

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

11 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 Лир 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.

- а) Где живет бабушка Вити? Достаточно указать географическую широту места.
- б) 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:

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

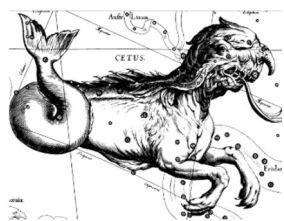
Для нашего случая $\varphi = \delta = 38^\circ 47'$ с.ш. (**1 балл**)

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: $\alpha = 18^{\text{ч}} 37' - 12 \text{ ч} = 6^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$. (**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:

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



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



Переведем 37 минут в градусы: $37/4 = 9,25^0$ (делим на 4, так как в одном градусе 4 временных минут).

Также важный фактор, что Солнце вблизи солнцестояний движется параллельно небесному экватору, поэтому наклон эклиптики к небесному экватору можно не учитывать. Следовательно, пройдет примерно $9,25^0/0,99 \approx 9,3$ 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:

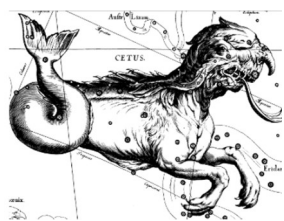
$$E_{\text{л}} = L/(4\pi a^2) \approx 1380 \text{ Вт/м}^2. \text{ (2 балла)}$$

L – светимость Солнца.

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:

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



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



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

Откуда: $T \approx 380 \text{ K} = 107 \text{ C}$. **(1 балл)**

*Если в расчётах сравнивалась вся энергия, падающая на всю освещённую полусферу Луны, с энергией, изучаемой всей поверхностью Луны с конечным ответом в $\sim 270 \text{ K}$, 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 $a = 1,1 \text{ а.е.}$, во втором случае $a = 0,9 \text{ а.е.}$ **(1 балл)**.

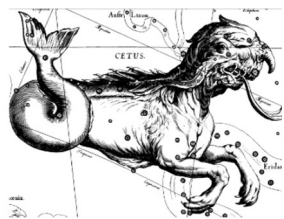
Определим период обращения КЗ вокруг Солнца через III закон Кеплера:

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

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

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

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



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

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



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:

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

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

Во втором случае нужно использовать формулу для внутренней орбиты:

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

Отсюда $S = 5,841$ лет ≈ 5 лет 307 дней (если подставлять уже округленное значение $T_{KЗ}$, 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.

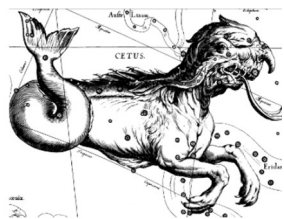
Т.е. для первого случая от 24.11.2107 до 08.12.2107, а для второго случая от 25.03.2106 до 09.04.2106.

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:

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

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



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

11 класс, 2022/2023 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 48 баллов.



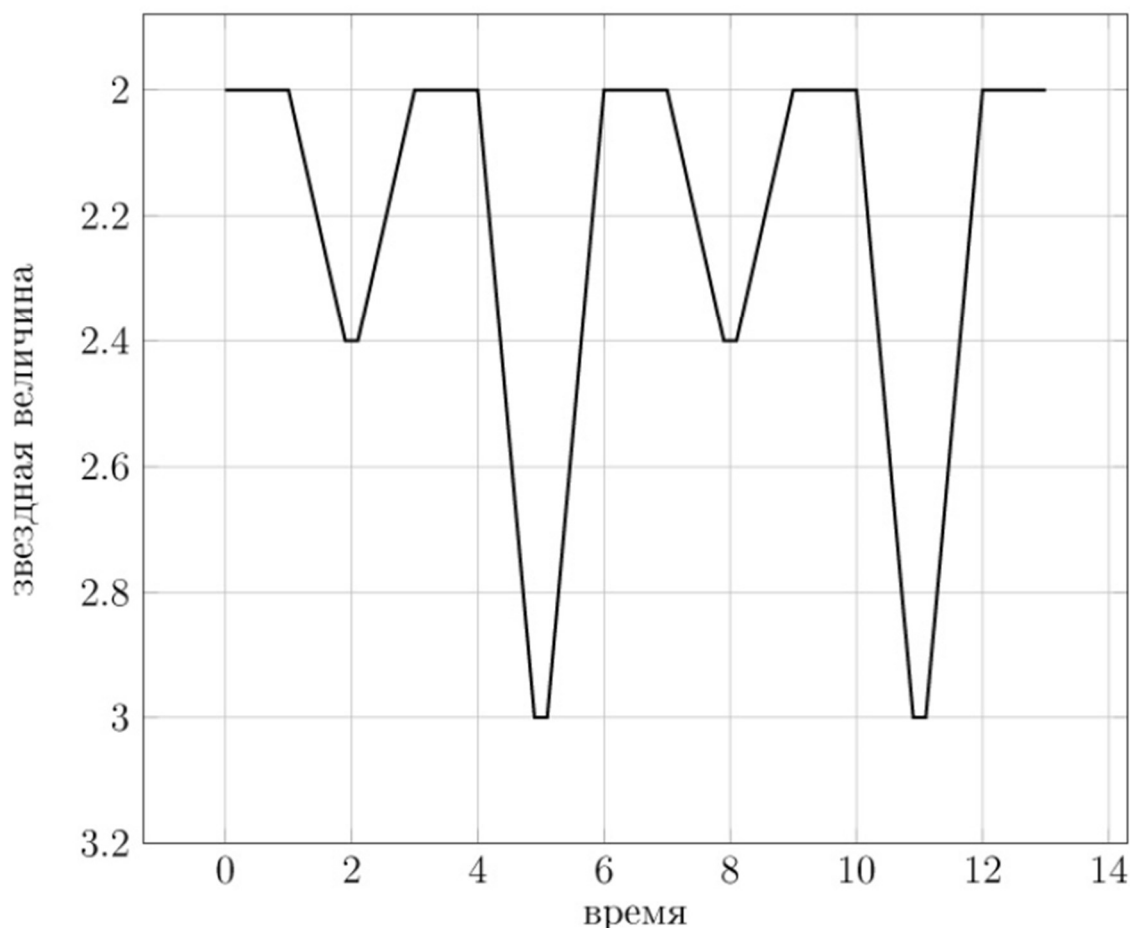
И ответ для этого случая будет $2100,411 + 0,536 = 2100,947$ (или 14-12-2100 г.) для большей орбиты и $2100,411 + 0,461 = 2100,872$ (16-11-2100 г.) для меньшей орбиты.

