

**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



**1. Солнечный парус (8 баллов).**

Для межпланетных путешествий можно использовать солнечный парус. Представьте, что космический зонд массой 10 т раскрыл солнечный парус из алюминиевой фольги (плотность  $\rho$  алюминия  $2700 \text{ кг/м}^3$ ), находившийся ранее внутри и занимавший половину веса зонда. Найдите толщину  $d$  этого паруса площадью  $S = 6\,400\,000 \text{ м}^2$ .

**Решение:**

Масса паруса  $M = \rho V = \rho dS$ , где  $M = 5$  тонн. (4 балла). Отсюда  $d = M / \rho S = 0,29 \text{ мкм}$  (4 балла).

**2. Цефеида (8 баллов).**

Во сколько раз изменится радиус цефеиды, если амплитуда изменения ее блеска равна  $1,5^m$ , а яркость единицы ее поверхности остается постоянной?

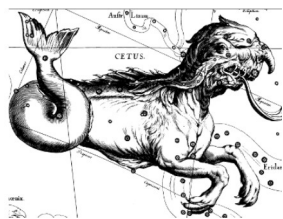
**Решение:**

По условию задачи поверхностная яркость (и эффективная температура) цефеиды остается постоянной, и блеск изменяется только за счет изменений её пространственных и видимых размеров. В этом случае справедлива формула:

$$\Delta m = 5 \lg R_2/R_1, \text{ (3 балла)}$$

где  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы цефеиды в минимуме и максимуме блеска (2 балла). Подставляя числовое значение величины  $\Delta m$ , получаем, что в максимуме цефеида имеет в 2 раза (3 балла) больший радиус, чем в минимуме.

**3. Марс как две Луны (8 баллов).** В социальных сетях периодически появляются сообщения, что однажды (дата все время меняется!) Марс будет виден на небе, как две Луны. Определите, являются ли такие сообщения фейком или описанная ситуация все-таки возможна? Оцените, каким должно быть расстояние до Марса, чтобы его площадь



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



на небе в 2 раза превышала площадь полной Луны. Необходимые дополнительные данные можно найти в Справочных материалах.

**Возможное решение:**

Пусть  $D$  – диаметр Марса (или Луны), а  $R$  – расстояние до Марса (или Луны).

Из Справочных материалов находим, что среднее расстояние от Земли до Луны – 384 400 км, радиус Луны – 1738 км (соответственно, диаметр 3476 км), радиус Марса – 3397,2 км (диаметр 6794,4 км).

Тогда угловой размер  $\rho$  Марса (или Луны) можно определить из уравнения

$$\operatorname{tg} \frac{\rho}{2} = \frac{D}{2R}$$

Принимая во внимание малость угла  $\rho$ , тангенс угла можно заменить самим углом, выраженным в радианах. Отсюда получаем

$$R = \frac{D}{\rho} \quad (1) - 2 \text{ балла}$$

Для того чтобы площадь Марса на небе была вдвое больше площади полной Луны, видимый диаметр Марса должен быть в  $\sqrt{2}$  раз больше видимого диаметра Луны.

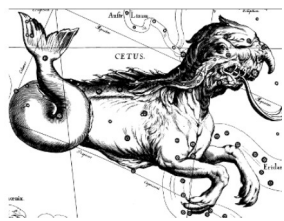
$$\rho_M = \sqrt{2} \cdot \rho_L. \quad (2) - 1 \text{ балл}$$

Отсюда получаем расстояние до Марса:

$$R_M = (R_L \cdot D_M) / (\sqrt{2} \cdot D_L) = 384400 \cdot 6794,4 / (\sqrt{2} \cdot 3476) = 531\,300 \text{ км. } (2 \text{ балла})$$

Получается, для реализации того, что пишут в постах в соцсетях Марс должен быть от Земли на расстоянии ближе, чем 530 тыс. км. В действительности Марс никогда не подходит к Земле так близко. Ближе всего Марс оказывается к Земле в моменты противостояния. Самое ближайшее расстояние будет тогда, когда такая конфигурация реализуется в случае нахождения Земли в афелии, а Марса в перигелии своих орбит. Следовательно, минимальное расстояние:

$$a_M(1 - e_M) - a_3(1 + e_3) = 1,5237 \cdot (1 - 0,0934) - 1 \cdot (1 + 0,0167) = 0,3647 \text{ а.е.} = 54\,557 \text{ млн. км. } (2 \text{ балла})$$



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



Поэтому посты подобного рода – фейк. **(1 балл)**

**Оценивание.**

Максимальная оценка за это задание – 8 баллов. Задачу можно условно разбить на 4 этапа. Во-первых, надо найти зависимость углового размера Марса (или Луны) от размера и расстояния до него. За этот этап ставится **2 балла** (формула (1)). Во-вторых, надо понимать, что изменение диаметра окружности в  $k$  раз приводит к изменению площади в  $k^2$  раз, и наоборот. За этот вывод ставится **1 балл** (формула (2)). Верный расчёт расстояния оценивается еще в **2 балла**. И, наконец, за доказательство того, что Марс не может приближаться на такое расстояние и вывод о том, что сообщения не соответствуют действительности – еще **2 балла**. Явное указание на то, что новость – фейк, оценивается в **1 балл**. **Итого 8 баллов**. В случае, если вывод о фейковости новости сделан без доказательства невозможности того, что Марс может располагаться на таком расстоянии от Земли, то за весь последний этап ставится **1 балл** и максимальная оценка за задачу не может превышать **6 баллов**.

