

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Задача 1. Много событий (8 баллов)

В один из богатых на событие дней астрономы зафиксировали сразу несколько интересных событий. Ниже перечислены некоторые из этих событий с указанием момента фиксации по всемирному времени.

- 1) От Солнца оторвался огромный протуберанец и улетел в космос в 2 часа 25 минут.
- 2) Над Турцией видели очень яркий метеор в 2 часа 23 минуты.
- 3) На Луне вблизи кратера Иделер упал метеорит размером 10 метров в 2 часа 14 минут.
- 4) Значительное изменение яркости одной из звезд в рассеянном звездном скоплении Гиады в 3 часа 10 минут.
- 5) На спутнике Сатурна Энцеладе начал извергаться один из отслеживаемых вулканов в 2 часа 43 минуты (Сатурн в этот момент находился в противостоянии)
- 6) В Туманности Андромеды вспыхнула новая звезда в 3 часа 52 минуты.

Расставьте эти события в хронологической последовательности (от того, которое произошло раньше всех, до самого позднего). Свою расстановку событий объясните.

Возможное решение:

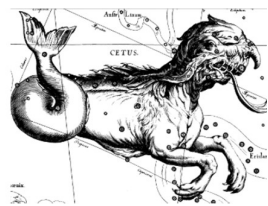
Из-за конечности скорости света чем дальше от нас объект, тем дольше от него идет свет, поэтому мы по сути видим «прошлое» объекта. Момент времени t , который зафиксировали астрономы, связан с моментом времени t_0 , в который в действительности произошло событие, следующим образом:

$$t_0 = t - l/c, \text{ где } l - \text{расстояние до объекта, } c = 300\,000 \text{ км/с} - \text{скорость света. (1 балл)}$$

Найдем t_0 для каждого из указанных событий.

1) Солнце расположено от нас на расстоянии $l_1 = 149\,600\,000$ км. Свет от Солнца до нас идет: $l_1/c = 149\,600\,000 / 300\,000 = 499 \text{ с} = 8,3 \text{ минуты}$, т.е. 8 минут 19 секунд. Поэтому отрыв протуберанца произошел на самом деле в 2 часа 17 минут примерно (большая точность не требуется).

2) Событие происходит очень близко от поверхности земли (буквально в нескольких десятках километра), поэтому разница времени незначительная. Будем считать, что время события равно времени фиксации 2 часа 23 минуты.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



3) Луна находится на расстоянии 384000 км от Земли. Свет проходит это расстояние за $384\,000/300\,000 = 1,28$ секунды. Значит, время фиксации практически совпадает с временем события 2 часа 14 минут.

4) Рассеянное звездное скопление Гиады расположено от нас на расстоянии около 150 световых лет, т.е. мы видим событие, произошедшее около 150 лет назад.

5) Расстояние до Энцелада можно примерно считать равным расстоянию до Сатурна. Для Сатурна афелий равен примерно 10 а.е., перигелий примерно 9 а.е. Значит если Сатурн находится в противостоянии, то расстояние до него не может быть меньше 8 а.е. $1 \text{ а.е.} = 149\,600\,000 \text{ км}$, тогда $8 \text{ а.е.} = 1\,196\,800\,000 \text{ км}$. Это расстояние свет проходит за $1\,196\,800\,000 \text{ км}/(300\,000 \text{ км/с}) = 3989 \text{ с} = 66,5 \text{ мин}$. Тогда извержение вулкана началось примерно в 1 час 36 минут.

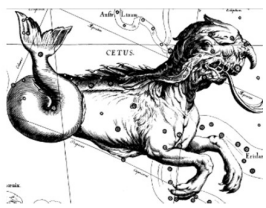
6) Туманность Андромеды – это ближайшая к нам из крупных галактик. Расстояние до нее 800 кпк, т.е. $800 \cdot 3260 = 2\,608\,000$ лет. Свет от нее до нас идет более 2,5 миллионов лет! Так что все события в ней происходили на самом деле очень давно.

Теперь восстановим хронологию событий.

Первым из представленных произошло событие 6) в Туманности Андромеды, затем 4) в Гиадах, далее событие 5) на Энцеладе, после чего события 3), 1) и 2). Верная последовательность: **645312**.

