

**Ключи к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
2020-2021 учебный год**

**11 класс**

*Продолжительность олимпиады: 180 минут. Максимально возможное количество баллов: 48*

**Задание 1. Во сколько раз звезда Вега ярче Солнца (8 баллов)**

*Решение:* Для решения применим формулу, которая связывает видимую звездную величину  $m$  с абсолютной звездной величиной  $M$

$$M = m + 5 - 5/\lg D,$$

где  $D$  - расстояние от звезды до Земли в парсеках,  $D = 8,1$  пк;

$m$  - звездная величина,  $m = 0,14$

$M$  - звездная величина, которую наблюдали бы с расстояния данной звезды со стандартного расстояния 10 парсек.

$$M = 0,14 + 5 - 5/\lg 8,1 = 0,14 + 5 - 5*0,9 = 0,6$$

Абсолютная звездная величина связана со светимостью  $L$  формулой

$$\lg L = 0,4 (5 - M);$$

$$\lg L = 0,4 (5 - 0,6) = 1,76;$$

$$L = 58$$

*Ответ:* в 58 раз ярче Солнца

*Критерии оценивания:*

8 баллов	Получено решение с правильным ответом.
6-7 баллов	Идея решения верна, но допущены математические ошибки.
4-5 баллов	По усмотрению проверяющего, за разумные идеи
1-3 балла	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученное решение не полно
0 баллов	Решение неверное, или отсутствует

**Задание 2. Солнечные затмения (8 баллов)**

*Ответ:* Во время частного затмения Солнце наблюдается в виде яркого полумесяца. Промежутки между листьями являются небольшими отверстиями. Они, работая, как отверстия в камере обскуре дают на Земле множественные изображения серпов, которые легко принять за когти.

*Критерии оценивания:*

8 баллов	Получено решение с правильным ответом.
6-7 баллов	Идея решения верна, но допущены математические ошибки.
4-5 баллов	По усмотрению проверяющего, за разумные идеи
1-3 балла	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученное решение не полно
0 баллов	Решение неверное, или отсутствует

**Задание 3. Диаметр звезды Арктур (8 баллов)**

*Решение:*

$$D_A = \sqrt{L} \cdot \frac{T_A^2}{T_C^2},$$

Воспользуемся формулой

$D_A$  - диаметр Арктура по отношению к Солнцу;

$L = 100$  - светимость Артура;

$T_A = 4500$  К - температура Арктура;

$T_C = 6000$  К - температура Солнца

*Ответ:*  $D_A \approx 5,6$  диаметров Солнца

*Критерии оценивания:*

8 баллов	Получено решение с правильным ответом.
6-7 баллов	Идея решения верна, но допущены математические ошибки.
4-5 баллов	По усмотрению проверяющего, за разумные идеи
1-3 балла	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученное решение не полно
0 баллов	Решение неверное, или отсутствует

**Задание 4. Наблюдение Луны****(8 баллов)**

*Ответ:* затмения бывают тогда, когда Солнце, Земля и Луна находятся на одной прямой. Перед солнечным затмением Луна не успеет дойти до линии Земля - Солнце. Но при этом за сутки будет вблизи неё. Эта фаза соответствует новолунию, когда луна обращена к земле тёмной стороной, и к тому же теряется в лучах Солнца - поэтому не видна.

За сутки перед лунным затмением Луна не успевает дойти до линии Солнце - Земля. В это время она находится в фазе полнолуния, и поэтому видна.

*Критерии оценивания:*

8 баллов	Получено решение с правильным ответом.
6-7 баллов	Идея решения верна, но допущены математические ошибки.
4-5 баллов	По усмотрению проверяющего, за разумные идеи
1-3 балла	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученное решение не полно
0 баллов	Решение неверное, или отсутствует

**Задание 5. Звездолет будущего****(8 баллов)***Решение:*

$v_2 - ?$

$v_1 = 20 \text{ км/с} = 2 \cdot 10^4 \text{ м/с}$

$r = 1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$

$A = 2 \text{ а.е.}$

$m_o = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$

$T = 1 \text{ сут} = \frac{1}{365} \text{ года}$

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

Найдём сумму масс спектрально-двойных звёзд по формуле  $m_1 + m_2 = \frac{A}{T} * m_o = 1,46 \cdot 10^{33} \text{ кг}$

Скорость убегания рассчитаем по формуле второй космической скорости (поскольку расстояние между компонентами спектрально- двойной звезды - 2 а.е. много меньше 1пк)

$$v_2 = \sqrt{2G \frac{M}{r}} = 2547,966 \text{ м/с} = 2,5 \text{ км/ч}$$

*Ответ:* 2,5 км/ч, скорость звездолета больше, поэтому улетит.