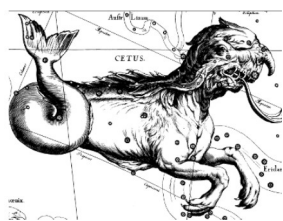
**4. Двойная звезда (8 баллов).** Вычислите массу (в массах Солнца) каждой из звезд, входящих в состав такой двойной звезды, у которой параллакс  $0,5''$ , период обращения 80 лет, большая полуось орбиты видна с Земли под углом  $18''$ , а звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 3:1.

**Возможное решение:**

Пусть  $\pi = 0,5''$  – параллакс двойной звезды. Тогда расстояние до нее можно найти по формуле:  $r = 1/\pi = 2$  парсека. **(1 балл)**

Зная расстояние до звезды и видимый угловой размер большой полуоси можно найти реальный размер большой полуоси орбиты:

$$a = r\alpha = 2 \text{ парсека} \cdot 18'' = 36 \text{ а.е.} \quad \textbf{(2 балла)}$$



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



Воспользуемся обобщенным третьим законом Кеплера, чтобы найти сумму масс компонент двойной звезды. Двойную звезду будем рассматривать в сравнении с системой Земля-Солнце.

$$(T_3)^2 (M_c + m_3) / (T^2 \cdot (m_1 + m_2)) = (a_3)^3 / a^3. \quad (1) \quad (2 \text{ балла})$$

Массой Земли по сравнению с массой Солнца можно пренебречь.  $T_3 = 1$  год,  $a_3 = 1$  а.е.

Тогда:  $m_1 + m_2 = a^3 M_c / T^2 = 7,29 M_c. \quad (1 \text{ балл})$

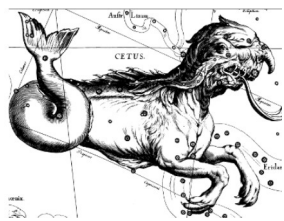
Для двойных звезд:  $m_1 r_1 = m_2 r_2$ , тогда  $m_2 = 3 m_1$ . Отсюда:  $m_1 = 1,82$  массы Солнца,  $m_2 = 5,47$  массы Солнца. **(2 балла)**

***Примечание:** за написание третьего закона Кеплера в обобщенном виде (формула (1)) участник получает 2 балла, даже если не использовал его в дальнейшем решении. За арифметические ошибки общая оценка за задачу снижается на 1 балл.*

**5. Высота Луны (8 баллов).** 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  $\varphi = 56^\circ$ ,  $\lambda = 37^\circ$ )?

**Возможное 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).



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год  
Длительность 3 часа.      Максимум 48 баллов.



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)

**Критерии оценивания:**

- Указание на то, что Луна в описываемое время находилась в точке весеннего равноденствия (или была близка к небесному экватору) оценивается в **+2 балла**.
- За обоснование указания из предыдущего пункта **+2 балла**.
- За верную запись или вывод формулы для кульминации **+2 балла**.
- Определение высоты Луны оценивается в **+1 балл за каждый из случаев** ( $h_{\min}$  и  $h_{\max}$ ).

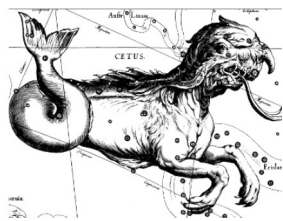
**Максимум за задачу 8 баллов.**

**6 Миллион Лун (8 баллов).** Один фантаст предложил сделать из вещества Луны миллион сферических спутников, поместив их примерно в том же месте, где Луна была в полнолуние, причем так, чтобы они не заслоняли друг друга. Оцените, какая видимая звездная величина будет у этого миллиона маленьких Лун вместе взятых?

**Возможное решение:** Если сделать спутники из того же вещества, что и Луна, то из альбедо (отражательная способность) будет той же самой. Следовательно, необходимо сравнить площади отражающей поверхности Луны и миллиона спутников.

Так как общий объем спутников равен объему Луны, то радиус каждого спутника будет в 100 раз меньше радиуса Луны:

$$4/3\pi R^3 = 10^6 \cdot 4/3\pi r^3, \text{ значит } R = 100r. \text{ (2 балла).}$$



**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по астрономии**

11 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 48 баллов.



Площадь отражающей поверхности каждого спутника тогда будет в  $100^2 = 10000$  раз меньше площади Луны, а суммарная площадь окажется в 100 раз больше поверхности Луны. **(1 балл).**

Так как отраженный световой поток будет пропорционален площади отражающей поверхности, то это множество маленьких спутников будет светить в 100 раз ярче, чем Луна. **(2 балла).**

Далее либо воспользуемся формулой Погсона, либо вспомним, что отношению освещенностей 1:100 соответствует разность видимых звездных величин  $\Delta m = 5^m$  (**2 балла** ставится либо за формулу Погсона, либо за указание связи отношения освещенностей и разницы видимых звездных величин), откуда получим, что искомая звездная величина  $m = -12,7 - 5 = -17,7^m$ . **(1 балл за верный конечный ответ).**