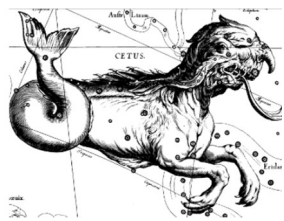
За рассмотрение дополнительных случаев с обратным движением КЗ за задачу ставится +2 балла, но не более 8 баллов в сумме за задачу. (Т.е. возможен случай, когда участник рассмотрел все варианты, но допустил арифметические и иные ошибки, но суммарный балл получился максимальным).

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

Задача 4. 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.





Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

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



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 $m_{\text{сум}} = 2^m$.

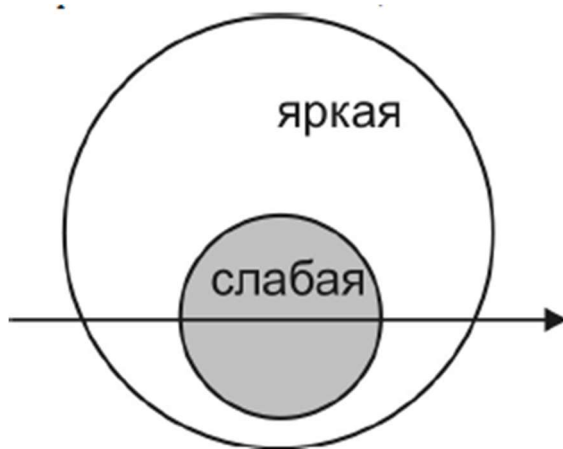
На кривой есть два минимума: в главном минимуме блеск равен 3^m , а во вторичном минимуме $2,4^m$.

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.

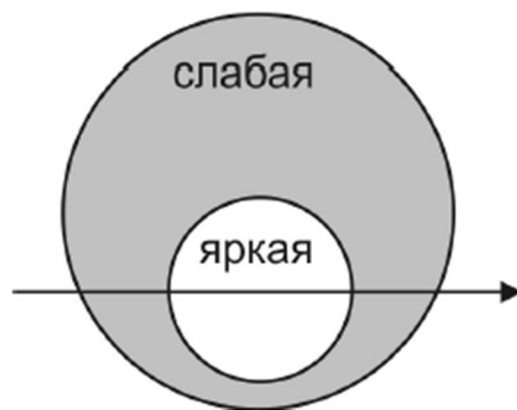
Нам неизвестны звездные величины компонент.

Возможны два варианта:

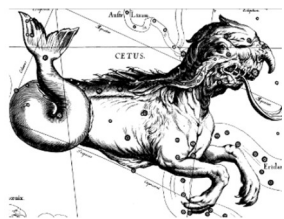
Вариант 1. Блеск одной компоненты $2,4^m$ и эта звезда больше по размеру и полностью закрывает вторую звезду. Тогда блеск второй компоненты слабее 3^m , и в главном минимуме видны сразу две звезды – более слабая полностью, а более яркая – частично (не видна часть, закрытая слабой звездой).



