

Задания и решения
2-го дистанционного этапа
Московской астрономической олимпиады
2024–2025 уч. г.
8–9 классы

Задача 1

Выбрать из приведённого списка названия астеризмов.

- 1) Большой Ковш
- 2) Египетский Треугольник
- 3) Топор Змееносца
- 4) Большой квадрат Пегаса
- 5) Пояс Ориона
- 6) Малый Лев
- 7) Северный Лебедь
- 8) Чайник
- 9) Циркуль
- 10) Меч Ориона

Ответ: 1, 4, 5, 8, 10.

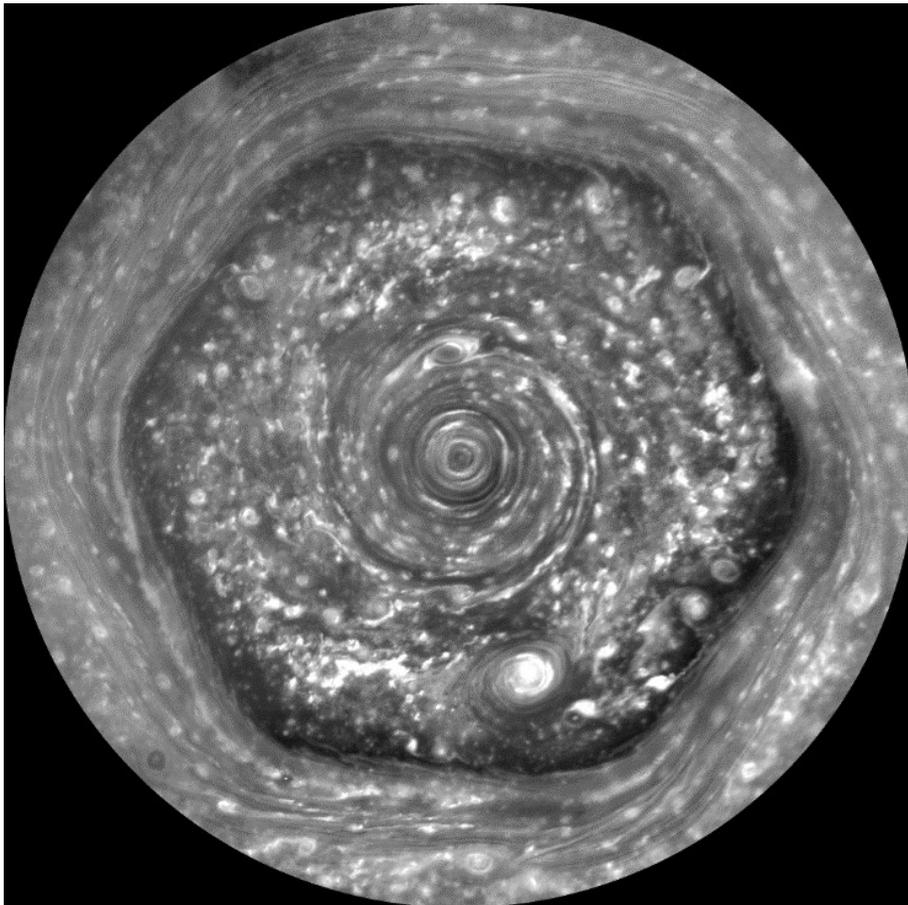
Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. Если не указан один правильный астеризм или указан один лишний — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 2

Деталь какого тела Солнечной системы изображена на фотографии¹?

- 1) Юпитер
- 2) Луна
- 3) Земля
- 4) Венера
- 5) Сатурн
- 6) Уран
- 7) Нептун



Ответ: Сатурн.

Решение. Это знаменитый шестиугольный вихрь в полярной области Сатурна, открытый ещё с помощью миссии «Вояджер», а затем исследованный космическим аппаратом «Кассини».

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**.

Итого за задачу **2 балла**.

¹ Изображение: Cassini Imaging Team, SSI, JPL, ESA, NASA — <https://science.nasa.gov/mission/cassini/science/saturn/hexagon-in-motion/>

Задача 3

В таблице даны характеристики некоторых красных карликов.

