

Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



Задача 1. Каникулярные наблюдения (8 баллов).

Однажды юный астроном Витя, отдыхая на каникулах у бабушки, обнаружил, что ровно в местную полночь Вега (α Лиры с координатами $\alpha = 18^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$, $\delta = +38^{\circ} 47'$) прошла через зенит. Увиденное Витя записал в дневник наблюдений, не забыв указать, в какой день это произошло.

- Где живет бабушка Вити? Достаточно указать географическую широту места.
- Какую дату Витя записал рядом с этим событием в свой дневник наблюдений? (день и месяц).

Возможное решение:

а) Так как Вега проходит через зенит, то в момент верхней кульминации Вега находится в зените (**1 балл**). Будем использовать формулу верхней кульминации:

$$h_V = (90^{\circ} - \varphi) + \delta = 90^{\circ} \quad (1 \text{ балл}).$$

Для нашего случая $\varphi = \delta = 38^{\circ} 47'$ с.ш. (**1 балл**)

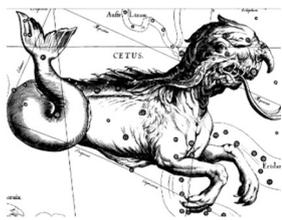
б) Теперь определить дату наблюдений. В задаче сказано о местной полночи, значит в этот момент Солнце находится в своей нижней кульминации (**1 балл**). Поэтому Вега и Солнце лежат на одном большом круге небесной сферы и их прямые восхождения отличаются на 12 ч (или на 180°). Т.е. прямое восхождение Солнца будет: $\alpha = 18^{\text{ч}} 37^{\text{м}} - 12 \text{ ч} = 6^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$. (**1 балл**).

Это на 37 минут к востоку от точки летнего солнцестояния, которое Солнце проходит 22 июня. Осталось посчитать, за сколько дней Солнце пройдет по эклиптике угол в 37 минут (несмотря на то, что прямое восхождение отсчитывается по небесному экватору, а не по эклиптике, будем считать, что отличие в углах невелико.

Солнце проходит по эклиптике:

$$\omega_{\odot} = \frac{360^{\circ}}{365,2426 \text{ дня}} \approx 0,99^{\circ} \text{ в день} \quad (1 \text{ балл})$$

Переведем 37 минут в градусы: $37/4 = 9,25^{\circ}$ (делим на 4, так как в одном градусе 4 временных минут).



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



Также важный фактор, что Солнце вблизи солнцестояний движется параллельно небесному экватору, поэтому наклон эклиптики к небесному экватору можно не учитывать. Следовательно, пройдет примерно $9,25^{\circ}/0,99 \approx 9,3$ для (2 балла).

Теперь несложно получить и дату наблюдений – это 1 июля или самое начало 2 июля (1 балл).

Задача 2. Луна греется (8 баллов).

Температура фотосферы Солнца примерно 5800 К. Альбедо Луны около 11%. Найдите по этим данным температуру Луны в подсолнечной точке. Орбиты Земли и Луны считать круговыми. Всё необходимое можно взять из справочных данных. Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$.

Возможное решение:

Значение альбедо означает, что падающее на Луну излучение Солнца отражается от ее поверхности (11%), а остальная часть (89%) поглощается и нагревает Луну. (1 балл)

Так как теплопроводность лунного грунта невелика, то температура на поверхности Луны разная в разных точках. Также температура будет зависеть от положения Солнца над горизонтом. (1 балл)

На каждый квадратный метр поверхности безатмосферного тела на расстоянии Земли от Солнца падает 1380 Вт солнечной энергии (то есть как раз на Луну). Это значение можно вычислить:

$$E_{\text{л}} = L/(4\pi a^2) \approx 1380 \text{ Вт/м}^2. \text{ (2 балла)}$$

L – светимость Солнца (есть в справочных данных).

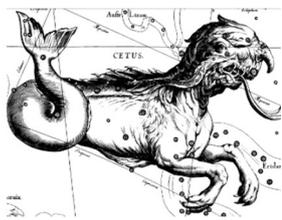
Из этой энергии 11% отражается, а остальная энергия на нагрев поверхности площадью 1 м^2 в подсолнечной точке.

Известно, что 1 м^2 абсолютно твердого тела излучает по закону Стефана Больцмана:

$$E_{\text{ачт}} = \sigma T^4. \text{ (1 балл)}$$

Приравниваем, получаем: $L/(4\pi a^2) = \sigma T^4$. (1 балл)

Откуда: $T \approx 380 \text{ К} = 107^{\circ} \text{ С}$. (1 балл)



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



Если в расчётах сравнивалась вся энергия, падающая на всю освещённую полусферу Луны, с энергией, изучаемой всей поверхностью Луны с конечным ответом в ~ 270 К, то максимальная оценка за задачу не может превышать **6 баллов**.