(по 1 баллу за анализ каждого из событий (итого максимум 6 баллов) + 1 балл за верную последовательность).

Для верного ответа на вопрос не нужно знать расстояния до Гиад и Туманности Андромеды. Достаточно понимания того, что Гиады находятся за пределами Солнечной Системы, но в пределах нашей Галактики, а Туманность Андромеды – другая Галактика, поэтому свет от Гиад идет точно не один год, а от Туманности Андромеды – намного дольше. Поэтому точных значений в пунктах 4) и 6) не требуется.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Задача 2. Про звезду (8 баллов)

Юный астроном Ваня живет в г. Салават (53^0 с.ш.) и в ясные ночи ведет наблюдения за звездами. Одну яркую звезду Ваня наблюдал в момент верхней кульминации, причем ее зенитное расстояние было равно 21^0 . 1) Чему равно склонение данной звезды? 2) Будет ли эта звезда для наблюдателей из Салавата незаходящей? 3) Друг Вани Миша живет в Сочи ($43,6^0$ с.ш.) и утверждает, что наблюдал ту же самую звезду в нижней кульминации. Возможно ли это? Ответ обоснуйте.

Возможное решение:

Если зенитное расстояние равно 21^0 , то высота звезды в верхней кульминации равна $h_{\text{вк}} = 90^0 - 21^0 = 69^0$.

В условии не сказано, с какой стороны от зенита Ваня наблюдал верхнюю кульминацию звезды. В связи с этим возможны два решения – для кульминации к югу от зенита и для кульминации к северу от зенита.

Рассмотрим сначала ситуацию, когда верхняя кульминация звезды происходит к югу от зенита. Тогда $\varphi > \delta_1$. Определим δ_1 .

$$h_{\text{вк}} = 90^0 - \varphi + \delta_1, \Rightarrow \delta_1 = h_{\text{вк}} - 90^0 + \varphi = 69^0 - 90^0 + 53^0 = 32^0.$$

Значение склонения положительное, так что звезда находится на северном полушарии неба. Чтобы определить, является ли звезда заходящей, найдем высоту светила в нижней кульминации:

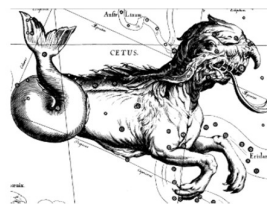
$$h_{\text{нк}} = \varphi + \delta_1 - 90^0, \Rightarrow h_{\text{нк}} = 53^0 + 32^0 - 90^0 = -5^0.$$

Высота нижней кульминации отрицательная, при этом по условию высота верхней кульминации положительная. Значит эта звезда заходит за горизонт.

Ответим на третий вопрос задачи. Для Миши нижняя кульминация звезды происходит на высоте $h_{\text{нк(м)}} = \varphi + \delta_1 - 90^0, \Rightarrow h_{\text{нк(м)}} = 43,6^0 + 32^0 - 90^0 = -14,4^0$, поэтому Миша не мог наблюдать нижнюю кульминацию этой же звезды, т.к. она происходила бы под горизонтом.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда верхняя кульминация звезды происходит к северу от зенита. Тогда $\varphi < \delta_2$ и

$$h_{\text{вк}} = 90^0 + \varphi - \delta_2, \Rightarrow \delta_2 = -h_{\text{вк}} + 90^0 + \varphi = -69^0 + 90^0 + 53^0 = 74^0.$$



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Определим высоту нижней кульминации звезды в этом случае:

$$h_{\text{нк}} = \varphi + \delta_2 - 90^\circ, \Rightarrow h_{\text{нк}} = 53^\circ + 74^\circ - 90^\circ = 37^\circ.$$

В этом случае высота и верхней, и нижней кульминаций одинакова, поэтому звезда не заходит за горизонт.

Для Миши в этом случае нижняя кульминация звезды происходит на высоте

$h_{\text{нк(м)}} = \varphi + \delta_2 - 90^\circ, \Rightarrow h_{\text{нк(м)}} = 43,6^\circ + 74^\circ - 90^\circ = 27,6^\circ$. Так как высота положительная, то звезда кульминирует над горизонтом, и Миша мог наблюдать ее нижнюю кульминацию.