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.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



Суммарный блеск системы $m_{\text{сум}}=2^m$ (освещенность, создаваемая системой, равна $E_{\text{сум}}$), блеск одной компоненты $m_1=2,4^m$ (освещённость, 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:

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

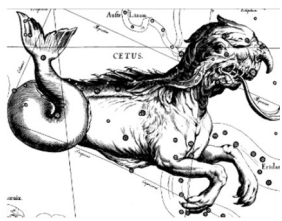
2 балла за описание возможных вариантов (можно использовать сравнение холодная звезда/горячая звезда или сравнивать поверхностные яркости звёзд)

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).



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

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



Задача 5. Наблюдения туманности (8 баллов).

Юный астроном Иннокентий проводил наблюдения в телескоп. Исследуя небо, он навел телескоп на туманность и увидел её в виде едва заметно светящегося маленького пятнышка. Тогда Иннокентий вставил перед окуляром линзу Барлоу, надеясь разглядеть объект получше. Линза Барлоу увеличила в 3 раза эффективное фокусное расстояние его телескопа. Удалось ли Иннокентию получше разглядеть туманность? Опишите, что он теперь увидел в телескоп. Ответ обосновать.

Возможное решение:

Увеличение телескопа Γ вычисляется по формуле $\Gamma = F/f$, где F – фокусное расстояние объектива, f – фокусное расстояние окуляра **(3 балла)**.

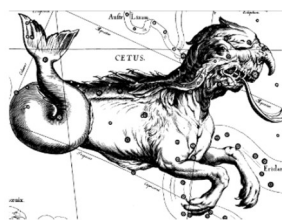
С помощью линзы Барлоу фокусное расстояние и, соответственно, увеличение возросли втрое **(1 балл)**. При этом площадь изображения также стала больше. Количество света, попадающее в глаз наблюдателя, не увеличилось, но распределилось на большее число светочувствительных элементов, то есть на каждый элемент света стало приходить меньше **(2 балла)**. До установки линзы туманность была еле заметна, значит после установки дополнительной линзы она не будет видна вовсе **(2 балла)**.

Если участник дает ответ без обоснования, то оценка за задачу не может превышать 2 балла.

Задача 6. Концентрация водорода (8 баллов).

Где-то далеко от Солнца (примерно в 20 кпк) расположено одинокое газовое облако. Облако считает себя упитанным – его масса $5,8 \cdot 10^3$ масс Солнца. С Земли облако тоже выглядит заметным – его видимый угловой диаметр $52'$. Облако гордится тем, что полностью состоит из нейтрального водорода. По имеющимся сведениям оцените концентрацию атомов водорода в облаке (ответ дайте в см^{-3}).

Возможное решение:



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии

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



С расстояния 1 парсек 1 астрономическая единица видна под углом в $1''$ (это следует из определения парсека). Следовательно, с расстояния 20 кпк под тем же углом видно расстояние $2 \cdot 10^4$ а.е., а это примерно 0,1 пк. Следовательно, линейные размеры облака около $0,1 \cdot 52 \cdot 60 = 312$ пк (*адекватная оценка линейного размера облака оценивается в 2 балла*). Для оценки объема его вполне можно считать кубическим (скорее всего, облако по форме ближе к шару, но точно мы не знаем... Поэтому проще в качестве формы выбрать ту, для которой удобнее считать объем). Итак, объем облака примерно $3 \cdot 10^7$ кубических парсека (*2 балла*).

Масса Солнца $M = 2 \cdot 10^{33}$ г, атомарный водород имеет молярную массу 1 г/моль, поэтому масса одного атома водорода это отношение молярной массы к числу Авогадро: $m = 1,7 \cdot 10^{-24}$ г. Тогда можно найти количество атомов в облаке:

$$5,8 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{33} / 1,7 \cdot 10^{-24} = 6,8 \cdot 10^{60} \text{ атомов (2 балла)}$$

Разделим количество атомов на объем, получим концентрацию:

$$6,8 \cdot 10^{60} / 3 \cdot 10^7 = 2,3 \cdot 10^{53} \text{ атомов в кубическом парсеке.}$$

Однако в условии просят дать концентрацию в см^{-3} , поэтому нужно перевести.

$1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}$, то $1 \text{ пк}^3 = 2,7 \cdot 10^{55} \text{ см}^3$, поэтому концентрация в нужных единицах равна примерно $0,01 \text{ см}^{-3}$. (*2 балла*)

Задача может быть решена в общем виде. При получении ответа того же порядка и верной логике решение стоит оценивать в полный балл даже при отсутствии промежуточных вычислений.