№	Звезда	M / M_{\odot}	R / R_{\odot}
1	Lacaille 8760	0,60	0,51
2	2MASS J0523–1403	0,0644	0,116
3	Kepler-80	0,730	0,678
4	Проксима Центавра	0,1221	0,1542
5	Звезда Каптейна	0,281	0,291
6	Вольф 359	0,110	0,144

У какой из этих звёзд наибольшая средняя плотность? А у какой наименьшая?

Ответ: наибольшая — у звезды 2, наименьшая — у звезды 3.

Решение. Считая звёзды шарообразными, получаем, что средняя плотность звезды составляет

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{M}{R^3}.$$

Можно, конечно, массу звезды выразить в килограммах, а радиус — в метрах и честно рассчитать плотность для каждой звезды, но можно сэкономить вычисления. В астрономии обычно характеристики звёзд выражают в солнечных единицах. И мы тоже выразим среднюю плотность каждой звезды в плотностях Солнца:

$$\frac{\rho}{\rho_{\odot}} = \frac{3M}{4\pi R^3} \cdot \frac{3M_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^3} = \frac{3M}{4\pi R^3} \cdot \frac{4\pi R_{\odot}^3}{3M_{\odot}} = \frac{M}{M_{\odot}} \cdot \frac{R_{\odot}^3}{R^3} = \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right) \cdot \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^3.$$

Вычисления будут гораздо экономнее. Ясно, что у звезды с максимальным ρ / ρ_{\odot} максимальна и сама ρ .

Критерии. За каждый ответ по **1 баллу**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 4

Какие из этих величин являются безразмерными?

- 1) концентрация молекул
- 2) звёздная величина
- 3) светимость
- 4) масса, выраженная в массах Солнца
- 5) синодический месяц
- 6) количество звёзд в шаровом скоплении
- 7) тангенциальная скорость
- 8) количество атомов в Солнце

Ответ: 2, 4, 6, 8.

Решение. Звёздная величина, оказывается, является безразмерной величиной (чтобы это понять, можно вспомнить формулу Погсона).

Масса, выраженная в массах Солнца, — это отношение массы звезды к массе Солнца. Отношение двух величин одинаковой размерности — величина безразмерная.

Ясно, что количество звёзд в шаровом скоплении и количество атомов Солнце — величины безразмерные.

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. Если не указана одна правильная величина или указана одна лишняя — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 5

Вариант 1

Звезда достигает наибольшей высоты над горизонтом к северу от зенита. При этом её высота равна 75° . Наименьшая высота звезды равна -15° , её звезда достигает к северу от зенита. Определите склонение звезды и широту места наблюдения.

Ответ: склонение равно 45° , широта равна 30° .

Вариант 2

Звезда достигает наибольшей высоты над горизонтом к югу от зенита. При этом её высота равна 60° . Наименьшая высота звезды равна -10° , её звезда достигает к северу от зенита. Определите склонение звезды и широту места наблюдения.

Ответ: склонение равно 25° , широта равна 55° .

Вариант 3

Звезда достигает наибольшей высоты над горизонтом к северу от зенита. При этом её высота равна 40° . Наименьшая высота звезды равна -30° , её звезда достигает к северу от зенита. Определите склонение звезды и широту места наблюдения.

Ответ: склонение равно 55° , широта равна 5° .

Вариант 4

Звезда достигает наибольшей высоты над горизонтом к югу от зенита. При этом её высота равна 80° . Наименьшая высота звезды равна -60° , её звезда достигает к северу от зенита. Определите склонение звезды и широту места наблюдения.

Ответ: склонение равно 10° , широта равна 20° .

Решение. Наибольшей высоты над горизонтом небесное светило достигает при верхней кульминации, наименьшей — при нижней кульминации.

Далее для вариантов 1 и 3.

Высота светила в верхней кульминации к северу от зенита равна $h_в = 90^\circ - \delta + \varphi$.

Высота светила в нижней кульминации к северу от зенита равна $h_н = \varphi + \delta - 90^\circ$.

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \varphi - \delta = h_в - 90^\circ, \\ \varphi + \delta = 90^\circ + h_н. \end{cases}$$

Её решение:

$$\begin{cases} \varphi = \frac{h_в + h_н}{2}, \\ \delta = 90^\circ + \frac{h_н - h_в}{2}. \end{cases}$$

Далее для вариантов 2 и 4.

