

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ**  
**МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП**  
**В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ**  
**2023–2024 УЧЕБНЫЙ ГОД**  
**ОТВЕТЫ**

<b>11 КЛАСС</b>	
№ 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  $15^\circ$ , 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  $1^\circ$  в сутки ( $360^\circ$  за 365 суток) или примерно  $30^\circ$  (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 ( $36 \times 24$  мм), обладающей разрешением  $5472 \times 3648$  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  $3 \times 3$  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  $\alpha$ , 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 ( $3 \times 3$  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  $18 \times 18$  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.