

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задание 1.

а) Какие объекты запечатлены на фотографии¹?

Ответ:

- ✓ Солнце
- Луна
- ✓ Венера
- Комета Галлея
- Юпитер

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 3 балла.

б) Как называется такое астрономическое явление?

Ответ:

- Вишнёвый закат
- Малиновый восход
- Солнечное затмение
- ✓ Прохождение по диску Солнца

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

в) Сколько длится это явление?

Ответ:

- Несколько секунд
- Несколько минут
- ✓ Несколько часов
- Несколько дней
- Несколько месяцев

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 10

¹Изображение: Emil Ivanov / APOD. — <https://apod.nasa.gov/apod/ap120608.html>

Решение.

а) На диске закатного Солнца виден небольшой тёмный кружок — это Венера, проходящая на фоне звезды. По угловым размерам планета выглядит маленькой, но по сравнению с солнечными пятнами имеет правильную округлую форму, чёткий край и заметный диаметр.

б) Прохождение планеты по диску Солнца наблюдается, когда она оказывается на одной линии с Землёй и Солнцем. Затмением это не является, так как планета слишком мала, чтобы закрыть значительную часть солнечного диска. Вишнёвый закат и малиновый восход — красивые словосочетания, не являющиеся названиями астрономических явлений.

в) Прохождения Венеры и Меркурия по диску Солнца — относительно редкие явления. Они длятся несколько часов, в течение которых планета медленно перемещается по солнечному диску.

Задание 2.

Определите звёзды по описанию.

а) Хотя эта звезда и не входит в десятку самых ярких для земного наблюдателя, её важность сложно переоценить: она почти не движется по небу в течение суток и по ней можно определять направление на север.

Ответ:

- Вега
- ✓ Полярная
- Сириус
- Арктур

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Это звезда красно-оранжевого цвета, для наблюдателя на территории России высоко над горизонтом не поднимается. В июле она видна ночью в направлении на юг.

Ответ:

- Вега
- ✓ Антарес
- Сириус
- Полярная

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

в) В полночь наблюдатель на территории северной части России увидел Сириус над горизонтом на юге. В какой сезон года проводились наблюдения?

Ответ:

- ✓ Зимой
- Весной
- Летом
- Осенью

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 9

Решение.

а) Полярная звезда находится рядом с Северным полюсом мира, поэтому в течение суток практически не смещается на небе. Благодаря этому она веками использовалась как ориентир для определения сторон горизонта.

б) Антарес — яркая красно-оранжевая звезда в созвездии Скорпиона. Для российского наблюдателя она видна низко над южным горизонтом летом. Сириус лучше всего виден зимой, Вега поднимается над горизонтом достаточно высоко, а Полярная вовсе не наблюдается в южном направлении.

в) Сириус — самая яркая звезда ночного неба, расположенная в созвездии Большого Пса. В Северном полушарии она лучше всего видна в зимние месяцы, когда кульминирует на юге около полуночи.

Задание 3. Вариант 1.

Даны значения масс внесолнечных планет и звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Масса звезды в массах Солнца	Масса планеты в массах Юпитера
CoRoT-1 b	0.95	1.03
CoRoT-2 b	0.97	3.28
НАТ-P-1 b	1.13	0.53
НАТ-P-9 b	1.28	0.78
KELT-3 b	1.28	1.46

а) Отношение массы какой планеты к массе звезды наибольшее?

Ответ:

- CoRoT-1 b
- ✓ CoRoT-2 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Даны значения радиусов орбит некоторых планет и радиусов звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Радиус орбиты планеты в а.е.	Радиус звезды в радиусах Солнца
CoRoT-1 b	0.025	1.3
CoRoT-2 b	0.028	0.94
HAT-P-1 b	0.055	1.1
HAT-P-9 b	0.053	1.3
KELT-3 b	0.041	1.6

б) При наблюдении с какой планеты видимый угловой размер звезды будет наибольшим?