Высота светила в верхней кульминации к югу от зенита равна $h_в = 90^\circ - \varphi + \delta$.

Высота светила в нижней кульминации к северу от зенита равна $h_н = \varphi + \delta - 90^\circ$.

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \delta - \varphi = h_в - 90^\circ, \\ \varphi + \delta = 90^\circ + h_н. \end{cases}$$

Её решение:

$$\begin{cases} \varphi = 90^\circ + \frac{h_н - h_в}{2}, \\ \delta = \frac{h_в + h_н}{2}. \end{cases}$$

Критерии. По 1 баллу за верное значение склонения и широты места наблюдения.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 6

Расставьте периоды в порядке возрастания.

- 1) сидерический период Венеры
- 2) синодический период Венеры
- 3) сарос
- 4) звёздный год
- 5) сидерический период Марса
- 6) синодический месяц

Ответ: 6, 1, 4, 2, 5, 3.

Решение. Очевидно, что синодический месяц здесь — самый короткий период: все остальные гораздо длиннее. Продолжительность сароса больше 18 лет, что делает его самым длинным периодом в этом списке.

Звёздный год — это период обращения Земли вокруг Солнца, который незначительно больше периода смены сезонов, т. е. тропического года. Венера — внутренняя планета, поэтому её сидерический период точно меньше звёздного года. За синодический период Венера обгоняет Землю на один оборот вокруг Солнца. Поскольку Земля движется немного медленнее Венеры, этот интервал времени получается больше и синодического периода Венеры и звёздного года, но несколько уступает синодическому периоду Марса.

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**, ответ 6, 1, 4, 5, 2, 3 — **1 балл**, в остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

В таблице представлены параметры орбит планет, обращающихся вокруг некоторой звезды.

№	Название	a , а. е.	e	T , сут
1	Эрма	0,131	0,015	
2	Тарани	0,156	0,023	
3	Корнелия	0,810	0,056	285
4	Флора	1,013	0,012	
5	Текна	5,028	0,057	
6	Лейла	6,049	0,094	

Задача 7

Вычислите периоды обращения всех остальных планет. Ответы выразить в сутках и округлить до целых.

Ответ:

№	T_i , сут
1	19
2	24
3	285
4	399
5	4408
6	5816

Решение. Поскольку для всех планет центральное тело – звезда – одно и то же, для сравнения орбит можно применять III простой закон Кеплера. Запишем его для i -й и 3-й планеты:

$$\left(\frac{T_i}{T_3}\right)^2 = \left(\frac{a_i}{a_3}\right)^3 \Rightarrow \frac{T_i}{T_3} = \left(\frac{a_i}{a_3}\right)^{3/2} \Rightarrow T_i = T_3 \cdot \left(\frac{a_i}{a_3}\right)^{3/2}.$$

Так можно вычислить периоды обращения всех остальных планет.

Критерии. 0,4 балла за каждую планету.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 8

Наблюдатель находится на планете Корнелия. У какой из планет синодический период максимален?

Ответ: Флора.

Решение.

Вспомним уравнения синодического движения. Объединим их в одно выражение, применимое как для внутренних, так и для внешних планет:

$$\frac{1}{S_i} = \left| \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_3} \right|.$$

Отсюда получаем $S_i = \frac{T_i T_3}{|T_3 - T_i|}$. Заметим, что S_i увеличивается с уменьшением $|T_3 - T_i|$. Поэтому для экономии расчётов достаточно вычислить синодические периоды планет, соседних с Корнелией. Результаты расчётов запишем в таблицу:

№	S_i , сут
2	26
4	998

Итак, наибольший синодический период у Флоры.

Критерии. Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 9

У какой планеты разброс расстояний от звезды самый большой?

Ответ: Лейла.

Решение. Расстояние от звезды до планеты в перигеуме равно $r_{Pi} = a_i(1 - e_i)$, а в апоцентре — $r_{Ai} = a_i(1 + e_i)$. Разброс расстояний равен $\Delta r_i = r_{Ai} - r_{Pi} = 2a_i e_i$. Максимальный разброс расстояний будет у той планеты, у которой произведение $a_i e_i$ максимально. Легко понять, что это произведение максимально у Лейлы.