Задача 3. Немного о будущем (8 баллов).

Заглянем в ближайшее будущее. Представим, что 1 июня 2100 года на гелиоцентрическую орбиту вывели новейший зонд для исследования космоса. Большая полуось заданной гелиоцентрической орбиты отличается от большой полуоси земной орбиты на 10%. Орбита зонда и орбита нашей планеты практически круговые и лежат в одной плоскости. Определите с точностью до недели дату (день, месяц, год), в которую Земля и космический зонд вновь окажутся на одной прямой с Солнцем по одну сторону от него.

Возможное решение:

Определим период обращения космического зонда (КЗ) вокруг Солнца. В условии не сказано, в какую сторону отличается большая полуось орбиты – в большую или в меньшую. Поэтому необходимо рассмотреть два варианта – в первом случае КЗ движется по орбите с большой полуосью $a = 1,1$ а.е., во втором случае $a = 0,9$ а.е. **(1 балл)**.

Определим период обращения КЗ вокруг Солнца через III закон Кеплера:

$$\left(\frac{a}{a_{\oplus}}\right)^3 = \left(\frac{T}{T_{\oplus}}\right)^2, \quad (1 \text{ балл за формулу})$$

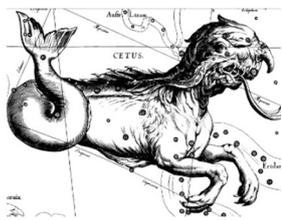
где в знаменателях стоят большая полуось (1 а.е.) и период обращения (1 год) Земли.

В первом случае $T_{\text{КЗ}} = \sqrt{1,1^3} \approx 1,154$ лет **(1 балл)**;

во втором случае $T_{\text{КЗ}} = \sqrt{0,9^3} \approx 0,854$ года **(1 балл)**.

Найдем период S повторения одинаковых конфигураций (в первом случае – противостояния, во втором случае – соединения) – синодический период обращения КЗ.

В первом случае это будет формула для внешнего тела:



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{КА}}$$

Отсюда $S = 7,506$ лет ≈ 7 лет 185 дней (если подставлять уже округленное значение $T_{КЗ}$, то получим 7 лет 180 дней) (1 балл).

Во втором случае нужно использовать формулу для внутренней орбиты:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{КА}} - \frac{1}{T_{\oplus}}$$

Отсюда $S = 5,841$ лет ≈ 5 лет 307 дней (если подставлять уже округленное значение $T_{КЗ}$, то получим 5 лет 310 дней) (1 балл).

Теперь можно ответить на вопрос задачи. Для этого необходимо прибавить к дате 01.06.2100 соответствующее значение S . При требуемой точности в несколько дней можно не учитывать наличие високосных лет, поэтому в первом случае получим **01.12.2107 (1 балл)**, а во втором случае **02.04.2106 (1 балл)**.

Допустимые отклонения в ответе – не более 7 дней от указанных дат.

Т.е. для первого случая от 24.11.2107 до 08.12.2107, а для второго случая от 25.03.2106 до 09.04.2106.

Возможен еще один вариант, который вряд ли был бы реализован на практике (из-за его высокой стоимости), но теоретически существует, поэтому может быть рассмотрен – это запуск зонда в сторону, противоположную движению Земли вокруг Солнца.

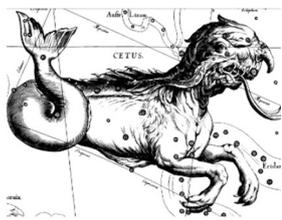
В этом случае для внешней и для внутренней орбит формула для вычисления синодического периода будет одинакова:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} + \frac{1}{T_{КА}}$$

Соответственно, получится либо 0,536 года = 196 суток либо 0,461 года = 168 суток.

И ответ для этого случая будет $2100,411 + 0,536 = 2100,947$ (или 14-12-2100 г.) для большей орбиты и $2100,411 + 0,461 = 2100,872$ (16-11-2100 г.) для меньшей орбиты.

За рассмотрение дополнительных случаев с обратным движением КЗ за задачу ставится +2 балла, но не более 8 баллов в сумме за задачу. (Т.е. возможен случай, когда



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



участник рассмотрел все варианты, но допустил арифметические и иные ошибки, но суммарный балл получился максимальным).