Итак, в первом случае склонение 32° , звезда заходящая, а Миша не мог видеть ее нижнюю кульминацию.

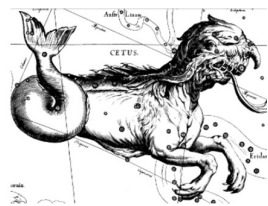
Во втором случае склонение 74° , звезда незаходящая, и Миша потенциально мог наблюдать ее нижнюю кульминацию. Однако в момент нижней кульминации в Сочи могло быть светлое время суток, тогда наблюдения были бы невозможны. Данные задачи не позволяют однозначно определить время суток в момент наблюдения.

Оценивание:

За нахождение высоты верхней кульминации звезды через зенитное расстояние ставится 1 балл.

За рассмотрение каждого случая максимум по 3,5 балла, из них 2 балла за нахождение склонения + 1 балл за определение того, что звезда заходящая + 0,5 балла за ответ на вопрос про Мишу. Если задача не решена, но записаны формулы для высоты верхней кульминации и нижней кульминации, то ставится по 1 баллу за каждую.

Важно! Ответ на вопрос про Мишу может быть дан участником исходя из сравнения широт мест наблюдения (т.е. без непосредственного расчета высоты нижней кульминации звезды в Сочи). Это не является ошибкой и при правильном выводе оценивается в максимум баллов.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Задача 3. Про телескоп (8 баллов).

Юный астроном Вася хочет купить телескоп, чтобы изучать двойную звезду. Двойная звезда находится на расстоянии 8 пк, а удаление между ее звездами равно 10 а.е.

1) Диаметр 10 см, фокусное расстояние 50 см, набор окуляров с фокусными расстояниями 20 мм и 6 мм.

2) Диаметр 14 см, фокусное расстояние 60 см, набор окуляров с фокусными расстояниями 15 мм и 5 мм.

Какой из телескопов подойдет для целей Васи? При оценке телескопов влиянием атмосферы пренебречь.

Возможное решение:

Угловое разрешение для телескопа (1 балл):

$$\theta_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D},$$

где θ_1 выражено в радианах, λ – длина волны, на которой ведется наблюдение в телескоп, D – диаметр входного отверстия (объектива) телескопа. Обычно берется $\lambda = 550$ нм – это средняя часть видимого диапазона, именно на эту длину волны приходится наибольшая чувствительность человеческого глаза.

Тогда:

$$\theta_1 = \frac{138''}{D},$$

где D выражено в мм.

Юный астроном выбирает телескоп для визуальных наблюдений, поэтому если телескоп дает увеличение Γ , то разрешающая способность системы «окуляр-глаз» составляет (1 балл)

$$\theta_2 = \frac{60''}{\Gamma}.$$

Результирующая разрешающая способность (1,5 балла):

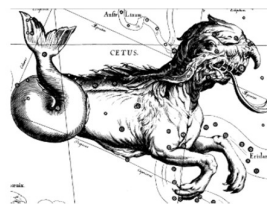
$$\theta^2 = \theta_1^2 + \theta_2^2 = \left(\frac{138''}{D}\right)^2 + \left(\frac{60''}{\Gamma}\right)^2 \quad (*).$$

Двойная звезда достаточно далеко, угловое расстояние между ее компонентами при наблюдении с земли можно найти следующим образом (0,5 балла):

$$\delta \approx 206265 \frac{r}{L},$$

где $r = 10$ а.е., $L = 8$ пк = $8 \cdot 206265 = 1\,650\,120$ а.е., δ выражено в угловых секундах.

Выполним расчет (0,5 балла):



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



$$\delta \approx 206265 \frac{10}{1\,650\,120} = 1,25''.$$

Чтобы можно было увидеть эти компоненты отдельно, разрешающая способность системы «телескоп-глаз» должна быть не больше, чем угловое расстояние между компонентами звезды, т.е. $\theta \leq \delta$ (**1 балл**).

Рассчитаем θ для каждого из телескопов. Увеличение определяется по формуле $\Gamma = F/f$, где F – фокусное расстояние объектива, f – фокусное расстояние окуляра (**0,5 балла**).