Критерии. Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 10

Луна постепенно удаляется от Земли со скоростью примерно 3,8 см в год. Текущее среднее расстояние от Земли до Луны составляет 384 400 км. Чему станет равен угловой диаметр Луны через 5 млрд лет? Радиус Луны равен 1738 км, радиус Земли — 6371 км. Ответ выразите в угловых минутах, округлите до целых. Считайте, что Луна удаляется от Земли с постоянной скоростью.

Ответ: 21'.

Решение.

Через 5 миллиардов лет расстояние от Земли до Луны станет равным

$$384\,400 \text{ км} + 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ км/год} \cdot 5 \cdot 10^9 \text{ лет} = 574\,400 \text{ км}.$$

При наблюдении с поверхности Земли угловой диаметр Луны, выраженный в угловых минутах, равен

$$\frac{2 \cdot 1738 \text{ км}}{574\,400 \text{ км} - 6371 \text{ км}} \cdot 3438' \approx 21'.$$

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. Неверно округлённый ответ 20, а также ответы 10 и 11, соответствующие радиусу, а не диаметру — **1 балл**, в остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 11

Вариант 1

Самолёт вылетел из Москвы (UTC+3) в 23:20 по гражданскому времени и летел 4 часа 15 минут в Малагу (UTC+1). Во сколько по гражданскому времени пункта назначения он приземлится?

Ответ: 1:35.

Вариант 2

Самолёт вылетел из Новосибирска (UTC+7) в 22:15 по гражданскому времени и летел 10 часов 30 минут в Осло (UTC+1). Во сколько по гражданскому времени пункта назначения он приземлится?

Ответ: 2:45.

Вариант 3

Самолёт вылетел из Берлина (UTC+1) в 19:34 по гражданскому времени и летел 10 часов 45 минут в Нью-Йорк (UTC-5). Во сколько по гражданскому времени пункта назначения он приземлится?

Ответ: 0:19.

Вариант 4

Самолёт вылетел из Лондона (UTC+0) в 7:56 по гражданскому времени и летел 23 часа 50 минут в Сидней (UTC+10). Во сколько по гражданскому времени пункта назначения он приземлится?

Ответ: 17:46.

Ответ представить в формате ЧЧ:ММ.

Решение. Последовательность действий при решении следующая.

1. Из гражданского времени вылета вычесть число, прибавляемое к UTC в скобках – получится всемирное время вылета.
2. К всемирному времени прибавить время полёта – получится всемирное время приземления.
3. К полученному значению прибавить число, прибавляемое в UTC в скобках для пункта назначения, — получится искомое гражданское время прилёта.
4. Если получается время, большее 24^h , из него вычесть 24^h .

Критерии: Правильный ответ — 2 балла.

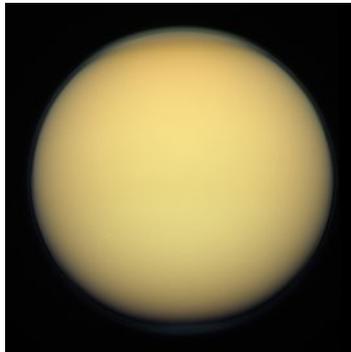
Итого за задачу 2 балла.

Задача 12

Какой из этих объектов не является спутником большой планеты?



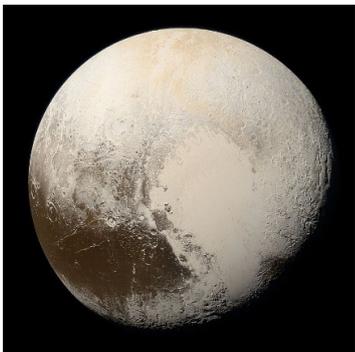
1



2



3



4



5

Ответ: 4.

Решение. 4 — карликовая планета Плутон, все остальные объекты — спутники больших планет.