Арифметическая ошибка снижает на 1 балл оценку только того этапа, на котором она была допущена!

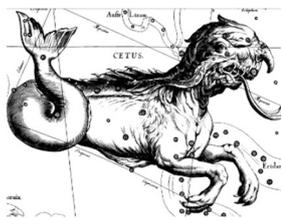
Задача 4. Комета прилетела (8 баллов).

Юный астроном Виталий продолжает грызть гранит науки. На этот раз он заинтересовался кометами, и его заинтересовал следующий вопрос. На каком расстоянии от Солнца должна пролететь комета из межзвездного пространства, чтобы под влиянием притяжения нашей звезды изменить свое движение и оказаться на орбите с периодом 1 год? Рассчитайте требуемое расстояние.

Возможное решение:

Подлетая к Солнцу, комета движется по параболической или гиперболической орбите. Облетев Солнце, такая комета продолжит двигаться по первоначальной орбите в соответствии с I законом Кеплера. Для того чтобы перейти на эллиптическую орбиту, комета должна передать излишек своей кинетической энергии. Затормозиться об атмосферу Солнца, аналогично тому, как спутники Земли тормозятся о земную атмосферу, комета не может, поскольку, подлетев так близко к Солнцу, комета неминуемо разрушится. Передать свою энергию комета может какой-либо планете, например Юпитеру, пролетев мимо него. Но в таком случае изменение орбиты происходит под действием притяжения планеты, а не Солнца. Наконец, может уменьшиться масса кометы. Уменьшение массы за счет испарения (с образованием хвоста) пренебрежимо мало. При пролёте около Солнца комета может распасться на несколько частей из-за приливного эффекта или из-за давления сублимировавших при нагреве газов. При этом одна или несколько частей могут перейти на околосолнечную орбиту, в то время как остальные части обязательно покинут Солнечную систему. В таких случаях говорят уже об обломках кометы, а не о самой комете.

Правильный ответ: комета не сможет стать спутником Солнца вне зависимости



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



от расстояния подлёта к Солнцу.

Критерии оценивания:

Правильный ответ с подробным верным обоснованием оценивается в 8 баллов, при этом в обосновании может содержаться описание не всех вариантов развития событий, приведенные выше.

Если участник правильно понимает, что для изменения орбиты требуется изменить кинетическую энергию кометы, но дальнейшие рассуждения ошибочны, этот ответ следует оценить в 4 балла.

*Знание о возможности гравитационных манёвров у планет, которые могут привести к переходу на эллиптическую орбиту, можно премировать **одним баллом** (при этом максимальная оценка остаётся равной восьми баллам). Рассуждения о распаде кометы, в результате которого её части могут оказаться на эллиптической орбите, если они правильны, также можно премировать **одним баллом**.*

Максимальная оценка за задачу не может превышать 8 баллов!

Задача 5. Затменно-переменная (8 баллов).

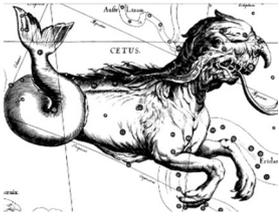
Юный астроном Виталий обнаружил в учебнике схематическую кривую блеска затменно-переменной звезды. Можно ли по этой кривой определить звездные величины обеих компонент двойной системы, для которой эта кривая приведена? Если можно, то сделать это. Если нельзя, то объяснить, почему.

Возможное решение:

По схематической кривой можно определить звездные величины обеих компонент рассматриваемой двойной системы.

