

**Ключи к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии 2022-2023 учебный год  
11 класс**

*Продолжительность олимпиады: 120 минут.*

*Максимально возможное количество баллов: 48*

**Общие критерии оценок**

Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.

Если задача решена отличным от авторского способа, то решение оценивается согласно приведённых ниже критериев.

Таблица 1

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
<b>8</b>	полное верное решение
<b>5-7</b>	задание выполнено полностью, но имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение
<b>3-6</b>	задание частично выполнено
<b>2-3</b>	приведён правильный ответ без обоснования или с неверным обоснованием на сложное задание
<b>1-2</b>	попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания
<b>1</b>	приведён правильный ответ без обоснования на простое задание
<b>0</b>	решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка
<b>0</b>	решение отсутствует

**Критерии проверки**

Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

Рекомендуется проверять сначала первую задачу во всех работах, затем вторую и т.д.

Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами. Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценок). Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, члены жюри заносит её в таблицу (см. табл. № 2) на первой странице работы и ставит свою подпись (с расшифровкой) под оценкой. В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела. Это позволит точнее оценить правильную часть решения и сэкономит время в случае апелляции

Таблица 2

№ задания	Набранные баллы
1	
2	
3	
4	
Итого	

### Задача № 1

Планетарная туманность «Кольцо» (M57) находится от нас на расстоянии 2300 световых лет. Она расширяется со скоростью 25 км/с и сейчас имеет видимый угловой размер  $2,5'$ . Определите, как давно центральная звезда этой туманности сбросила свою оболочку? Когда это могли увидеть «наблюдатели» на Земле? Определите среднюю плотность, если масса сброшенной оболочки составляет  $0,2M$ , а толщина сферического слоя составляет примерно 1% от радиуса туманности. Считать объем сферы равным:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

### Решение

$$D_{M57} = L \cdot \frac{\alpha_{M57}}{206265} = 2300 \cdot \frac{2,5 \cdot 60}{206265} = \boxed{1,67 \text{ св.лет}}$$

Теперь определим время расширения туманности, не забыв, что нашли диаметр, а туманность расширяется в обе стороны к нам и от нас:

$$\tau_{M57} = \frac{D_{M57}}{2 \cdot V_{M57}}$$
$$\tau_{M57} = \frac{1,67 \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 365,25 \cdot 86400}{2 \cdot 25} = \boxed{10^4 \text{ лет}}$$

Значит, на небе Земли событие появления планетарной туманности произошло 10 000 лет назад, около  $\boxed{7979 \text{ г. до н.э.}}$

Определим объем, в котором заключена масса, считая, что она распределена равномерно в сферическом слое.:

$$V = \frac{4}{3}\pi(r_1^3 - r_2^3) = \frac{4}{3}\pi(1^3 - 0,99^3) \left(\frac{D_{M57}}{2 \cdot 3,26}\right)^3 = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ пк}^3$$

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{2,1 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^{16})^3} = \boxed{6,5 \cdot 10^{-18} \text{ кг/м}^3}$$

### Задача № 2

На каком расстоянии от наблюдателя освещённость от Солнца будет такой же, как от лампы мощностью 100 Ватт на расстоянии в 1 метр? Сравните с расстоянием от Солнца до Земли (150 млн км). Считайте, что половина излучения Солнца приходится на видимый диапазон (КПД – 50%), а КПД лампы – 10%. Полная светимость Солнца составляет  $4 \cdot 10^{26}$  Вт.

### Решение

Освещённость обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света. Приравняем освещённость от Солнца и лампы:

$$\frac{\eta_{\text{Солнце}} \cdot L_{\text{Солнце}}}{r_{\text{Солнце}}^2} = \frac{\eta_{\text{Лампа}} \cdot L_{\text{Лампа}}}{r_{\text{Лампа}}^2}$$

Таким образом, искомое расстояние равно

$$r_{\text{Солнце}} = \sqrt{\frac{\eta_{\text{Солнце}} \cdot L_{\text{Солнце}} \cdot r_{\text{Лампа}}^2}{\eta_{\text{Лампа}} \cdot L_{\text{Лампа}}}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 4 \cdot 10^{26}}{0,1 \cdot 100}} = 4,47 \cdot 10^{12} \text{ метров,}$$

что составляет примерно 30 расстояний между Солнцем и Землёй (астрономических единиц).

### Задача № 3

Ближайшее теневое лунное затмение произойдет 28 октября 2023 года и будет частным. Оно будет видно на территории Татарстана. Будет ли оно наблюдаться на Северном Полюсе Земли?