Критерии. Правильный ответ — 2 балла.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 13

Как часто повторялась бы наилучшая утренняя видимость Венеры, если бы у неё обратным было не только вращение вокруг своей оси, но и обращение вокруг Солнца? Радиус орбиты Венеры составляет 0,723 а. е. Ответ выразите в сутках, округлите до целых.

Ответ: 139 суток.

Решение. Сидерический период обращения Венеры T можно найти с помощью III простого закона Кеплера, сравнив орбиту Венеры с орбитой Земли:

$$\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}.$$

$$\text{Тогда } T = T_{\oplus} \left(\frac{a}{a_{\oplus}} \right)^{3/2} = 365 \text{ сут} \cdot 0,723^{3/2} \approx 224 \text{ сут}.$$

Наилучшая утренняя видимость Венеры наступает при её максимальной западной элонгации. Нужно рассчитать промежуток времени между её последовательными максимальными западными элонгациями — синодический период Венеры. В рассматриваемой ситуации Земля и Венера движутся в противоположные стороны. Тогда угловое перемещение Венеры относительно Земли за 1 сутки равно не разности угловых перемещений планет по орбитам, а **сумме**. В итоге уравнение синодического движения примет вид

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_{\oplus}}.$$

Искомый синодический период равен

$$S = \frac{T T_{\oplus}}{T + T_{\oplus}} = \frac{224 \text{ сут} \cdot 365 \text{ сут}}{224 \text{ сут} + 365 \text{ сут}} \approx 139 \text{ сут}.$$

Критерии. Правильный ответ — 2 балла, неверно округлённый ответ 138 — 1 балл, в остальных случаях — 0 баллов.

Итого за задачу 2 балла.

Задача 14

В каждом из нижеперечисленных созвездий находится яркий объект глубокого космоса? Какой именно по типу?

- 1) Орион
 - 2) Геркулес
 - 3) Андромеда
 - 4) Рак
 - 5) Телец
 - 6) Треугольник
-
- а) газовая туманность
 - б) рассеянное скопление
 - в) шаровое скопление
 - г) галактика

Ответ: 1 — а, 2 — в, 3 — г, 4 — б, 5 — б, 6 — г.

Решение. В направлении Ориона находится знаменитая Большая туманность Ориона (M42), в направлении Геркулеса – шаровое скопление M13, видимое в бинокль; в направлении Андромеды — галактика Туманность Андромеды (M31), в направлении Рака — рассеянное скопление Ясли (M44), в направлении Тельца — даже два рассеянных скопления: Плеяды (M45) и Гиады, в направлении Треугольника — галактика Треугольника (M33).

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. В случае одной ошибки — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 15

Какие из этих объектов видны невооружённым глазом с Земли?

- 1) Нептун
- 2) Полярная звезда
- 3) Омега Центавра
- 4) Фобос
- 5) Гиады
- 6) Меркурий
- 7) туманность Конская голова
- 8) туманность Кольцо
- 9) δ Пегаса
- 10) Сириус В

Ответ: 2, 3, 5, 6.

Решение. Фобос, Нептун были открыты при наблюдении в телескоп в XVIII-XIX вв. и глазом, очевидно, не видны. Сириус В — это не всем известная яркая звезда южного неба, а её слабый спутник — белый карлик. Разглядеть его удалось тоже только в XIX в. в телескоп.

Звезды δ Пегаса на современных звёздных картах нет. Когда-то звезда Альферац получила двойное обозначение α Андромеды / δ Пегаса, но в 1928 году, когда Международный астрономический союз определил современные границы, эта звезда окончательно отошла к созвездию Андромеды, а буква δ в созвездии Пегаса осталась вакантной.

Омега Центавра — это шаровое звёздное скопление. Оно столь яркое, что даже получило звёздное обозначение. Видимость других объектов очевидна.

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. Если не указан один правильный объект или указан один лишний — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.

Задача 16

Каких линий небесной сферы не существует?

- 1) круг высоты
- 2) эксцентрик
- 3) западная параллель
- 4) эклиптика
- 5) тангенциальный полукруг
- 6) круг склонений

Ответ: 2, 3, 5.

Критерии. Правильный ответ — **2 балла**. Если не указан один правильный объект или указан один лишний — **1 балл**. В остальных случаях — **0 баллов**.

Итого за задачу **2 балла**.