*Критерии оценивания:*

8 баллов	Получено решение с правильным ответом.
6-7 баллов	Идея решения верна, но допущены математические ошибки.
4-5 баллов	По усмотрению проверяющего, за разумные идеи
1-3 балла	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученное решение не полно
0 баллов	Решение неверное, или отсутствует

**Задача 6. Марс. Фантастический проект****(8 баллов)**

*Решение.* Атмосферное давление у поверхности Земли  $p$  составляет  $10^5 \text{ Па}$  и равно весу столба атмосферы площадью  $1 \text{ м}^2$ . Все то же самое будет относиться и к Марсу, но нельзя забывать, что ускорение свободного падения  $g$  на Марсе другое. Масса этого столба с площадью основания  $1 \text{ м}^2$  составит:

$$n_s = \frac{p}{g} = \frac{pR^2}{GM}$$

Здесь  $M$  и  $R$  – масса и радиус Марса. Данное выражение можно получить другим, более сложным способом. Концентрация атомов в атмосфере у поверхности Марса равна

$$n = \frac{p}{kT}$$

Здесь  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура атмосферы. Число атомов в столбе атмосферы единичной площади есть произведение концентрации на высоту однородного столба атмосферы  $H$ :

$$n_s = nH = \frac{p}{kT} \cdot \frac{\mathcal{R}T}{\mu g} = \frac{N_A p}{\mu g} = \frac{p}{mg}.$$

Здесь  $N_A$  – постоянная Авогадро,  $\mu$  и  $m$  – молярная и молекулярная масса газа. Учтывая, что  $m_s = m \cdot n_s$ , мы вновь приходим к первой формуле решения задачи.

Масса столба оказывается равной  $2.7 \cdot 10^4$  кг/м<sup>2</sup>. Обратим внимание, что высота атмосферы и толщина грунта существенно меньше радиуса планеты, ускорение свободного падения мы считаем постоянным. Массовая доля кислорода в молекуле Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> равна

$$\eta = \frac{3A_{\text{O}}}{2A_{\text{Fe}} + 3A_{\text{O}}} \approx 0.31.$$

Здесь  $A_{\text{O}}$  и  $A_{\text{Fe}}$  – атомные веса кислорода и железа. Чтобы наполнить столб атмосферы требуемым количеством кислорода, нужно переработать столб грунта Марса той же площади (так как обработке подвергается вся планета) глубиной  $h$ . Масса этого столба будет равна

$$m_{\text{GS}} = \frac{m_s}{\eta} = m_s \frac{2A_{\text{Fe}} + 3A_{\text{O}}}{3A_{\text{O}}}.$$

Масса столба получается равной  $9 \cdot 10^4$  кг/м<sup>2</sup>. Теперь мы можем найти его глубину

$$h = m_{\text{GS}}/\rho = 25 \text{ м}.$$

Здесь  $\rho$  – плотность грунта, которую нужно перевести в нужные единицы (при выполнении решения в системе СИ – в кг/м<sup>3</sup>).

**Система оценивания.** Существует несколько подходов к решению данного задания. Участники олимпиады могут вычислять требуемую массу кислорода как в расчете на единицу площади (1 м<sup>2</sup> или 1 см<sup>2</sup> в зависимости от используемой системы единиц), так и в расчете на всю поверхность Марса. Правильное определение массы атмосферы на единицу площади в виде формулы или числа оценивается в **3 балла**. Эффективным и самым простым методом выполнения этого этапа является представление давления как веса столба атмосферы единичной площади. Участники могут проводить выкладки через величину однородного столба атмосферы и даже пытаться вычислить температуру Марса. Это излишние шаги, но при условии правильности вычислений они оцениваются в полной мере.

Вычисление массы грунта на единичную площадь (или площадь поверхности Марса) оценивается в **2 балла**. Если при этом участник олимпиады не учитывает или неправильно учитывает количество атомов кислорода и железа в молекуле Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, данные 2 балла не ставятся, но другие этапы решения оцениваются в полной мере. Наконец, определение глубины переработки грунта оценивается в **3 балла**.