Ответ:

- ✓ CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

в) Названия экзопланет состоят из названий звёзд, вокруг которых они обращаются, и латинских букв-индексов.

Что значит индекс «b» в названиях экзопланет?

Ответ:

- ✓ Это первые открытые или ближайшие к своим звёздам экзопланеты
- «b» значит big (большой)
- Индексы присваиваются случайным образом
- «b» значит bright (яркий)

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

г) Сравните вес леща на поверхности планеты CoRoT-7 b (масса равна 7 массам Земли, радиус равен 1.6 радиуса Земли) с весом горбатого кита на поверхности малой планеты Паллада (масса 0.00003 массы Земли, радиус 0.04 радиуса Земли). Масса леща составляет 3 кг, масса горбатого кита составляет 30 тонн. Известно, что ускорение свободного падения прямо пропорционально массе тяготеющего тела и обратно пропорционально квадрату его радиуса. При расчёте делите меньший вес на больший. Ответ округлите до десятитысячных.

Ответ: 0.0146

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Максимальный балл за задание — 15

Решение.

а) Постоянный множитель $M_{\text{Юр}}/M_{\odot}$ одинаков для всех строк, поэтому не нужно приводить массы к одинаковым единицам — достаточно сравнить отношения значений $M_p/M_{\star}$ в таблице.

б) Угловой размер $\theta \propto R_{\star}/a$. Как и в предыдущем вопросе, не нужно приводить размеры и расстояния к одинаковым единицам — достаточно сравнить отношения значений в таблице.

в) По принятой нотации индекс «b» обозначает первую подтверждённую планету у данной звезды (или ближайшую, если известен порядок; далее — «c», «d», ...

г) Ускорение свободного падения $g \propto M/R^2$ (прямо указано в условии):

$$g_{\text{CoRoT-7b}} = \frac{7}{1.6^2} g_{\oplus} \approx 2.734 g_{\oplus},$$

$$g = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0.04^2} g_{\oplus} = 0.01875 g_{\oplus}.$$

Здесь $g_{\oplus}$ — ускорение свободного падения на поверхности Земли, которое, впрочем, не пригодится; можем рассматривать его как некие «условные единицы». Вес $P = mg$, где m — масса тела. Ищем отношение меньшего к большему:

$$\frac{P_{\text{лещ}}}{P_{\text{кит}}} = \frac{3 \cdot 2.734}{30000 \cdot 0.01875} \approx 0.0146.$$

Задание 3. Вариант 2.

Даны значения масс внесолнечных планет и звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Масса звезды в массах Солнца	Масса планеты в массах Юпитера
CoRoT-1 b	0.95	1.03
CoRoT-2 b	0.97	3.28
HAT-P-1 b	1.13	0.53
HAT-P-9 b	1.28	0.78
KELT-3 b	1.28	1.46

а) Отношение массы какой планеты к массе звезды наименьшее?

Ответ:

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- ✓ HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Даны значения радиусов орбит некоторых планет и радиусов звёзд, вокруг которых эти планеты движутся.

Название планеты	Радиус орбиты планеты в а.е.	Радиус звезды в радиусах Солнца
CoRoT-1 b	0.025	1.3
CoRoT-2 b	0.028	0.94
HAT-P-1 b	0.055	1.1
HAT-P-9 b	0.053	1.3
KELT-3 b	0.041	1.6

б) При наблюдении с какой планеты видимый угловой размер звезды будет наименьшим?

Ответ:

- CoRoT-1 b
- CoRoT-2 b
- ✓ HAT-P-1 b
- HAT-P-9 b
- KELT-3 b

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

г) Названия экзопланет состоят из названий звёзд, вокруг которых они обращаются, и латинских букв-индексов.

Что значит индекс «b» в названиях экзопланет?

Ответ:

- «b» значит big (большой).
- ✓ Это первые открытые или ближайшие к своим звёздам экзопланеты.
- Индексы присваиваются случайным образом.
- «b» значит bright (яркий).

