

**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 ρ алюминия 2700 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 $d = M / \rho S = 0,29$ 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?

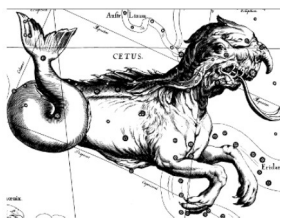
Решение:

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 Δm , 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 ρ Марса (или Луны) можно определить из уравнения

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

Принимая во внимание малость угла ρ , 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.

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

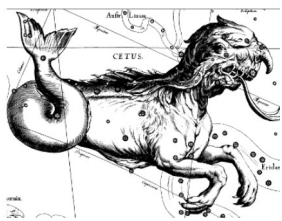
Отсюда получаем расстояние до Марса:

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

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.

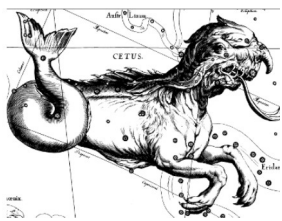
4. Двойная звезда (8 баллов). Вычислите массу (в массах Солнца) каждой из звезд, входящих в состав такой двойной звезды, у которой параллакс $0,5''$, период обращения 80 лет, большая полуось орбиты видна с Земли под углом $18''$, а звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 3:1.

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:

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



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.

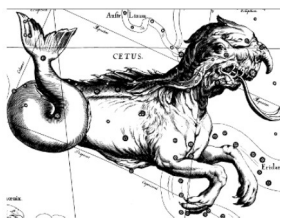
Тогда: $m_1 + m_2 = a^3 M_c / T^2 = 7,29 M_c. \quad (1 \text{ балл})$

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° . 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° . 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° , склонение Луны лежит в диапазоне от -5° 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° . Луна будет находиться в диапазоне $\pm 5^\circ$ от него.

Ответ: диапазон высот от 29° до 39° (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}).

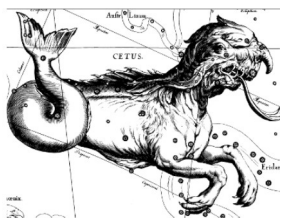
Максимум за задачу 8 баллов.

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 их альbedo (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:

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



**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).**