**ВСЕРОССИЙСКАЯ олимпиада школьников по АСТРОНОМИИ**

**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**

**В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ**

**2023–2024 учебный год**

**ответы**

|  |  |
| --- | --- |
| **11 класс** | |
| № задания | Максимальный балл |
|  | 10 |
|  | 10 |
|  | 10 |
|  | 10 |
|  | 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 (*φ* = 56° 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 *δ* ≥ (90°– *ϕ*) ≥ (90° – 56°) ≥ 34°.

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 ≥ 34°, 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.

1. **Астероид Ганимед**

*Задание*

В 2024 году нас ожидает очередное сближение с астероидом Ганимед (№1036), который 25 августа достигнет наибольшего склонения +55,45° при блеске 10,2m и затем сблизится с Землей 13 октября до 0,37 а.е., достигнув блеска 9,0m. Экваториальные координаты астероида в эти дни: 13 октября – прямое восхождение 22 ч 18 мин 05 с, склонение +32°17′12″; 14 октября – прямое восхождение 22 ч 22 мин 33 с, склонение +31°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 (φ = +56,05°) 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°17′12″ – 31°11′16″ = 65'56″ или 65,93′ ≈ 66′ (со средним значением (32,29° + 31,19°) / 2 = 31,74° – оно нам понадобится в дальнейшем).

Разница в прямых восхождениях составляет 22 ч 22 мин 33 с – 22 ч 18 мин 05 с = 04 мин 28 с. Или 04,47 минуты. Вспомнив, что 1 час в угловой мере равен 15°, а 1 минута соответственно равна 15′, получим 04,47 мин ∙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′ · cos(31,74°) ≈ 57′.

Поскольку перемещения невелики, можно пренебречь кривизной небесной сферы и найти общее суточное перемещение по теореме Пифагора: ab = ≈ 87′ или 87′ / 24 ч ≈ 3,6 угловых минут в час.

Вычислим высоты в верхних кульминациях: *h* = 90° – *φ* + *δ* = 90° – 56,05° + 55,45° = 33,95° + 55,45° = 89,40° (практически в зените!) 25 августа и 33,95° + 32,29° = 66,24° – 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 ч · 2/3 ≈ 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 ч · 15°/ч = 135°. 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° (практически в зените!) и 66,2° 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.

1. **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 –18m.

*Решение*

Абсолютную и видимую звездные величины связывает формула *M* = *m* + 5 – 5⋅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* = 107,2 = 15,85⋅106 ≈ 16⋅106 парсек.

Известно, что 1 парсек равен 3,26 светового года. Значит расстояние до этой галактики составляет около 15,85⋅106 ⋅ 3,26 ≈ 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.

1. **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:

где *M* – масса звезды (т.к. звезда солнцеподобная, то примем ее массу, примерно равной массе Солнца 2∙1030 кг), *m* – масса объекта, *Т* – 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∙10–11 м3∙кг–1∙с–2 (см. Приложение 1 к заданиям).

Тогда масса объекта будет:

Таким образом, масса объекта составляет около 1,3∙1029 кг / 2∙1030 кг = 0,065 массы Солнца или 1,3∙1029 кг / 1,9∙1027 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∙1029 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.

1. **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 мм / 5472 пкс = 0,0066 мм или 24 / 3648 пкс = 0,0066 мм.

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

Так как 1 рад = 57,3° = 3438′, то выражение для линейного размера изображения в фокальной плоскости примет вид:

Тогда 2' в фокальной плоскости будут иметь размер:

Что при полученном ранее масштабе равно 0,1163 мм / 0,0066 мм ≈ 18 пикселей. Это заметно больше размеров звезд (3 х 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 х 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.

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](mailto:butakov@kspu.ru) или по тел. 8-904-897-97-60.