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

д) Сравните вес окуня на поверхности планеты CoRoT-7 b (масса равна 7 массам Земли, радиус равен 1.6 радиуса Земли) с весом горбатого кита на поверхности карликовой планеты Церера (масса 0.00016 массы Земли, радиус 0.07 радиуса Земли). Масса окуня составляет 3 кг, масса горбатого кита составляет 30 тонн. Известно, что ускорение свободного падения прямо пропорционально массе тяготеющего тела и обратно пропорционально квадрату его радиуса. При расчёте делите меньший вес на больший. Ответ округлите до десятитысячных.

Ответ: 0.0084

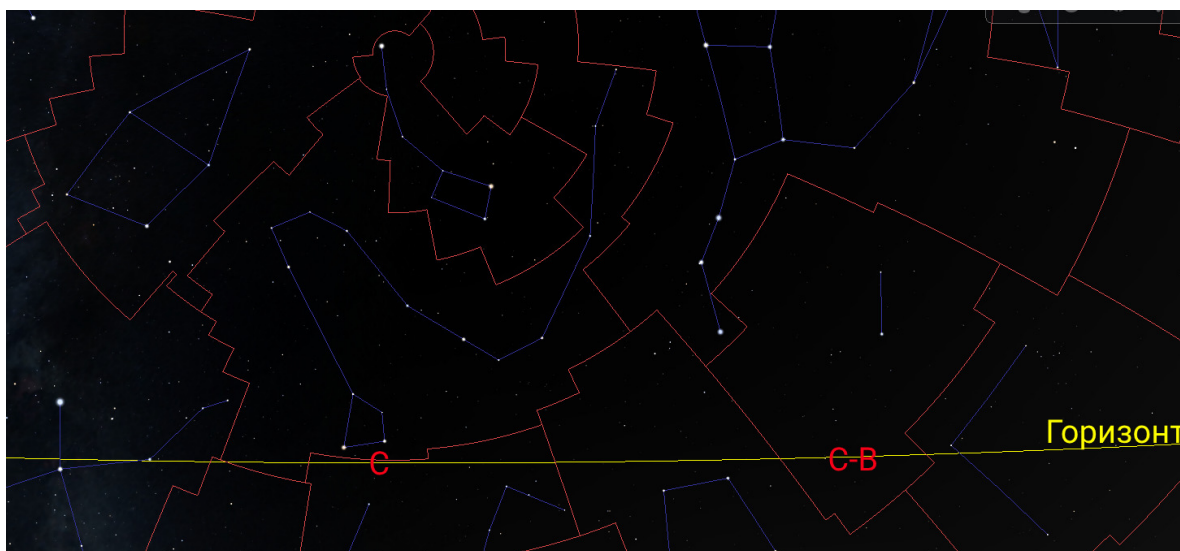
Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Максимальный балл за задание — 15

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 4.

- а) На какой широте небо над горизонтом может выглядеть¹ так в некоторый момент времени?



Ответ:

- 89° с. ш.
- ✓ 40° с. ш.
- 3° с. ш.
- 15° ю. ш.
- 48° ю. ш.

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

- б) Какие созвездия находятся в показанной области неба, хотя бы частично?

Ответ:

- ✓ Малая Медведица
- ✓ Большая Медведица
- ✓ Дракон
- Центавр
- Феникс
- Хамелеон

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 3 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл.

- в) Какие звёзды присутствуют на изображении?

Ответ:

- Альфа Центавра
- ✓ Полярная звезда
- Солнце
- ✓ Денеб
- Сириус

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Высота Полярной звезды над горизонтом равна географической широте местоположения наблюдателя. На изображении она, во-первых, выше горизонта, что исключает варианты ответа с южными широтами; во-вторых, находится на высоте нескольких десятков градусов, судя по ковшу Большой Медведицы. Следовательно, место наблюдения находится в умеренных широтах Северного полушария.

б) На изображении показан северный околополярный участок неба. Созвездия Центавр, Феникс и Хамелеон в умеренных широтах Северного полушария не наблюдаются.

