

**Решения межрегиональной предметной олимпиады КФУ по астрономии,
заключительного этапа, 2024/25 учебного года**

8-9 класс

Решение всех задач должно быть максимально подробным, с рисунками и пояснениями.

9.1. Наблюдатель находится на экваторе в день весеннего равноденствия. Он заметил, что гномон горизонтальных солнечных часов (т.е. имеющих горизонтально расположенный циферблат) отбрасывают тень такой же длины, что и сам гномон. Определите местное среднее солнечное время, когда произошло это событие. (20 баллов)

Решение: На экваторе (широта наблюдения $\varphi = 0$) в день весеннего равноденствия (склонение Солнца $\delta = 0$) Солнце проходит ровно через точки востока E, зенита Z и запада W, то есть движется по небесному экватору и, одновременно, по первому вертикалу. **(5 баллов за описание движения Солнца).** Следовательно, в полдень по местному времени светило будет находиться в зените для наблюдателя и тень гномона будет проецироваться в его основание.

Отметим, что на экваторе в горизонтальных солнечных часах гномон также лежит в плоскости первого вертикала и небесного экватора, образуя прямой угол (90°) с математическим горизонтом. В условии задачи сказано, что отбрасываемая тень равна высоте гномона. Поэтому получается равнобедренный прямоугольный треугольник, с оставшимися двумя углами, равными по 45° . Тогда и высота Солнца в этот момент равна 45° из подобия треугольников. **(6 баллов за нахождение высоты).** Двигаясь в плоскости первого вертикала, за один час светило проходит 15° , а 45° за 3 часа. Можно также рассуждать, что 45° это $\frac{1}{2}$ пути Солнца от восхода до зенита или $\frac{1}{4}$ от всего его движения над горизонтом. Так как продолжительность светового дня на экваторе (без учёта размеров Солнца и рефракции) 12 часов, то $12/4=3$ часа, восход приходится на 6 утра, заход – на 18 часов. **(За подобные рассуждения 4 балла).** Из этого следует, что Солнце будет на высоте 45° и тень будет равна длине гномона спустя три часа после восхода или за три часа до полудня, то есть $6+3=9$ или $12-3=9$ часов утра. Точно такая же ситуация будет после того, как светило пройдет точку зенита: $12+3=15$ или $18-3=15$ часов дня. **(3 балла за упоминание симметрии ситуаций после 12 часов дня)**

Ответ: В 9 и 15 часов дня по местному среднему времени. (по 1 баллу за каждый ответ)

9.2. 16 января 2025 года произошло противостояние Марса, который находился вблизи афелия своей орбиты и имел видимый блеск -1.5^m . Какую звёздную величину для наблюдателя, находящегося в это время на Марсе, будет иметь полная Луна (спутник Земли)? Вычисления можно проводить, округляя данные так, чтобы использовался целочисленный ряд звёздных величин. (20 баллов)

Решение: Для начала найдем расстояние от Солнца до Марса в афелии, с учетом эксцентриситета его орбиты: $R = a * (1+e) = 1.52 * (1+0.09) = 1.657$ а.е. **(3 балла. Если было взято расстояние, равное длине большой полуоси круговой орбиты, без учета эксцентриситета, то за этот пункт 0 баллов. Дальнейшие вычисления оцениваются в зависимости от численных значений, полученных участником),** где a – большая полуось Марса, e - эксцентриситет орбиты для этой планеты.

Так как Марс находится в противостоянии, то есть на одной линии с Солнцем и Землей по одну сторону с нашей планетой **(5 балла за построение правильного рисунка или какие-либо пояснения касаются конфигурации),** то расстояние между Луной и красной планетой: $r_M = R - a_3$.

$r_M = 1.657 - 1 = 0.657$ а.е. (5 баллов за формулу и вычисление. 1 балл снимается в случае получения неверного численного ответа)

Чтобы найти звездную величину полной Луны для наблюдателя на Марсе можно использовать формулу Погсона, в которой сравнивается освещенность, создаваемая спутником на Марсе, с освещенностью, создаваемой им на Земле:

$2.512^{(m_M - m_Z)} = E_Z / E_M$. (3 балла за формулу) Освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния до Луны: $E_Z / E_M = (r_M / r)^2$, где r – расстояние от Земли до Луны. Решая задачу в целых числах (точнее, приводя к отношению освещенностей, позволяющему использовать ряд 2.512-6.3-16-40-100, для которых разность блеска известна и целочисленна), получим $E_Z / E_M = 6.3 \cdot 10^4$, т.е. $2+10=12^m$. Тогда блеск Луны составит $-13+12=-1^m$. (В сумме 6 баллов за любые верные рассуждения и 1 балл за верный итоговый ответ. В случае арифметической ошибки финальный балл не ставится)

Примечание: Максимальная видимая звездная величина Луны для наблюдателя с Земли будет в полнолуние. При этом для наблюдателя с Марса в это время Луна находится в новолунии, поэтому для измерения звездной величины полной Луны, надо ждать другую фазу нашего спутника.