1) Для меньшей θ нужно большее увеличение Γ , поэтому нужно взять окуляр с меньшим фокусным расстоянием.

$$\Gamma = 500/6 = 83,3.$$

$$\theta^2 = \left(\frac{138''}{100}\right)^2 + \left(\frac{60''}{83,3}\right)^2 = 2,423'', \Rightarrow \theta = 1,56''.$$

Этот телескоп не подойдет Васе (**1 балл**).

2) $\Gamma = 600/5 = 120.$

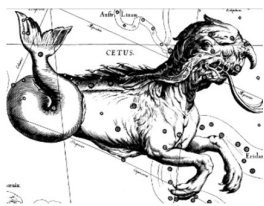
$$\theta^2 = \left(\frac{138''}{140}\right)^2 + \left(\frac{60''}{120}\right)^2 = 1,2216'', \Rightarrow \theta = 1,11''.$$

Этот телескоп сможет выполнить поставленную задачу (**1 балл**).

Альтернативный подход:

Возможно решение, при котором участник для каждого телескопа найдет отдельно θ_1 и θ_2 и будет сравнивать эти значения между собой (т.е., например, сравнивать θ_1 для разных телескопов). В таком случае также можно сделать вывод, что второй телескоп более подходящий, чем первый. Однако однозначно ответить на вопрос, точно ли во второй телескоп подходит, можно только при учете обоих факторов одновременно.

При таком решении можно поставить **максимум 6 баллов** при наличии всех необходимых формул и расчетов, кроме формулы (*) и расчетов с ее использованием.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Задача 4. Про спутник (8 баллов).

В одном фантастическом романе написано, что в далеком будущем человечество научилось создавать искусственные планеты со спутниками. Одна из планет, РО-С-1, имеет массу в 90 раз больше массы Земли, а ее спутник Курос – период обращения 0,94 земных суток. Определите 1) большую полуось Куроса; 2) ускорение свободного падения на Куросе, если его форма – шарообразная, масса равна массе Ио, а радиус равен 2000 км; 3) среднюю скорость движения Куроса вокруг РО-С-1, считая орбиту круговой.

Возможное решение:

1) Будем сравнивать движение Куроса вокруг планеты РО-С-1 с движением Луны вокруг Земли. Из справочных данных сидерический период Луны $T_1 = 27,3$ сут, среднее расстояние от Земли $a_1 = 384\,400$ км. *(1 балл за идею сравнения с известной парой спутник-планета; в качестве сравнения может быть выбрана другая пара, что приведет к несколько другим численным значениям в ответах – это нельзя считать ошибкой).*

Воспользуемся третьим законом Кеплера в обобщенной форме *(1 балл)*:

$$\frac{T_2^2(M_2 + m_2)}{T_1^2(M_1 + m_1)} = \frac{a_2^3}{a_1^3},$$

где $M_2 = 90M_1$ – масса РО-С-1, m_2 – масса Куроса, M_1 – масса Земли, m_1 – масса Луны. Будем считать массы спутников существенно меньше масс планет (если участник не пренебрегает массой спутников и проводит точный расчет, то это не является ошибкой), тогда:

$$\frac{T_2^2 M_2}{T_1^2 M_1} = \frac{a_2^3}{a_1^3}, \Rightarrow$$
$$a_2 = a_1 \sqrt[3]{\frac{T_2^2 M_2}{T_1^2 M_1}} = a_1 \sqrt[3]{90 \frac{T_2^2}{T_1^2}} = 384400 \sqrt[3]{90 \frac{0,94^2}{27,3^2}} = 182\,323 \text{ км.}$$

(2 балл за получение большой полуоси Куроса).

2) Ускорение свободного падения рассчитывается по формуле ($m_2 = 8,94 \cdot 10^{22}$ кг – масса Ио взята из справочных данных):

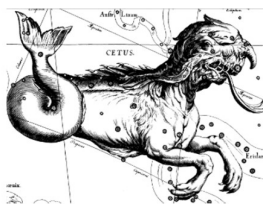
$$g = \frac{Gm_2}{R^2} = \frac{6,672 \cdot 10^{-11} \cdot 8,94 \cdot 10^{22}}{(2 \cdot 10^6)^2} = 1,49 \text{ м/с}^2.$$

(1 балл за формулу + 1 балл за расчет ускорения свободного падения).