в) Альфа Центавра и Сириус — южные светила, в направлении на север на такой широте они не видны. Солнце на изображении отсутствует. Хорошо различимы Полярная звезда и яркий Денеб в Лебеде.

¹Изображение: Stellarium (симуляция).

Задание 5.

Перед вами фотография пейзажа и ночного неба, полученная сложением кадров с длительной выдержкой¹.

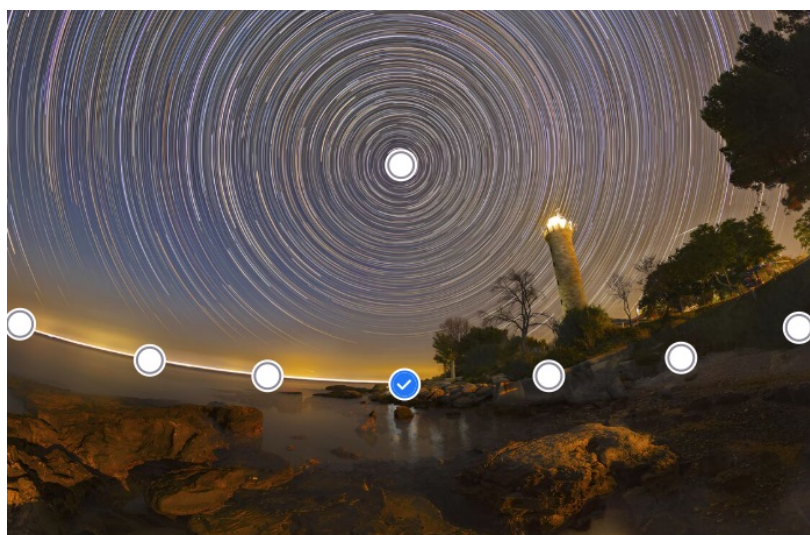


Фотография сделана на южном побережье Хорватии.

а) Отметьте на изображении следующие точки.

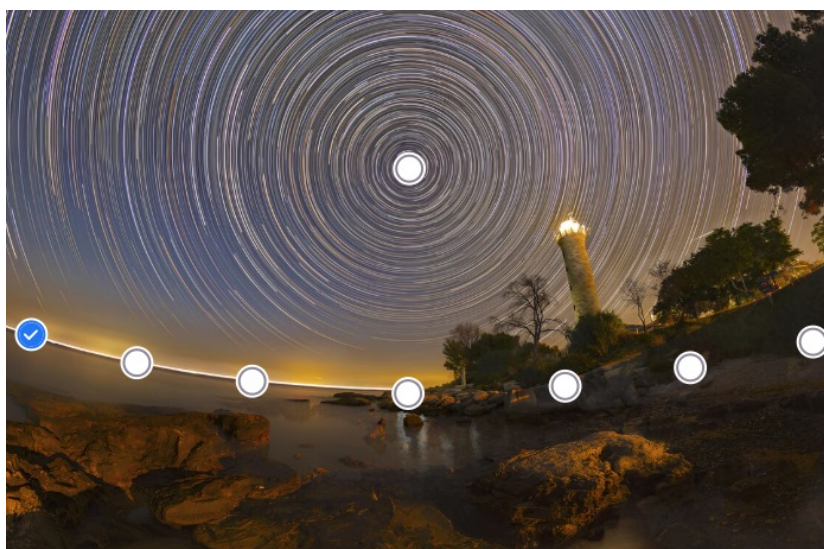
Точка севера:

Ответ:



Точка запада:

