

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ
2023–2024 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. Всегда над головой

Задание

Перечислите 10 созвездий, которые можно увидеть в любой сезон в Красноярске ($\varphi = 56^\circ$ с.ш.).

Решение

В любой сезон в Красноярске ночью можно увидеть незаходящие созвездия. А так как созвездие – это участок небесной сферы в определенных границах, то в Красноярске незаходящими будут околополярные созвездия, южные границы которых имеют склонения $\delta \geq (90^\circ - \varphi) \geq (90^\circ - 56^\circ) \geq 34^\circ$.

Формально под это условие подходят следующие созвездия: Малая Медведица, Кассиопея, Дракон, Цефей, Жираф, Ящерица.

Также можно указать созвездия, яркие звезды которых, образующие их очертания, имеют склонения $\geq 34^\circ$, например: Большая Медведица, Рысь, Малый Лев, Гончие Псы.

Кроме того, участники могут указать созвездия, в которых большая часть ярких звезд являются незаходящими, например: Персей, Возничий, Лира, Андромеда, Лебедь.

Ответ: в любой сезон в Красноярске ночью можно увидеть незаходящие созвездия, такие как: Малая Медведица, Кассиопея, Дракон, Цефей, Жираф, Ящерица, Большая Медведица, Рысь, Персей, Возничий и др.

Критерии оценивания

За каждое верно указанное созвездие – 1 балл, но суммарно не более 10 баллов.

2. Астероид Ганимед

Задание

В 2024 году нас ожидает очередное сближение с астероидом Ганимед (№1036), который 25 августа достигнет наибольшего склонения $+55,45^\circ$ при блеске $10,2^m$ и затем сблизится с Землей 13 октября до $0,37$ а.е., достигнув блеска $9,0^m$. Экваториальные координаты астероида в эти дни: 13 октября – прямое восхождение 22 ч 18 мин 05 с, склонение $+32^\circ 17' 12''$; 14 октября – прямое восхождение 22 ч 22 мин 33 с, склонение $+31^\circ 11' 16''$. Определите угловую скорость перемещения астероида по небу в момент наибольшего сближения с Землей (угловых минут в час) и его максимальную высоту над горизонтом в

Красноярске ($\varphi = +56,05^\circ$) в верхних кульминациях 25 августа и 13 октября 2024 года. В какое время суток будет удобнее всего наблюдать астероид в дни наибольшего сближения?

Решение

Склонение астероида за сутки уменьшается на $32^\circ 17' 12'' - 31^\circ 11' 16'' = 65' 56''$ или $65,93' \approx 66'$ (со средним значением $(32,29^\circ + 31,19^\circ) / 2 = 31,74^\circ$ – оно нам понадобится в дальнейшем).

Разница в прямых восхождениях составляет $22 \text{ ч } 22 \text{ мин } 33 \text{ с} - 22 \text{ ч } 18 \text{ мин } 05 \text{ с} = 04 \text{ мин } 28 \text{ с}$. Или $04,47$ минуты. Вспомнив, что 1 час в угловой мере равен 15° , а 1 минута соответственно равна $15'$, получим $04,47 \text{ мин} \cdot 15' = 67,1'$. Но это справедливо только для небесного экватора. Круги склонений сходятся в полюсах, поэтому полученное значение необходимо умножить на косинус склонения (используем полученное выше среднее значение). Тогда перемещение по прямому восхождению составит $67,1' \cdot \cos(31,74^\circ) \approx 57'$.

Поскольку перемещения невелики, можно пренебречь кривизной небесной сферы и найти общее суточное перемещение по теореме Пифагора: $ab = \sqrt{(66')^2 + (57')^2} \approx 87'$ или $87' / 24 \text{ ч} \approx 3,6$ угловых минут в час.

Вычислим высоты в верхних кульминациях: $h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 56,05^\circ + 55,45^\circ = 33,95^\circ + 55,45^\circ = 89,40^\circ$ (практически в зените!) 25 августа и $33,95^\circ + 32,29^\circ = 66,24^\circ$ – 13 октября.

Чтобы определить, когда вблизи 13 октября будет удобнее наблюдать Ганимед, воспользуемся его прямым восхождением и положением Солнца по эклиптике. Известно, что в день весеннего равноденствия прямое восхождение Солнца равно 0 часов, т.к. именно от точки весеннего равноденствия отсчитывается эта небесная координата. Для дальнейшей оценки будем считать, что Солнце движется по эклиптике равномерно, со средней угловой скоростью примерно 1° в сутки (360° за 365 суток) или примерно 30° (2 часа) за месяц. Ближайшее к нашей дате одно из основных положений Солнца на эклиптике приходится на день осеннего равноденствия 22–23 сентября, когда его прямое восхождение составляет 12 часов. Остается 9–10 суток в сентябре и еще 13 в октябре, что в сумме дает 22–23 дня ($2/3$ месяца). За это время прямое восхождение Солнца увеличится, примерно, на $2 \text{ ч} \cdot 2/3 \approx 1,3$ часа и станет, примерно, 13 ч 20 мин (на 13 октября). Прямое восхождение астероида, примерно, 22 ч 20 мин, то есть он расположен от Солнца левее (восточнее) на 9 часов или $9 \text{ ч} \cdot 15^\circ/\text{ч} = 135^\circ$. А это значит, что в результате суточного вращения Земли он будет кульминировать вечером после захода Солнца.

