

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



1. Поверхностная яркость (8 баллов). Любитель астрономии Витя определил, что видимая звёздная величина Луны в полнолунии равна $-12,8^m$. Оцените поверхностную яркость Луны в полнолуние в единицах «звёздная величина с квадратной угловой секунды».

Решение:

Известно, что угловой диаметр диска Луны примерно равен $30'$ или $1800''$ (участник может брать значение в диапазоне от $30'$ до $32'$, об этом сказано ниже в критериях оценивания). Тогда площадь лунного диска в квадратных угловых секундах равна:

$$S = \pi R^2 = 2,54 * 10^6.$$

Площадка поверхности Луны размером в 1 квадратную угловую секунду будет создавать на поверхности Земли освещённость E_1 в S раз меньше, чем освещённость E_2 от полной Луны. В соответствии с формулой Погсона для звёздных величин m_1 площадки и m_2 Луны можно записать:

$$m_1 - m_2 = 2,5 \lg(E_2/E_1) = 2,5 \lg S.$$

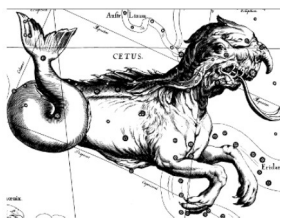
Звёздная величина 1 кв. угл. сек поверхности Луны будет равна:

$$m_1 = 2,5 \lg(2,54 * 10^6) - 12,8 = 3,2^m$$

Ответ: 3,2 звёздной величины с 1 кв. угл. сек.

Критерии оценивания:

- 1) Запись формулы Погсона (даже без её использования в решении) оценивается в 2 балла.
- 2) Этап вычисления площади лунного диска в квадратных угловых секундах с ответом в диапазоне $2,5 * 10^6$ (для радиуса Луны $15'$) – $2,9 * 10^6$ (для радиуса Луны $16'$) оценивается в 2 балла.
- 3) Вычисление поверхностной яркости оценивается от 0 до 4 баллов в зависимости от полноты и правильности.
- 4) Каждая арифметическая ошибка снижает оценку на 2 балла.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



Итого, правильный ответ (допускается ответ в диапазоне 3 – 3,4 звёздной величины с 1 кв. угл. сек) с решением оценивается в 8 баллов. Только правильный ответ (при полном отсутствии решения) оценивается в 2 балла. Максимум за задачу 8 баллов.

2. Центр масс Солнечной системы (8 баллов).

Определите, внутри или вне Солнца находится центр масс Солнечной системы, пренебрегая массами всех планет, Кроме Юпитера. Масса Солнца в 1050 раз больше массы Юпитера. Диаметр Солнца в 108 раз меньше расстояния от Земли до Солнца, а расстояние от Юпитера до Солнца составляет 5,2 а.е.

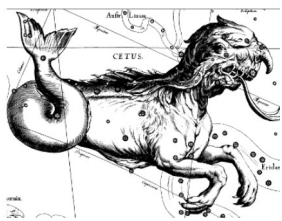
Решение:

Если мы пренебрегаем всеми планетами, кроме Юпитера, то центр масс Солнечной системы – это центр масс системы Юпитер-Солнце (2 балла), который находится от центра Солнца на расстоянии $L = ml / (M + m)$ (2 балла) $= 4,95 \cdot 10^{-3}$ а.е. = 740000 км (2 балла). Радиус Солнца составляет чуть меньше 700000 км (1 балл). Поэтому, в рамках сделанных в условии допущений, центр масс Солнечной системы находится вне Солнца (1 балл), хотя и близко к его поверхности.

3. Высота Луны в Уфе (8 баллов).

На какой максимальной высоте h может кульминировать Луна в Уфе? Наклонение эклиптики к плоскости небесного экватора составляет $\varepsilon = 23,5^\circ$. Наклонение плоскости орбиты Луны к плоскости эклиптики $i = 5,1^\circ$. Широта Уфы $\varphi = 54,7^\circ$ с.ш., долгота $\lambda = 55,9^\circ$ в.д.

Решение:



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



Максимальная высота в кульминации будет в тот момент, когда у Луны максимальное склонение (2 балла), равное $\delta = \varepsilon + i = 28,6^\circ$ (2 балла). Максимальная высота луны в верхней кульминации составит $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ (2 балла) = $63,9^\circ$ (2 балла).

Примечание: чертёж необязателен, но приветствуется :))

4. 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 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

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

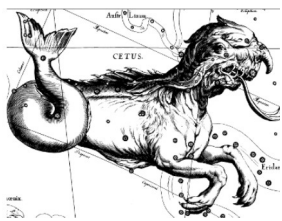
Принимая во внимание малость угла ρ , тангенс угла можно заменить самим углом, выраженным в радианах. Отсюда получаем

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

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:



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2020/2021 учебный год

Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



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

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:

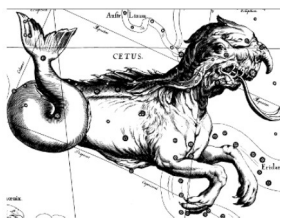
$$a_M(1 - e_M) - a_3(1 + e_3) = 1,5237 \cdot (1 - 0,0934) - 1 \cdot (1 + 0,0167) = 0,3647 \text{ а.е.} = 54\,557 \text{ млн. км. (2 балла)}$$

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.

5. 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.



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

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



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:

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

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

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

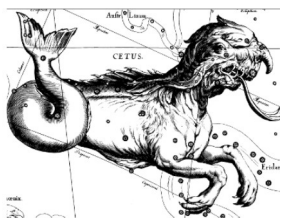
Массой Земли по сравнению с массой Солнца можно пренебречь. $T_3 = 1$ год, $a_3 = 1$ а.е.