3) Средняя скорость спутника Куроса определим так:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2\pi a_2}{T_2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 182\,323}{0,94 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 14,1 \text{ км/с.}$$

(1 балл за формулу + 1 балл за расчет скорости движения Куроса).



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Указание: Также среднюю скорость участники могут считать по формуле для первой космической скорости $v = \sqrt{GM/a}$, что не является ошибкой и оценивается в полный балл при верном расчете.

Задача 5. Вторая Луна? (10 баллов).

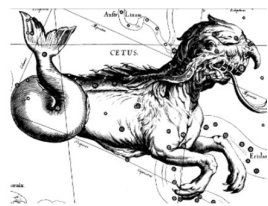
8 августа 2024 года к Земле приблизился астероид 2024 PT5 из группы астероидов Арджуна. В средствах массовой информации написали, что у Земли появилась «вторая Луна» и представили фотографию, приведенную ниже.

- 1) Оцените, на каком расстоянии от Земли должен находиться астероид, чтобы его угловой размер был таким, как на фотографии. Угловой размер Луны считать равным $0,5^\circ$, линейный размер астероида 10 м.
- 2) Определите период обращения такого астероида вокруг Земли. Орбиту астероида считайте круговой, наличием у Земли атмосферы пренебречь.
- 3) Проанализируйте с физической и астрономической точки зрения, возможно ли на самом деле такое сближение астероида с Землей.



Возможное решение:

Указание: перед началом проверки необходимо провести контрольные измерения на распечатанном комплекте заданий и пересчитать все значения с учетом полученных значений.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



1) Судя по рельефу, Луна находится слева (более яркий и меньший по размерам объект), а астероид – справа (*0,5 балла*)

Отношение измеренных диаметров равно отношению угловых размеров, т.е.

$$x_1/x_2 = 0,5/\alpha, \text{ откуда } \alpha = 0,5 \cdot x_2/x_1 \text{ (0,5 балла)}$$

Воспользуемся формулой:

$$\alpha \approx d/r, \text{ где } d = 10 \text{ м, а } r \text{ – искомое расстояние до астероида. Отсюда } r = d/\alpha. \text{ (1 балл)}$$

Для уменьшения погрешности измерения нужно проводить минимум 3 раза (в разных местах), затем находить среднее значение.

Измерим линейкой диаметр Луны минимум в трех местах (чтобы уменьшить погрешность), найдем среднее значение x_1 . (Если выполнено 1-2 измерения, то ставится *0,5 балла*, если 3 измерения – ставится *1 балл*).

Затем также линейкой измерим диаметр «астероида» минимум в трех местах и тоже найдем среднее значение x_2 . (Если выполнено 1-2 измерения, то ставится *0,5 балла*, если 3 измерения – ставится *1 балл*).

У авторов получились следующие значения: $x_1 = 23$ мм, $x_2 = 34$ мм, тогда $\alpha \approx 0,74^\circ$. Переведем в радианы: $1 \text{ рад} = 206265''$, тогда $0,74^\circ \approx 2664'' \approx 0,013 \text{ рад}$. Посчитаем $r = 744$ метра. Поскольку в формулах фигурирует отношение x_1 и x_2 , то оно не должно существенно отличаться от полученного, поэтому численное значение r тоже не должно существенно образом отличаться. Однако все равно необходимо провести контрольные измерения на выданных детям распечатках.

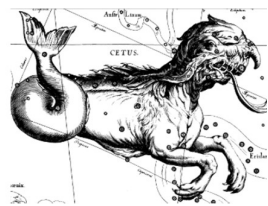
(Получено численное значение r в диапазоне плюс-минус 5% от контрольного: *2 балла*)

Итого максимум 6 баллов за данный пункт.

2) Воспользуемся третьим законом Кеплера (*1 балл*):

$$\frac{T^2}{T_0^2} = \frac{r_1^2}{r_0^3},$$

где $T_0 = 27,32$ сут – период обращения Луны вокруг Земли, $r_0 = 384\,400$ км – расстояние от Земли до Луны, r_1 – расстояние от центра Земли до астероида, $r_1 = R_3 + r = 6378,14 \text{ км} + 0,744 \text{ км} = 6378,884 \text{ км}$ (*0,5 балла*), T – искомый период.