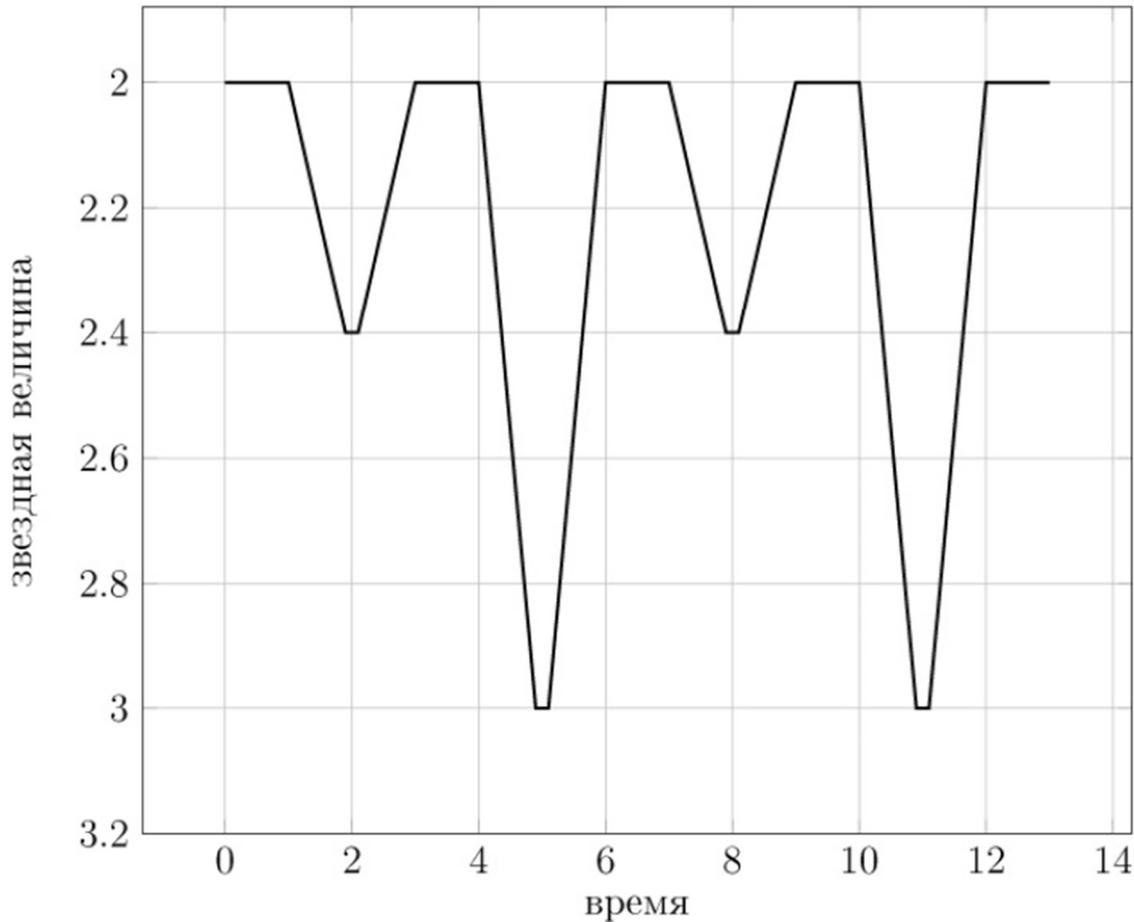
Из графика видно, что суммарный блеск двух компонент (т.е. блеск системы в то время, когда одна компонента не затмевает другую), составляет $m_{\text{сум}} = 2^m$.

На кривой есть два минимума: в главном минимуме блеск равен 3^m , а во вторичном минимуме $2,4^m$.



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



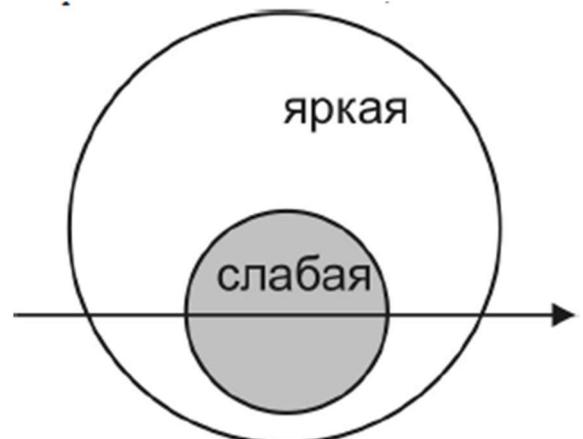
Первое, на что нужно обратить внимание – это то, что в минимумах имеются периоды постоянного блеска. Это говорит о том, что затмения в этой двойной системе полные – одна из звезд полностью скрывается за другой и какое-то время находится за ней (т.е. блеск в минимуме не меняется). Кроме того, наличие плато говорит о том, что размеры звезды в системе разные.

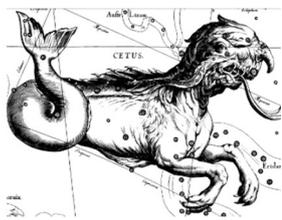
Нам неизвестны звездные величины компонент.

Возможны два варианта:

Вариант 1. Блеск одной компоненты $2,4^m$ и эта звезда больше по размеру и полностью закрывает

вторую звезду. Тогда блеск второй компоненты слабее 3^m , и в главном минимуме видны





Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



сразу две звезды – более слабая полностью, а более яркая – частично (не видна часть, закрытая слабой звездой).