Ответ: угловая скорость перемещения астероида составит около 3,6 угловой минуты в час; максимальная высота над горизонтом Красноярска составит 25 августа примерно $89,4^\circ$ (практически в зените!) и $66,2^\circ$ 13 октября 2024 года; удобнее всего наблюдать астероид будет вечером после захода Солнца вблизи его верхней кульминации.

Критерии оценивания

Верное определение угловой скорости перемещения астероида по небу в момент наибольшего сближения с Землей – 4 балла. Если участник не учитывает схождение кругов склонений на полюсах (не умножает разность прямых восхождений на косинус среднего склонения), то за этот этап решения выставляется не более 2 баллов).

Правильное вычисление высот в верхних кульминациях – 4 балла.

Верный вывод с обоснованием о наилучшем времени наблюдения астероида – 2 балла.

3. Сверхновые в М 61

Задание

Галактика Мессье 61 из созвездия Девы является одним из рекордсменов по количеству обнаруженных там вспышек сверхновых звезд. На сегодняшний день известны как минимум 7 таких вспышек (с 1926 по 2014 годы), при которых в максимуме блеска эти звезды достигали в среднем 13 звездной величины. Оцените расстояние до этой галактики в световых годах, если считать, что типичная абсолютная звездная величина сверхновой в максимуме составляет -18^m .

Решение

Абсолютную и видимую звездные величины связывает формула $M = m + 5 - 5 \cdot \lg(D)$, где M и m – абсолютная и видимая звездные величины соответственно, а D – расстояние от наблюдателя до звезды, выраженное в парсеках. Выразим $\lg(D) = (m + 5 - M) / 5$. Подставив значения из условия задачи, получим $\lg(D) = (13 + 5 - (-18)) / 5 = 7,2$. И, соответственно, $D = 10^{7,2} = 15,85 \cdot 10^6 \approx 16 \cdot 10^6$ парсек.

Известно, что 1 парсек равен $3,26$ светового года. Значит расстояние до этой галактики составляет около $15,85 \cdot 10^6 \cdot 3,26 \approx 52$ миллиона световых лет.

Примечание: созвездие Девы находится в стороне от Млечного Пути (галактической плоскости), где свет испытывает сильное поглощение межзвездной пылью, поэтому можно не учитывать межзвездное поглощение. Это подтверждает действительное значение расстояния до галактики – 16,5 мегапарсек или 52,5 миллиона световых лет, которое близко к полученному. На данном этапе олимпиады учитывать межзвездное поглощение от участника не требуется.

Ответ: примерно 52 миллиона световых лет (около 16 мегапарсек).

Критерии оценивания

Применение формулы, связывающей абсолютную и видимую звездные величины – 4 балла.

Получение верного значения выражения для $\lg(D)$ – 2 балла.

Получение верного значения для расстояния в парсеках – 2 балла.

Правильное вычисление расстояния в световых годах – 2 балла.

4. Загадочный объект

Задание

Астрономический объект вызывает в спектре солнцеподобной звезды смещения темных линий относительно их нормального положения то к красному, то к фиолетовому концу с периодом 73 дня. Определите массу этого объекта, если его среднее расстояние от звезды составляет 0,35 а.е. Как вы считаете, что это за объект и почему он вызывает смещение линий в спектре звезды?

Решение

Линии в спектре звезды смещаются то в одну сторону, то в другую в том случае, если у звезды есть темный спутник – слабая звезда (коричневый карлик) или планета, потому что этот спутник вместе со звездой обращаются вокруг общего центра масс. Поэтому звезда будет то приближаться к наблюдателю, то удаляться от него, а это, вследствие эффекта Доплера, и будет вызывать смещения темных линий в ее спектре. Причем период смещения линий соответствует периоду обращения звезды и темного спутника вокруг центра масс.

Чтобы определить коричневый карлик это или планета нужно определить массу объекта. Для этого воспользуемся III обобщенным законом Кеплера в виде:

$$\frac{T^2(M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G},$$

где M – масса звезды (т.к. звезда солнцеподобная, то примем ее массу, примерно равной массе Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг), m – масса объекта, T – период обращения объекта вокруг общего центра масс, a – большая полуось орбиты объекта, совпадающая с его средним расстоянием от звезды, G – гравитационная постоянная, равная $6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ (см. Приложение 1 к заданиям).