Ответ: -1^m

9.3. Зодиакальный свет - это видимое перед рассветом или после заката конусообразное свечение в зоревом секторе. Оно возникает из-за рассеяния солнечного света на межпланетной пыли, расположенной, преимущественно, вдоль плоскости эклиптики (или в плоскости зодиакальных созвездий - отсюда и название). Скажите, на высоких или в тропических широтах его удобнее наблюдать? И если мы хотим наблюдать его в конце зимы и начале весны в умеренных широтах (например, в Казани) – утренние или вечерние наблюдения стоит предпочесть? (15 баллов)

Решение: Для полного понимания самого задания и его решения, стоит построить небесную сферу с возможным расположением эклиптики. Можно рассмотреть несколько рисунков для разных широт и времен. (4 балла за верное построение небесной сферы с примерным расположением эклиптики). Чем ближе к экватору Земли наблюдатель, тем ближе полюс мира находится к математическому горизонту. Небесный экватор отстоит от полюса мира на 90° . Угол между эклиптикой и небесным экватором $\pm 23.5^\circ$. Получается, что в тропических широтах эклиптика всегда поднимается высоко над горизонтом, в то время как при движении к полюсам этот угол будет уменьшаться. Из-за этого в тропических широтах зодиакальный свет удобнее наблюдать. (6 баллов за анализ небесной сферы или рассуждения, приводящие к правильному ответу)

Если мы хотим наблюдать зодиакальный свет в конце зимы и начале весны в умеренных широтах, то стоит предпочесть вечерние наблюдения. Вечером видна та часть эклиптики, в которой Солнце бывает летом (созвездия Тельца, Близнецов). Она поднимается выше над горизонтом, чем созвездия, в которых Солнце бывает зимой (Скорпион, Стрелец) и которые видны весной под утро. (5 баллов за рассуждения, приводящие к правильному ответу)

Ответ: В тропических широтах и вечерние часы.

Примечание: 1 балл, если был дан верный ответ без каких-либо комментариев или рассуждения были в корне неправильными.

9.4. В горной местности (вне широт тропиков) ночью в октябре выпал тонкий однородный слой снега. Перед вами кадр, полученный на следующий день, вблизи местного

полудня. Температура воздуха в момент съёмки около 0° С. В каком полушарии сделан снимок? Обязательно аргументируйте ответ. (20 баллов)

Решение: Чтобы определить в каком полушарии сделан снимок, важно понимать, как движется Солнце вне широт тропиков в каждом из них. В обоих полушариях светило восходит на востоке и заходит на западе. В северном полушарии: Солнце проходит верхнюю кульминацию над точкой юга. Направление вращения светила по эклиптике совпадает с движением хода часовой стрелки. В южном же полушарии звезда кульминирует над горизонтом в точке севера, и направление оборота Солнца вокруг Земли против хода часовой стрелки. (7 баллов за понимание движения Солнца по небесной сфере)

Так как воздух в горах разреженный и имеет низкую теплопроводность, то при 0° С тонкий слой снега начнет быстро таять только при попадании на него солнечных лучей, при этом, находящийся в тени, он будет продолжать лежать. (4 балла)

При внимательном рассмотрении фотографии можно заметить, что с одной стороны в тени снега нет. Он лежит только под самым камнем. Эта сторона была нагрета при восходе светила. При этом вблизи местного полудня с правой стороны кадра снежный покров продолжает наблюдаться в освещенной Солнцем части. Т.е. до этого данный участок был в тени. Можно сделать вывод, что звезда проходит свой путь, направление которого совпадает с ходом часовой стрелки (за анализ фотографии подобной аргументацией 7 баллов). Следовательно, это северное полушарие. (2 балла за правильный ответ)

Ответ: В северном полушарии.

Примечание: Аргументация в стиле «это северное полушарие, поскольку в октябре лежит снег» в корне не верна оценивается в 0 баллов. В горах, на значительной высоте (как раз из-за низкой теплопроводности разреженного воздуха), снег или лёд могут наблюдаться круглый год независимо от полушария.

9.5. Вам предложена слепая карта звёздного неба, видимого в Казани в $20^{\text{h}} 30^{\text{m}} 20$ января 2025 года (день проведения олимпиады). На ней обозначены видимые невооружённым глазом объекты до 4^{m} . Внешняя дуга – часть линии математического горизонта. Прямо перед вами юг, слева – восток, справа – запад. Подпишите яркие звёзды и обозначьте контуры известных вам созвездий, а также четыре движущихся объекта, обозначенных на карте и не являющихся звёздами. (25 баллов)

Решение: указаны четыре движущихся объекта, обозначенных на карте и не являющихся звёздами: Марс, Юпитер, Венера, Сатурн (за верное указание каждой планеты по 2 балла. В сумме максимально 8)

За каждую правильно подписанную/обозначенную звезду или созвездие по 1 баллу. В сумме не больше 17 баллов.

Рисунок с подписями созвездий и ярких светил для задачи 9.5 (внизу)



Справочные данные:

Продолжительность тропического года $T=365.2422$ средних солнечных суток; длительность синодического периода обращения Луны 29.5 дня, сидерического – 27.3 дня; $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^8 \text{ км}$; $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.}$, наклонение экватора Земли к плоскости эклиптики $\epsilon = 23^\circ 26'$; Масса Солнца $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$; Масса Земли $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$, радиус Земли 6371 км, Луны 1737 км, Солнца – $6.96 \cdot 10^5 \text{ км}$; видимая звездная величина полной Луны -13^m , Солнца -27^m ; большая полуось орбиты Луны 385 000 км; большая полуось орбиты Марса 1.52 а.е; эксцентриситет орбиты Марса 0.09; скорость света в вакууме $c=299792 \text{ км/с}$; гравитационная постоянная $G=6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$.