

Всероссийская олимпиада школьников 2025-2026

Муниципальный этап

Астрономия

11 класс

Решения и критерии оценивания

Максимальный балл – 50 баллов

Задача 1 (8 баллов)

На каком расстоянии от звезды спектрального класса И9 с эффективной температурой поверхности 10700 К поток излучения будет равен солнечной постоянной, т.е. мощности излучения приходящейся на единицу поверхности 1400 Вт/м². Радиус звезды в 1,84 раза больше радиуса Солнца $R = 6,95 \cdot 10^8$ м.

Константа излучения абсолютно-черного тела равна $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$

Решение

Светимость звезды $L = 4\pi R_3^2 \sigma T^4$.

Солнечная постоянная $C = \frac{L}{S} = \frac{4\pi R_3^2 \sigma T^4}{4\pi r^2}$.

Следовательно, $r^2 = \frac{(1,84 \cdot R)^2 \sigma T^4}{C}$.

$$r = 1,84 \cdot R T^2 \sqrt{\frac{\sigma}{C}} = 1,84 \cdot 6,95 \cdot 10^8 \sqrt{\frac{5,67 \cdot 10^{-8}}{1400}} = 9,3 \cdot 10^{11} \text{ м.}$$

Критерии оценивания

Верно записана формула для связи светимости звезды и температуры – 4 балла.

Получено выражение для расстояния до звезды через солнечную постоянную – 2 балла.

Выполнен верный окончательный расчет – 2 балла.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 2 (10 баллов)

Скорость космического корабля массой 100 кг возросла с 11,2 км/с до 16,7 км/с за два месяца. В качестве двигателя космический аппарат использует солнечный парус из отражательной пленки с плотностью $0,1 \text{ г/м}^2$. Оценить площадь паруса, если световое давление равно 1 мкПа . С каким ускорением двигался аппарат? Какова масса полезной нагрузки?

Решение

$$F = m_A a, p = \frac{F}{S}, a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \rho = \frac{m_{\Pi}}{S}.$$

m_{Π} - масса паруса;

m_A - масса космического аппарата;

$m_{\Pi\text{Н}}$ - полезной нагрузки;

$m_A = m_{\Pi} + m_{\Pi\text{Н}}$.

$$F = pS = m_A a = m_A \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

$$S = \frac{m_A \Delta v}{p \Delta t} = \frac{m_A (v_2 - v_1)}{p \Delta t} = \frac{100}{10^{-6}} \cdot \frac{(16,7 - 11,2) \cdot 10^3}{2 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600} = 10,6 \cdot 10^4 \text{ м}^2.$$

$$m_{\Pi} = \rho S = 10^{-4} \cdot 10,6 \cdot 10^4 = 10,6 \text{ кг}.$$

$$m_{\Pi\text{Н}} = m_A - m_{\Pi} = 100 - 10,6 = 89,4 \text{ кг}.$$

$$a = \frac{(16,7 - 11,2) \cdot 10^3}{2 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600} = 10,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$$

Ответ: $S = 10,6 \cdot 10^4 \text{ м}^2$; $a = 10,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$; $m_{\Pi\text{Н}} = 89,4 \text{ кг}$.

Критерии оценивания

Верно определена площадь паруса – 5 баллов.

Верно определено ускорение – 2 балла.

Верно определена масса нагрузки – 3 балла.

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 3 (10 баллов)

Наблюдатель, находясь на экваторе Земли, измерил высоту некоторой звезды в верхней кульминации. Она оказалась равна 56° . Ответьте на ряд вопросов.

По какой линии будет двигаться эта звезда в течение суток?

Как расположена эта линия относительно горизонта наблюдателя?

На какой высоте эта звезда будет иметь нижнюю кульминацию?

Чему равно склонение звезды?

Через какой промежуток времени по местным часам после верхней произойдет нижняя кульминация?

Решение

На экваторе Земли все звёзды восходят и заходят, причём суточные параллели располагаются перпендикулярно горизонту. Это значит, что у всех звёзд нижние кульминации наблюдаются под горизонтом. Исходя из симметрии картины, для каждой звезды высота в нижней кульминации будет по модулю равна высоте в верхней кульминации, но знак будет «минус», т. е. искомая высота равна -56° .

Этот же ответ можно получить из анализа стандартного рисунка небесной сферы.

Кроме того, можно воспользоваться формулами для высоты в кульминациях. В верхней кульминации $h=90^\circ-\varphi+\delta$ либо $h=90^\circ+\varphi-\delta$. Так как наблюдения проводятся на экваторе, то $\varphi=0$ и $\delta=h-90^\circ$ либо $\delta=90^\circ-h$. Таким образом, склонение звезды равно либо $+34^\circ$, либо -34° .