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



$$T = T_0 \sqrt{\frac{r_1^2}{r_0^3}} = 27,32 \cdot \sqrt{\frac{(6378,884)^3}{(384\,400)^3}} = 0,0584 \text{ сут} = 1,4 \text{ часа.}$$

Получение верного ответа с учетом полученного в первом пункте значения r ставится **0,5 балла**.

Ответ может отличаться от полученного, так как в первом пункте может быть получено другое значение r (плюс-минус 20% от контрольного).

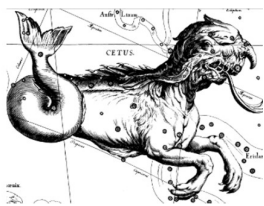
3) Расстояние до астероида получилось порядка 1 км. Это всего примерно в 5 раз больше, чем относительная высота шихана Торатау в Ишимбайском районе (относительная высота 280 м). На таком расстоянии данный астероид не мог бы быть спутником планеты, помешало бы трение и сильное гравитационное притяжение Земли. Если бы астероид приближался на такое расстояние, то он бы уже существенно ускорился и при вхождении в атмосферу Земли из-за трения скорее всего либо полностью бы сгорел, либо его остатки упали бы в виде метеоритов.

(Обоснованно получен ответ, что такое сближение невозможно: **0,5 балла** за ответ «невозможно» + **1,5 балла** за адекватное с физической и астрономической точек зрения обоснование).

Задача 6. Работа с картой (8 баллов).

У Саши есть карта звездного неба (см. рисунок на следующей странице), на которой обозначены Солнце, Венера, Марс и Юпитер. По данной карте определите дату события; конфигурации, в которых находятся планеты; расстояние от Земли до Марса, Юпитера и Венеры.

*При необходимости этот и предыдущий листы с построениями и пометками **можно** сдать вместе с работой.*