Вариант 2. Блеск одной компоненты 3^m и эта звезда больше по размеру и полностью закрывает вторую звезду. Тогда блеск второй компоненты слабее $2,4^m$, и во вторичном минимуме видны сразу две звезды – более яркая полностью, а более слабая – частично (не видна часть, закрытая яркой звездой).

Рассмотрим первый вариант.

Суммарный блеск системы $m_{\text{сум}}=2^m$ (освещенность, создаваемая системой, равна $E_{\text{сум}}$), блеск одной компоненты $m_1=2,4^m$ (освещенность, создаваемая этой компонентой, равна E_1). Тогда, в соответствии с формулой Погсона:

$$E_{\text{сум}}/E_1 = (E_1 + E_2)/E_1 = 1 + E_2/E_1 = 10^{-0,4(m_{\text{сум}}-m_1)} = 1,445. \text{ Следовательно, } E_2/E_1 = 0,445.$$

Тогда, в соответствии с формулой Погсона:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \lg(E_2/E_1) = 0,88 \text{ и значит } m_2 = m_1 + 0,88 = 3,28^m.$$

Рассмотрим теперь второй вариант.

Суммарный блеск системы $m_{\text{сум}}=2^m$, блеск одной компоненты $m_1=3^m$. Тогда, в соответствии с формулой Погсона:

$$E_{\text{сум}}/E_1 = (E_1 + E_2)/E_1 = 1 + E_2/E_1 = 10^{-0,4(m_{\text{сум}}-m_1)} = 2,512. \text{ Следовательно, } E_2/E_1 = 1,512.$$

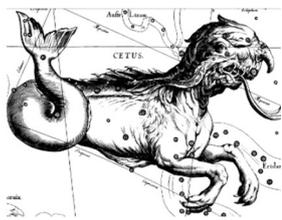
Тогда, в соответствии с формулой Погсона:

$$m_2 - m_1 = -2,5 \lg(E_2/E_1) = -0,45 \text{ и значит } m_2 = m_1 - 0,45 = 2,55^m.$$

Ответ: возможно два варианта: 1) система состоит из звёзд $2,4^m$ и $3,28^m$, 2) система состоит из звёзд $2,55^m$ и 3^m .

Критерии оценивания:





Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

10 класс, 2022/2023 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



1 балл за чтение данных с графика (они могут быть вынесены в «дано», выписаны в начале решения или просто использованы в ходе решения) – суммарный блеск, блеск во вторичном и главном минимумах

2 балла за описание возможных вариантов (можно использовать сравнение холодная звезда/горячая звезда или сравнивать поверхностные яркости звёзд)

2 балла за расчёт звёздных величин в одном из вариантов

2 балла за расчёт звёздных величин в другом варианте

1 балл за формулировку ответа

Ответ «звёздные величины 3^m и $2,4^m$ » оценивается в **1 балл** (за чтение данных с графика).

Задача 6. Чей серп? (8 баллов)

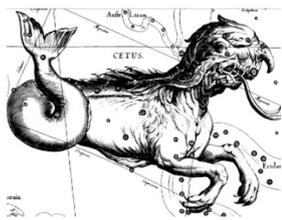
В любительской обсерватории были получены фотографии одного и того же объекта Солнечной системы в разные дни (даты съемки указаны под фотографиями). Определите, что за объект на фото? Ответ аргументируйте.



Возможное решение:

На фотографии запечатлен объект, находящийся внутри орбиты Земли (**1 балл**).

Об этом говорит величина фазы, показывающая, что объект близок к нижнему соединению. Он находится достаточно далеко от Земли, т. к. за 8 дней наблюдений фаза поменялась не сильно (**2 балла**) – это позволяет нам исключить из возможных объектов



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

10 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа. Максимум 48 баллов.



Луну и астероиды, которые могут пролетать очень близко к Земле (у которых потенциально возможно наблюдение фаз с Земли; дополнительным аргументом против версии с астероидом может являться шарообразная форма тела на фотографии). При этом объект достаточно ярк и имеет большие угловые размеры для того, чтобы быть зарегистрированным любительскими средствами близко к соединению. Т. о. это может быть либо Венера, либо Меркурий (**2 балла**). Но Меркурий имеет малый период обращений и за 8 дней показывает гораздо большее изменение фазы, чем видно на рисунке (изменение фазы у Меркурия становится похожим на таковое у Венеры лишь в те моменты, когда нижнее соединение совпадает с прохождением Меркурием афелия – он находится далеко от Солнца и движется по орбите медленно) (**2 балла**). Поэтому это Венера (**1 балл**).