Высота в нижней кульминации для случая $\varphi=0$ равна $h_n=-90^\circ\pm\delta$. Подставив в формулу $\delta=+34^\circ$ (при этом формуле перед δ надо использовать «+»), получим высоту в нижней кульминации -56° . Подставив $\delta=-34^\circ$ (при этом в формуле перед δ надо использовать «-»), получим высоту в нижней кульминации также -56° .

Между одноимёнными кульминациями звёзд проходят ровно одни звёздные сутки. Между разноимёнными кульминациями проходит половина звёздных суток. Как известно, звёздные сутки длятся примерно 23 часа 56 минут по солнечному (т. е. местному) времени. А значит, между верхней и нижней кульминациями звезды пройдёт 11 часов 58 минут.

Критерии оценивания

Указание суточной параллели перпендикулярной горизонту – 2 балла.

Нахождение высоты в нижней кульминации любым способом – 2 балла.

Нахождение склонения звезды (оба варианта) – 2 балла.

Верное нахождение времени между верхней и нижней кульминациями звезды (11 часов 58 минут) с объяснением – 4 балла.

Указание в качестве ответа времени 12 часов ровно – 1 балл.

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 4 (10 баллов)

С помощью камеры мобильного телефона любитель астрономии получал снимки экваториальной части неба. По метаданным одного из снимков он установил, что этот кадр сделан на времени экспозиции $t=10$ с, при фокусном расстоянии $F=5,8$ мм и диафрагменном числе $k=2,8$, при этом пиксельный размер кадра составляет 3256×2180 , а размер одного пикселя 1,8 мкм.

1. Определите по этим данным разрешающую способность камеры телефона.

2. Какую форму имеют звезды на снимках? Оцените сколько пикселей может занимать изображение звезды на снимке.

Диафрагменным числом k называется отношение фокусного расстояния объектива F к диаметру входного значка объектива D .

Считать, что спектральная чувствительность камеры совпадает со спектральной чувствительностью человеческого глаза и имеет максимум для зеленого цвета с длиной волны 550 нм.

Съемки велись вдали от городской засветки со штатива.

Решение

1. Чтобы определить разрешающую способность цифровой камеры необходимо вычислить 2 величины:

А) величину дифракционного предела объектива для длины волны зеленого цвета

$$\Psi = 1,22 \frac{\lambda}{D} = 1,22 \frac{\lambda}{\frac{F}{k}} = 1,22 \frac{550 \cdot 10^{-9}}{\frac{5,8 \cdot 10^{-3}}{2,8}} \text{ радиан} = 67'',$$

что соответствует радиусу первого кружка диска Эйри.

Б) угловой размер пикселя матрицы

$$\delta = \arctg \frac{p}{F} = \arctg \frac{1,8 \cdot 10^{-6}}{5,8 \cdot 10^{-3}} = 64''.$$

Поскольку угловой размер пикселя матрицы меньше дифракционного предела, то разрешающая способность цифровой камеры определяется объективом и в случае, если объектив имеет дифракционное качество, равна $67''$.

2. Диаметр первого кружка диска Эйри составляет $2\Psi = 134'' > 2\delta$, т.е. изображение звезды засветит зону размером не менее чем 3×3 пикселя. В действительности объектив в мобильном телефоне редко бывает дифракционного качества, автоматическая и/или ручная фокусировка на бесконечность для камеры телефона трудноосуществима, к тому же звезда чаще «попадает» на пиксели несимметрично. Все эти факторы приводят к тому, что звезда «засветит» зону более, чем из девяти пикселей (3×3) без учета суточного движения.

Суточное вращение растягивает точечные изображения звезд при длительных выдержках.

Скорость вращения неба составляет $15^\circ/\text{ч} = 15 \cdot \frac{3600''}{3600 \text{ с}} = 15''/\text{с}$. За 10 секунд экспозиции звезда сместиться на $150''$, т.е. на 2-3 пикселя для экваториальных созвездий.

Случайные колебания воздуха также приводят к изменению формы звезды.

С учетом суточного движения и прочих вышеуказанных факторов форма звезд в кадре может быть произвольной (преимущественно вытянутые пятна) размером не меньше, чем 3x5 пикселя.

Критерии оценивания

1. Вычисление дифракционного предела – 2 балла.

2. Вычисление углового размера пикселя матрицы – 2 балла.

3. Сравнение вышеопределенных величин и определение разрешающей способности камеры телефона – 1 балл.

4. Определение формы, оценка размера звезды на снимке, вычисление величины смещения звезды на снимке за время экспозиции, упоминание влияния колебаний воздуха на форму изображения звезды – 5 баллов.

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 5 (12 баллов)

На рисунке представлено синтезированное с помощью программы Stellarium изображение неба, соответствующее времени 8:00, некоторого дня 2025 года, место наблюдения Великий Новгород. На изображение нанесена сетка экваториальной системы координат.

