

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

10-11 класс

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

11.1. 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. (15 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. (4 балла 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 2 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. (2 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)

11.2. 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)? (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 касаясь 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: $m_3 - m_M = -2.5 * \lg(E_3/E_M)$ или

$2.512^{(m_M - m_3)} = E_3 / E_M$. (3 балла за формулу) Освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния до Луны: $E_3/E_M = (r_M/r)^2$, где r – расстояние от Земли до Луны. Тогда итоговая формула с вычислениями выглядит:

$m_3 - m_M = 5 * \lg(r/r_M)$ (3 балла за итоговую формулу. Если формула Погсона была сразу написана через расстояния, то также 6 баллов, как и через вывод); $m_M = m_3 - 5 * \lg(r/r_M) = -0.67^m$ (1 балл за итоговый ответ. 0 баллов, если вычислено с ошибкой более 0.5^m).

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: -0.67^m

3. В декабре 2013 года потсдамский астрофизик Р.-Д. Шольц сообщил об открытии слабой звезды-красного карлика в созвездии Единорога, имеющей величину 18.3^m , параллакс $\pi = 0.166''$, лучевую скорость $V_r = 83$ км/с и собственное движение $\mu = 0.0001''$ в год. Вычислите момент наибольшего сближения звезды и Солнца и расстояние между ними в это время. Прокомментируйте полученный результат. (20 баллов)

Решение: Для начала необходимо построить рисунок с движением этой звезды, разложив скорости на лучевую и тангенциальную компоненты. (За правильное построение рисунка 4 балла) Определим на каком расстоянии от нас сейчас находится эта звезда по формуле: $d = 1/\pi'' = 1/0.166'' = 6.02$ пк. (1 балл за формулу) Переведем расстояние в км:

$6.02 * 206265 * 1.496 * 10^8 \approx 1.86 * 10^{14}$ км. (1 балл за правильно полученный численный ответ)

Звезда пройдет это расстояние за: $t = d/V_r$ (1 балл за формулу)

$t = 1.86 * 10^{14} / 83 = 2.24 * 10^{12}$ с $= 2.24 * 10^{12} / (3600 * 24 * 365) = 71030$ лет ≈ 71 тыс. лет. (1 балл за правильно полученный численный ответ) Так как лучевая скорость ($V_r = 83$ км/с) положительна, то звезда на данный момент времени от нас удаляется. Следовательно, наибольшее сближение звезды и Солнца было примерно 71 тысячу лет тому назад.

Чтобы найти минимальное расстояние между звездами в момент их сближения, вычислим тангенциальную компоненту скорости звезды по формуле: $V_t = 4.74 * \mu * d$ (1 балл за формулу)

$V_t = 4.74 * 0.0001 * 6.02 = 2.85 * 10^{-3}$ км/с (1 балл за правильно полученный численный ответ) Минимальное расстояние между звездой и Солнцем – расстояние, которое пройдет звезда с этой скоростью перпендикулярно направлению ее основного движения от Солнца до звезды в настоящий момент: $r = V_t * t$ (1 балл за формулу)

$r = 2.85 * 10^{-3} * 2.24 * 10^{12} = 6.38 * 10^9$ км $= 6.38 * 10^9 / 1.496 * 10^8 \approx 42.65$ а.е. (1 балл за правильно полученный численный ответ)

Получается, что звезда была в тот момент времени на минимальном расстоянии от Солнца чуть дальше, чем сейчас проходит орбита Плутона. При таком тесном сближении Солнечная система, вероятно, разрушилась бы, но все измеренные величины имеют неизбежные погрешности

определения, поэтому в реальности расстояние должно было быть больше. (4 балла за комментарий к полученному ответу).

Ответ: , Наибольшее сближение звезды и Солнца было примерно 71 тысячу лет тому назад. Расстояние между ними, исход из данных задачи, в это время было примерно 43 а.е.. В реальности оно должно было быть больше, чтобы сохранилась планетная система.

11.4. 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. (15 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. (5 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 самим 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 с подобной аргументацией 5 балла). Следовательно, это северное полушарие. (1 балл 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.

11.5. Вам предложена слепая карта звёздного неба, видимого в Казани в 20^h 30^m 20 января 2025 года (день проведения олимпиады). На ней обозначены видимые невооружённым глазом объекты до 4^m. Внешняя дуга – часть линии математического горизонта. Подпишите яркие звёзды и обозначьте контуры известных вам созвездий, а также четыре объекта, обозначенных на карте и не являющихся звёздами. Определите примерную высоту верхней кульминации объекта, обозначенного стрелкой. (30 баллов)

Решение: указаны четыре движущихся объекта, обозначенных на карте и не являющихся звёздами: это планеты 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.

Определение примерной высоты верхней кульминации (В сумме 5 баллов): На карте предоставлена сетка, отображающая экваториальную систему координат (прямое восхождение и склонение). Объект, обозначенный стрелкой, - Сириус. Чтобы определить высоту верхней кульминации, можно использовать склонение δ звезды и широту места наблюдения. Оценить ее можно благодаря карте. Для начала найдем небесный меридиан. **(за его нахождение на карте 2 балла)** Суточная параллель, пересекающая эклиптику в одном из углов сетки в созвездии рыб и проходящая рядом с поясом Ориона, и есть небесный экватор. Его склонение $\delta = 0$. От северного полюса мира до небесного меридиана обозначено 9 суточных параллелей, а до математического горизонта 12. Приняв склонение Полярной звезды за $+90^\circ$ (с учетом ее отклонения от северного полюса на $44'$ и погрешности оценки «на глаз» в 1°), можно определить шаг сетки склонения 10° и, следовательно, диапазон склонения на предоставленном участке карты равен $[-30^\circ; +90^\circ]$. Склонение Сириуса тогда будет $-17^\circ \pm 1^\circ$. **(1 балл)** Высота верхней кульминации вычисляется по формуле: $h = 90^\circ - \varphi + \delta$, **(1 балл за формулу)**, где φ – широта наблюдателя. Для Казани $\varphi = 55^\circ 47' \approx 56^\circ$. Тогда: $h = 90^\circ - 56^\circ - 17^\circ = 17^\circ \pm 3^\circ$. **(1 балл за численный ответ в пределах этой погрешности)**. Другим способом определения высоты является её оценка непосредственно по карте от линии горизонта до суточной параллели Сириуса в верхнюю кульминацию. При этом так же требуется предварительно определить масштаб координатной сетки.

Рисунок с подписями созвездий и ярких светил для задачи 11.5



Справочные данные:

Продолжительность тропического года $T=365.2422$ средних солнечных суток; длительность синодического периода обращения Луны 29.5 дня, сидерического – 27.3 дня; 1 а.е. = $1.496 \cdot 10^8$ км; 1 пк = 206265 а.е, наклонение экватора Земли к плоскости эклиптики $\epsilon=23^\circ 26'$; Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг; Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, радиус Земли 6371 км, Луны 1737 км, Солнца – $6.96 \cdot 10^5$ км; видимая звездная величина полной Луны -12.7^m , Солнца -26.7^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 $c=299792$ км/с; гравитационная постоянная $G=6.67 \cdot 10^{-11}$ м³/кг·с²..