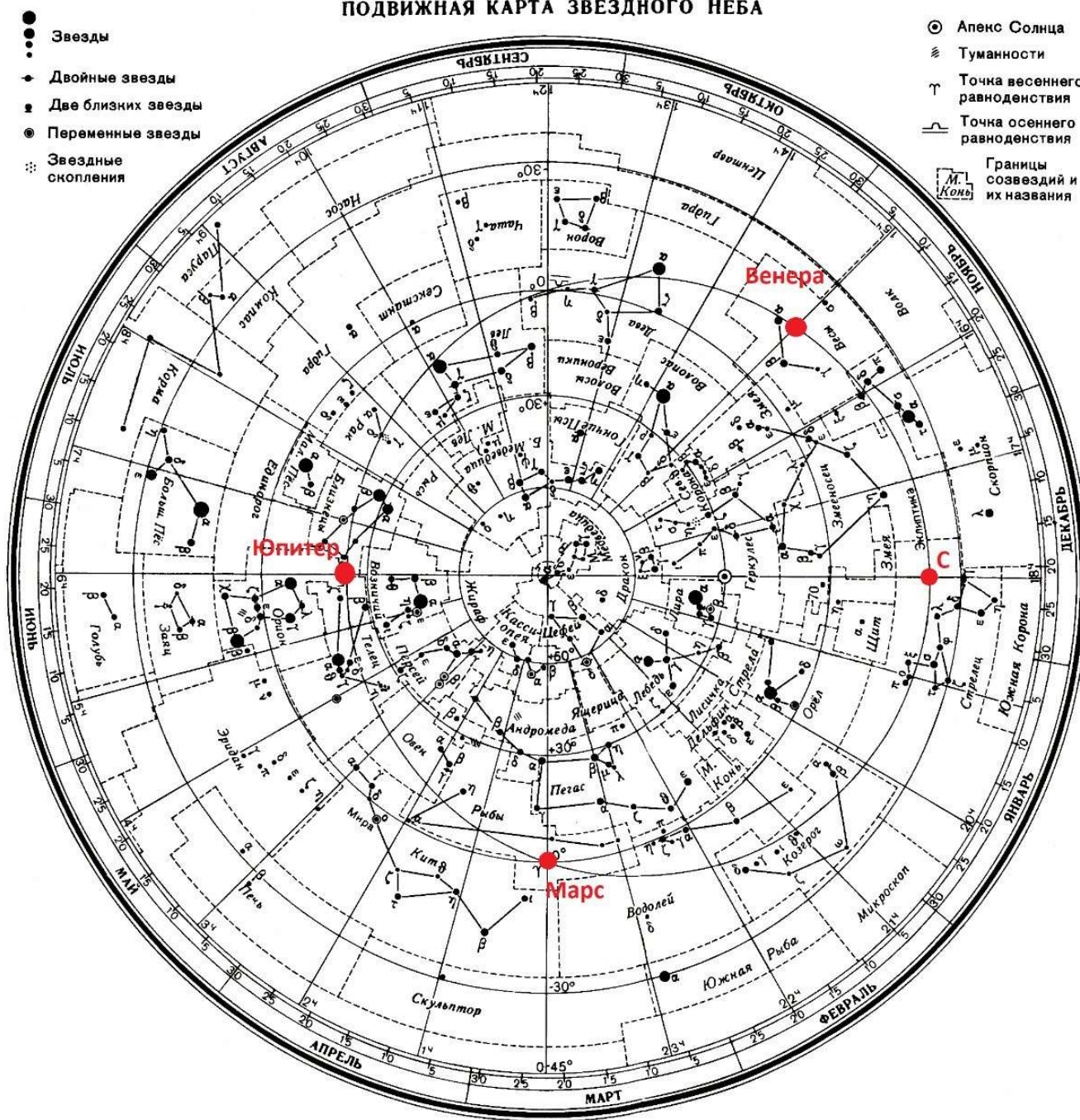


Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по астрономии

9 класс, 2024/2025 учебный год
Длительность 3 часа. Максимум 50 баллов.



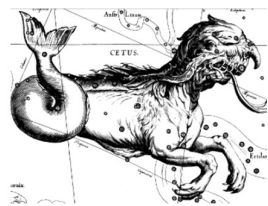
ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА



Возможное решение:

Заметим, что Солнце на карте находится около даты 21-22 декабря, т.е. рядом с Днем зимнего равноденствия (**1 балл**). Поэтому Солнце находится в этой точке.

Юпитер же тогда располагается в точке летнего солнцестояния, то есть находится в противостоянии относительно Земли. (**1 балл**)



**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии**

9 класс, 2024/2025 учебный год

Длительность 3 часа.

Максимум 50 баллов.



Марс находится в точке весеннего равноденствия (**1 балл**). Так как при наблюдении с Северного полюса эклиптики прямое восхождение отсчитывается против часовой стрелки, то мы можем определить, что Марс находится в восточной квадратуре (по карте угол Марс-полюс мира-Солнце составляет 90 градусов). Это можно понять также из тех соображений, что Солнце придет в точку, где сейчас находится Марс, через четверть года. То есть Марс опережает Солнца и находится в восточной квадратуре (**1 балл**).

Венера расположена по другую сторону от Солнца, и угол Венера-полюс мира-Солнце составляет примерно 47 градусов, значит, Венера расположена в западной элонгации (**1 балл**).

Теперь, зная конфигурации планет, мы можем найти расстояния между ними. Большие полуоси планет обозначим как a , индексы планет Земли, Юпитера, Марса и Венеры обозначим, соответственно, как $з$, $ю$, $м$ и $в$.

Юпитер и Земля находятся на одной линии, поэтому расстояние между будет равно разности их больших полуосей (**1 балл**):

$$r_{ю} = a_{ю} - a_{з} = 4.2 \text{ а. е.}$$

Расстояние между Венерой и Землёй можем найти по теореме Пифагора, где гипотенуза – большая полуось Земли, а один из катетов – большая полуось Венеры (**1 балл**):

$$r_{в} = \sqrt{a_{з}^2 - a_{в}^2} = 0.7 \text{ а. е.}$$

Аналогично можем найти расстояние между Землёй и Марсом (гипотенуза - большая полуось Марса, катет - большая полуось Земли) (**1 балл**):

$$r_{м} = \sqrt{a_{м}^2 - a_{з}^2} = 1.14 \text{ а. е.}$$