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

Для двойных звезд: $m_1 r_1 = m_2 r_2$, тогда $m_2 = 3m_1$. 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.

6. Столкновение. (8 баллов). Однажды в далекой-далекой галактике произошло редкое событие – два одинаковых шаровых звездных скопления, движущихся вокруг центра этой галактики по одной орбите навстречу друг другу, столкнулись. Радиус каждого скопления $R = 10$ световых лет, скорость движения по орбите каждого скопления в момент столкновения $V = 300$ км/с, а столкновение центральное (т. е. центр одного скопления пройдет через центр другого скопления). Определите, сколько лет будет длиться такое столкновение.



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

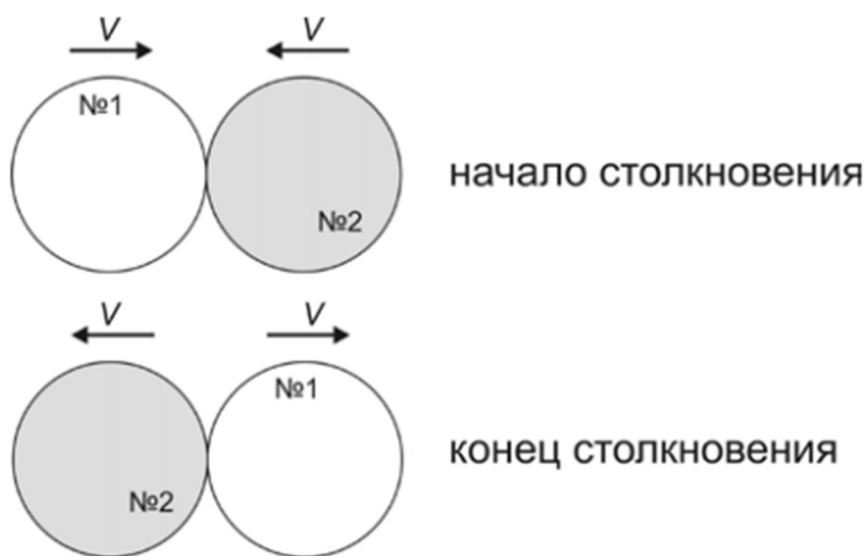
10 класс, 2020/2021 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



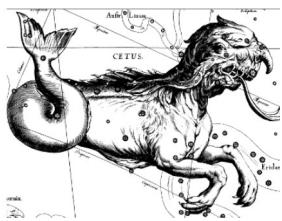
Решение:

Надо понимать, что звёздное скопление – это не сплошное тело: звёзды в нём расположены чрезвычайно редко (характерные расстояния между ними в миллионы раз превышают размеры звезды). Поэтому при столкновении скоплений столкновения звёзд наблюдаться не будут – скопления просто пройдут друг сквозь друга.

Решать задачу можно двумя способами. Можно поместить наблюдателя в центр одного из скоплений, а можно рассматривать ситуацию с точки зрения стороннего наблюдателя, например, расположенного в центре галактики. В первом случае скорость движения набегающего скопления относительно наблюдателя будет равна $2V$, а путь, который набегающее скопление должно пройти от начала до конца столкновения, будет равен $4R$. Во втором случае можно нарисовать рисунок, на котором изображено столкновение, как оно видно стороннему наблюдателю:



В этом случае видно, что скопление №2 от начала столкновения до его окончания проходит путь $2R$, двигаясь со скоростью V (аналогично для скопления №1). И в первом, и во втором случае длительность столкновения, конечно, получится одинаковой: $T = 4R/2V = 2R/V$. Получить из этой формулы численный ответ можно двумя способами – подставив все данные, выраженные в единицах СИ, либо, обратив внимание, что расстояние $2R$ свет проходит за 20 лет, двигаясь со скоростью 300 тыс. км/с. Для второго



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

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



пути сразу получается ответ, что при скорости движения в 300 км/с время, затраченное на пересечение диаметра скопления, будет в 1000 раз больше, т. е. 20000 лет.

Для первого способа выразим радиус скопления в единицах СИ: $R = 10$ световых лет $= 10 \cdot 300000 \text{ км/с} \cdot 1000 \cdot (3600 \cdot 24 \cdot 365,25 \text{ с}) \approx 9,47 \cdot 10^{16} \text{ м}$. Тогда $T = 2 \cdot 9,47 \cdot 10^{16} / 3 \cdot 10^5 = 6,31 \cdot 10^{11} \text{ с} \approx 20000 \text{ лет}$.

Ответ: 20000 лет

Критерии оценивания:

За верное понимание картины происходящего (т. е. того, как расположены скопления в начале и конце столкновения, и какой путь они должны пройти) +2 балла. Это может быть указано явно с подробным описанием, а может проявиться в верном использовании формул (т. е. использования величины V для пути $2R$ или $2V$ для пути $4R$).

Верная запись выражения для длительности (явная запись или следующая из решения и ответа) оценивается в 3 балла.

Получение ответа в 20000 лет (± 500) оценивается в 3 балла (при решении задачи с использованием единиц измерения времени, отличных от года, за верный ответ в этих единицах (например, в секундах – $6,3 \cdot 10^{11} \text{ с}$) ставится +2 балла и за правильный перевод к годам ещё +1 балл).

Использование радиуса вместо диаметра (с ответом в 2 раза меньше требуемого) снижает оценку на 2 балла.

Максимум за задачу 8 баллов.