#### Решение

Лунное затмение (в отличие от солнечного) видно всюду, где в момент его наступления Луна находится над горизонтом (2 балла за тезис про одновременность). Учтя, что 28 октября Солнце находится в Южном полушарии Земли, склонение его отрицательно. Поэтому склонение Луны в фазе полнолуния (т.е. находящейся для наблюдателя на Земле в протоположной Солнцу точке) положительно (2 балла за тезис про противоположность и положительность склонения). Это означает, что Луна на Северном полюсе Земли не заходит (2 балла). Поэтому затмение будет там наблюдаться (2 балла за верный вывод). Тем более, что в это время на полюсе полярная ночь.

### Задача № 4

Одна очень развитая цивилизация нашла целое облако планет, похожих на наш Юпитер. Сколько таких планет понадобится, чтобы создать звезду, похожую на Солнце? Масса Солнца 21030 кг, масса Юпитера  $\approx 21027$  кг. Ответ поясните.

#### Решение

Химические составы Юпитера и Солнца достаточно похожи. Поэтому для получения звезды надо только лишь собрать нужную массу, дальше гравитация сделает всё сама. Значит, нужно порядка 1000 Юпитеров для создания Солнца.

### Задача № 5

Астероид (2) Паллада имеет сидерический период обращения равный 4.62 года, эксцентриситет его орбиты составляет  $e = 0.231$ . Определите, большую полуось орбиты, максимальное и минимальное расстояние Паллады от Солнца, и от Земли. Орбиту Земли считать круговой.

**Решение.** Определим большую полуось орбиты, используя 3-й закон Кеплера, сравнив с системой Солнце-Земля:

$$\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}.$$

Выразим большую полуось Паллады

$$a = a_{\oplus} \left( \frac{T}{T_{\oplus}} \right)^{\frac{2}{3}} = 1 \left( \frac{4.62}{1} \right)^{\frac{2}{3}} = \boxed{2.77 \text{ а.е.}}$$

Минимальное и максимальное расстояние от Солнца, это перигелийное и афелийное расстояния:

$$q = a(1 - e) = 2.77(1 - 0.231) = \boxed{2.13 \text{ а.е.}}$$

$$Q = a(1 + e) = 2.77(1 + 0.231) = \boxed{3.41 \text{ а.е.}}$$

Так как орбиту Земли мы считаем круговой, то минимальное расстояние будет тогда, когда Паллада будет находится в перигелии, и одновременно в противостоянии с Землей. То есть, Земля будет находится на линии Паллада - Солнце, между ними:

$$\Delta_{min} = q - a_{\oplus} = 2.13 - 1 = \boxed{1.13 \text{ а.е.}}$$

А максимальное расстояние будет тогда, когда Солнце будет между Палладой и Землей, Паллада же должна быть в афелии орбиты:

$$\Delta_{max} = Q + a_{\oplus} = 3.41 + 1 = \boxed{4.41 \text{ а.е.}}$$

### Задача № 6

Известно, что орбита Луны наклонена к плоскости эклиптики на угол, примерно равный  $5^\circ$ . В каком диапазоне высот во время дня осеннего равноденствия может наблюдаться полная Луна в верхней кульминации в Москве (в точке с координатами  $\varphi = 56^\circ$ ,  $\lambda = 37^\circ$ )? Приведите решение.

### Решение

В день осеннего равноденствия Солнце находится в точке осеннего равноденствия – точке пересечения эклиптики и небесного экватора, и его склонение равно  $0^\circ$ . В описываемый в условии задачи момент Луна была в фазе полнолуния, а значит, она находилась в окрестности точки весеннего равноденствия. При этом из-за того, что плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости эклиптики на угол в  $5^\circ$ , склонение Луны лежит в диапазоне от  $-5^\circ$  до  $+5^\circ$  (мы пренебрегаем некоторым изменением склонения Луны, связанным с тем, что между моментом полнолуния и моментом верхней кульминации могло пройти некоторое время).

Как известно, высота объекта в верхней кульминации связана с его склонением и широтой пункта наблюдения формулой:

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta$$

Подставив значения, получим  $h_{\min} = 29^\circ$ ,  $h_{\max} = 39^\circ$ .

Этот же ответ можно получить, вспомнив, что в Москве небесный экватор находится над точкой юга на высоте  $34^\circ$ . Луна будет находиться в диапазоне  $\pm 5^\circ$  от него.

**Ответ:** диапазон высот от  $29^\circ$  до  $39^\circ$  (допускается отклонение от указанных границ в несколько угловых минут при использовании более точного значения наклона орбиты Луны)