное вычисление средней скорости перемещения Солнца по эклиптике (или знание ее значения) – 2 балла.

Соотнесение прямого восхождения Спики и положения полной Луны – 2 балла.

Вычисление верного количества дней до покрытия – 2 балла.

Указание на учет различных приближений и допущений при решении задания – 2 балла.

Формулировка окончательного правильного ответа – 2 балла.

4. Блеск астероида

Задание

Астероид движется вдоль эклиптики по эллиптической орбите с большой полуосью a = 2 а.е. и эксцентриситетом e = 1/3. Пересекает ли его орбита орбиту Земли? Оцените во сколько раз наблюдаемый блеск такого астероида в наиболее благоприятных сближениях с Землей больше, чем в наименее благоприятных?

Решение

Сначала найдем перигелийное Q и афелийное q расстояния астероида на орбите:

$Q = a\cdot(1 - e)$ = 2 а.е.·(1 – 1/3) = 4/3 а.е. = 1,3 а.е – он не пересекает орбиту Земли и может наблюдаться в противостояниях. Аналогично $q = a\cdot(1 + \mathrm{e})$ = 2 а.е.·(1+ 1/3) = 8/3 а.е. = 2,7 а.е. Другими словами, его расстояние от Солнца при движении по орбите изменяется в 8/3 а.е. : 4/3 а.е. = 2 раза.

В наиболее благоприятных сближениях с Землей (перигелийные противостояния) этот астероид наблюдается на расстоянии $r_б$ = 4/3 а.е. – 1 а.е. = 1/3 а.е. Аналогично для неблагоприятных (афелийных противостояний): $r_н$ = 8/3 – 1 = 5/3 а.е. В этом случае отношение меняется в 5/3 а.е. : 1/3 а.е. = 5 раз.

Видимая освещенность I, создаваемая астероидом Земле, пропорциональна:

$$I \sim \frac{1}{q^2 r^2},$$

где q – расстояние астероида от Солнца, r – расстояние астероида от Земли.

Таким образом, отношение освещенностей, создаваемых астероидом в благоприятных сближениях с Землей и в неблагоприятных, составит:

$$\frac{I_б}{I_н} \sim \frac{q^2 r_н^2}{Q^2 r_б^2} = 2^2 5^2 = 100 \text{ раз}.$$

Т.е. в наиболее благоприятных сближениях с Землей астероид будет виден в 100 раз ярче, чем в неблагоприятных. Что соответствует разности в блеске на 5 звездных величин.

Ответ: астероид не пересекает земную орбиту; в наиболее благоприятных сближениях с Землей блеск такого астероида в 100 раз больше, чем в наименее благоприятных т.е. на 5 звездных величин.

Критерии оценивания

Верное вычисление гелиоцентрического расстояния астероида в перигелии – 2 балла.

Верный вывод, что астероид не пересекает земную орбиту – 1 балл.

Верное вычисление гелиоцентрического расстояния астероида в афелии – 2 балла.

Верное вычисление геоцентрического расстояния астероида в перигелии – 1 балл.

Верное вычисление геоцентрического расстояния астероида в афелии – 1 балл.

Верный вывод о блеске астероида в наиболее благоприятных сближениях с Землей больше и в наименее благоприятных без указания звездных величин – 2 балла, с указанием звездных величин – 3 балла.

5. Раз в три года

Задание

С каким периодом должна обращаться по круговой орбите вокруг Солнца планета, чтобы ее последовательные конфигурации с Землей происходили каждые 3 года? На каком среднем расстоянии от Солнца будет находиться планета, противостояния которой происходят раз в 3 года?

Решение

Промежуток времени между двумя последовательными повторяющимися конфигурациями планеты в астрономии называют синодическим периодом S. Если одна из планет, с периодом обращения относительно звезд T_1, движется быстрее (с большей угловой скоростью), то через время S она обгонит вторую, с периодом обращения относительно звезд T_2, ровно на полный оборот (360°):

$$\left(\frac{360^\circ}{T_1}-\frac{360^\circ}{T_2}\right)\cdot S=360^\circ, \text{ или } \frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}=\frac{1}{S}.$$

Обозначим сидерический период обращения Земли (звездный год) как $T_\oplus$. Предположим, что искомая планета внешняя (ее орбита расположена за земной) и движется медленнее Земли, совершая полный оборот за время T (ее звездный или сидерический период). Тогда $\frac{1}{T_\oplus}-\frac{1}{T}=\frac{1}{S}$ или $\frac{1}{T}=\frac{1}{T_\oplus}-\frac{1}{S}$. Выразив сидерический период планеты, получим: $T=\frac{S\cdot T_\oplus}{S-T_\oplus}=\frac{3\cdot 1}{3-1}=\frac{3}{2}$ или 1,5 года.

Для внутренней планеты (ее орбита расположена внутри земной): $\frac{1}{T}-\frac{1}{T_\oplus}=\frac{1}{S}$ или $\frac{1}{T}=\frac{1}{S}+\frac{1}{T_\oplus}$. Тогда $T=\frac{S\cdot T_\oplus}{S+T_\oplus}=\frac{3\cdot 1}{3+1}=\frac{3}{4}$ или 0,75 года.

Итак, таких планет с повторяющимися конфигурациями может быть две: с сидерическими периодами 0,75 и 1,5 года. Но в противостояниях может быть видна только внешняя, т.е. та, у которой период T = 1,5 года.

Теперь найдем ее расстояние от Солнца из упрощенного III закона Кеплера $T^2 = a^3$, где T – звездный период обращения в годах, и a – большая полуось (радиус) орбиты планеты в а.е. Откуда $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{1{,}5^2}$ = 1,31 а.е.

Ответ: таких планет может быть две: с сидерическими (звездными) периодами обращения 0,75 и 1,5 года, но противостояния будут наблюдаться только у второй, при этом ее среднее расстояние от Солнца составляет 1,31 а.е.

Критерии оценивания

Верное определение звездного периода для внешней планеты – 2 балла.

Верное определение звездного периода для внутренней планеты – 2 балла.

Приведение к общему знаменателю при вычислении звездных периодов – 2 балла.

Выбор внешней планеты для вычисления среднего расстояния с объяснением – 2 балла.

Верное вычисление среднего расстояния внешней планеты от Солнца – 2 балла.

Задания подготовили:

председатель предметно-методической комиссии регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, кандидат технических наук, доцент С.В. Бутаков;

председатель жюри регионального этапа всероссийской олимпиады школьников в Красноярском крае по астрономии, член Российской Ассоциации учителей астрономии, заслуженный педагог Красноярского края С.Е. Гурьянов.

С замечаниями, пожеланиями, предложениями и вопросами можно обращаться по адресу: butakov@kspu.ru или по тел. 8-904-897-97-60.