Используя рисунок, дайте ответы на вопросы:

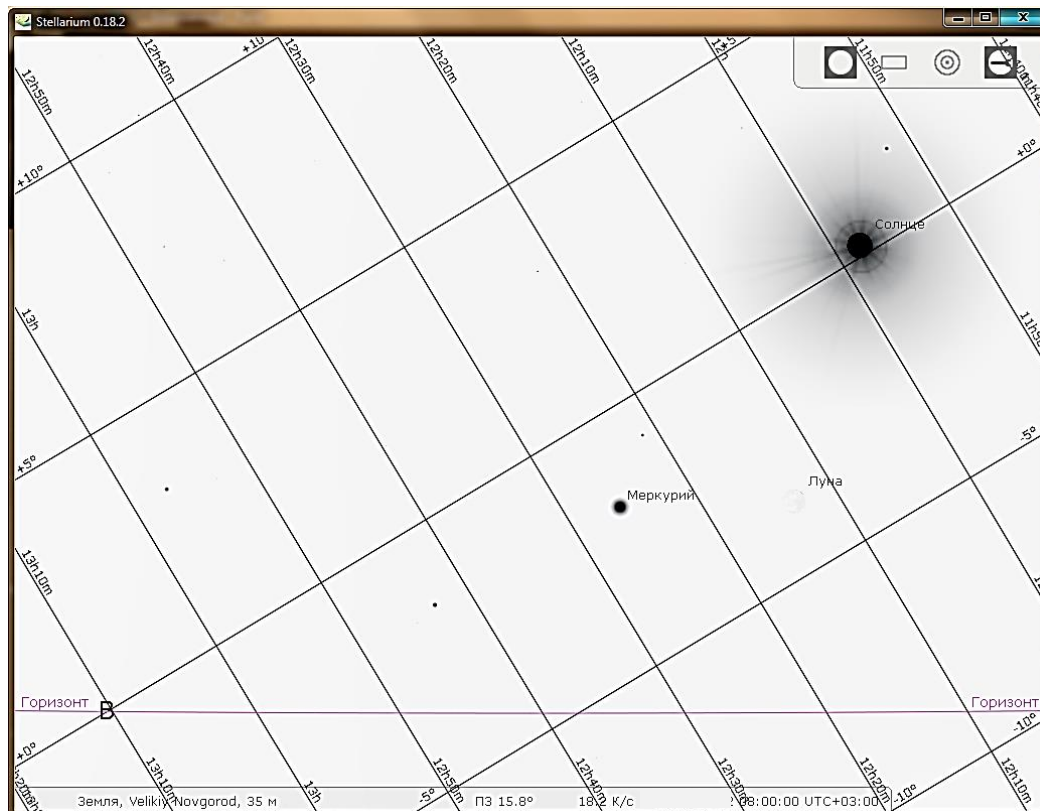
1. Как называются координаты, которые определяют положение светил в этой системе координат?
2. Чему равны координаты Солнца на момент наблюдения?
3. Чему равны координаты Меркурия на момент наблюдения?
4. Чему равно угловое расстояние между Солнцем и Меркурием?

Ответ приведите с точностью до десятых градуса.

5. В какой конфигурации находится Меркурий?
6. Каковы условия для визуального наблюдения Меркурия?
7. В какой день года, возможна такая конфигурация?

Рисунок к задаче 5

В случае, если вы делаете пометки на рисунке, сдайте его вместе с бланками решений.



Решение

1. Склонение и прямое восхождение.

Верный ответ – 1 балл.

2. Координаты Солнца: склонение $\delta = 0,2^\circ$, $\alpha = 11^h 58^m$.

Верный ответ – 2 балла.

3. Координаты Меркурия: склонение $\delta = -1,8^\circ$, $\alpha = 12^h 26^m$.

Верный ответ – 2 балла.

4. Разность прямых восхождений $\Delta\alpha = 28^m = 7^\circ$. Разность склонений 2° .

При небольших углах между светилами для вычисления углового расстояния между светилами используем приближение плоских треугольников. С помощью теоремы Пифагора найдем: $\Delta = \sqrt{7^2 + 2^2} \sim 7,3^\circ$.

В качестве верного ответа принимается ответ в интервале от $7,2^\circ$ до $7,3^\circ$.

Верный ответ – 2 балла.

5. Меркурий находится в западной элонгации, причем не максимальной.

Верный ответ – 2 балла.

6. Условия для визуального наблюдения отсутствуют (Меркурия не видно из-за солнечной засветки).

Верный ответ – 1 балл.

7. Солнце только перешло в Северное полушарие (находится над экватором), и его прямое восхождение чуть меньше 12 часов. Значит это день сразу после осеннего равноденствия, т.е. 22 сентября.

Верный ответ – 2 балла.

Максимум за задачу 12 баллов.