Тогда масса объекта будет:

$$m = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2} - M = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot (0,35 \text{ а.е.} \cdot 149,6 \cdot 10^9 \text{ м})^3}{6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2} \cdot (73 \text{ сут} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с})^2} - 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 1,3 \cdot 10^{29} \text{ кг}.$$

Таким образом, масса объекта составляет около $1,3 \cdot 10^{29} \text{ кг} / 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} = 0,065$ массы Солнца или $1,3 \cdot 10^{29} \text{ кг} / 1,9 \cdot 10^{27} \text{ кг} = 68$ масс Юпитера (массы Солнца и Юпитера можно взять в Приложении 1 к заданиям). При таких массах (примерно больше, чем 13 и меньше, чем 80 масс Юпитера) объект вероятнее всего является коричневым карликом – субзвездным объектом, который обладает промежуточными физическими характеристиками между планетой и звездой.

Ответ: масса объекта составляет около $1,3 \cdot 10^{29} \text{ кг}$ или 0,065 массы Солнца или 68 масс Юпитера, поэтому он, вероятнее всего, является коричневым карликом, который обращается вместе со звездой вокруг общего центра масс и вследствие эффекта Доплера вызывает смещения темных линий в ее спектре.

Критерии оценивания

Понимание, что линии в спектре звезды смещаются из-за ее обращения около общего центра масс с темным спутником – 2 балла.

Понимание, что период смещения линий в спектре звезды соответствует периоду обращения темного спутника и звезды вокруг общего центра масс – 1 балл.

Применение III обобщенного закона Кеплера в форме, приведенной в решении, или в форме сравнения с системой двух тел Солнце – Земля – 2 балла.

Понимание, что солнцеподобная звезда имеет массу, примерно, равную массе Солнца, которую можно найти в Приложении 1 к заданиям – 1 балл.

Верное вычисление массы объекта – 2 балла.

Сравнение с массой Солнца или Юпитера и окончательный верный вывод о типе объекта – 2 балла.

5. Новая комета

Задание

Несмотря на развитие крупных автоматизированных телескопов, настоящее открытие все еще можно сделать и с помощью обычного цифрового фотоаппарата! Так, 12 августа 2023 года японец Хидео Нисимура обнаружил на своих снимках новую комету, которая в середине сентября приблизилась к Солнцу и достигла блеска второй звездной величины (яркая, но пряталась в «лучах Солнца»). Хидео снимал небо на фотоаппарат с полнокадровой матрицей (36×24 мм), обладающей разрешением 5472×3648 пикселей, и объективом с фокусным расстоянием 200 мм. Мог ли он с первого взгляда отличить на снимках комету от звезд, если считать, что за счет атмосферной турбулентности размеры слабых звезд на матрице составляют примерно 3×3 пикселей, а комета имела кому (газовую оболочку вокруг ядра) размером 2 угловых минуты? Другими словами – каких размеров в пикселях была комета на снимке?

Решение

Определим линейный размер 1 пикселя: $36 \text{ мм} / 5472 \text{ пкс} = 0,0066 \text{ мм}$ или $24 / 3648 \text{ пкс} = 0,0066 \text{ мм}$.

Угловой размер объекта α , выраженный в радианах, связан с линейным размером изображения в фокальной плоскости l соотношением: $l = \alpha \cdot F$, где F – фокусное расстояние.

Так как $1 \text{ рад} = 57,3^\circ = 3438'$, то выражение для линейного размера изображения в фокальной плоскости примет вид:

$$l = \frac{\alpha' \cdot F}{3438'}$$

Тогда $2'$ в фокальной плоскости будут иметь размер:

$$l = \frac{2' \cdot 200 \text{ мм}}{3438'} = 0,1163 \text{ мм}.$$

Что при полученном ранее масштабе равно $0,1163 \text{ мм} / 0,0066 \text{ мм} \approx 18$ пикселей. Это заметно больше размеров звезд (3×3 пкс), так что Хидео оставалось только заметить «туманное пятнышко» и убедиться, что в астрономических каталогах на этом месте нет далеких незвездных объектов (галактик, туманностей и т.п.).

Ответ: да, размер кометы на снимке составлял около 18×18 пикселей, поэтому ее вид явно отличался от изображений окружающих звезд.

Критерии оценивания

Верное определение линейного размера 1 пикселя – 2 балла.

Знание выражения для линейного размера изображения в фокальной плоскости – 3 балла.

Верный перевод углового размера из радиан в угловые минуты (из угловых минут в радиан) – 2 балла.

Получение правильного ответа в пикселях и верный вывод – 3 балла.