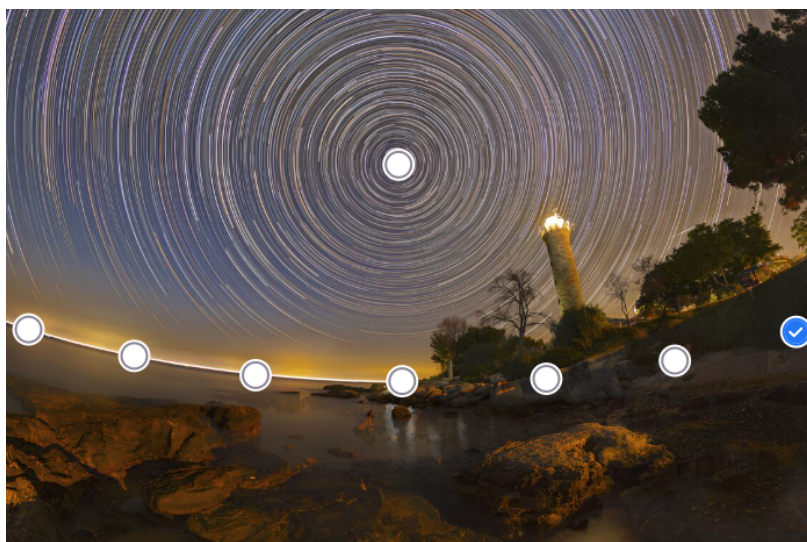
Ответ:



¹Изображение: Астронет. — <https://www.astronet.ru/db/msg/1965566>

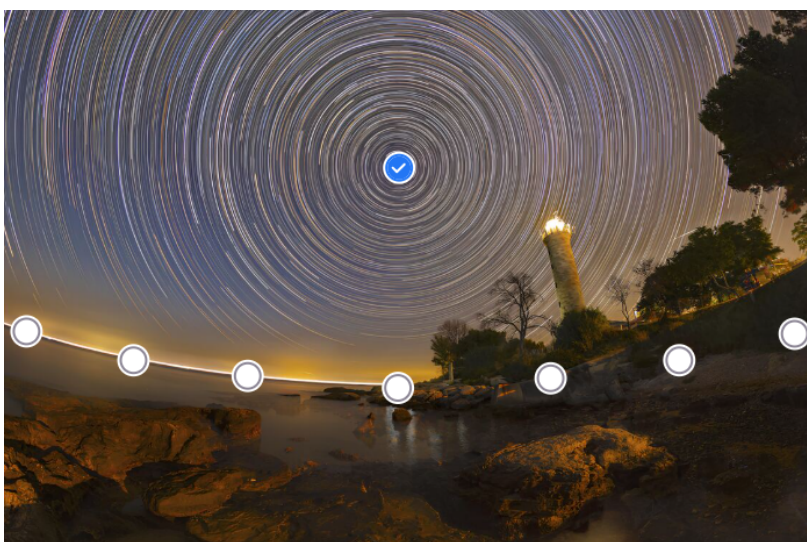
Точка востока:

Ответ:



Северный полюс мира:

Ответ:



Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 8 баллов.

б) Как долго длилась съёмка?

Ответ:

- Около 5 секунд
- Около 15 минут
- Около 30 минут
- ✓ Около 3 часов
- Около 12 часов

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 11

Решение.

а) Видимое суточное движение небесной сферы происходит вокруг оси мира. Вблизи полюса мира такое движение минимально. Хорватия находится в Северном полушарии, так что над горизонтом находится Северный полюс мира. Кардинальные точки севера, запада и востока находятся на горизонте. Если встать лицом к северу, запад окажется слева, восток — справа.

б) По длине дуг звёздных следов можно оценить длительность съёмки: чем длиннее дуги, тем больше времени прошло. На фотографии дуги охватывают порядка 45° по небесной сфере, что соответствует примерно $45/360 = 1/8$ суток, то есть 3 часам.

Задание 6.

На фотографии запечатлена Луна и Юпитер с его галилеевыми спутниками¹.



а) Радиус орбиты Юпитера составляет 5.2 астрономических единицы. На каком расстоянии от Земли находился Юпитер в день съёмки? Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до целых.

Ответ: 6

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

б) В каком полушарии Земли сделана эта фотография, если кадр ориентирован вертикально?

Ответ:

- ✓ В Северном полушарии
- В Южном полушарии
- На экваторе
- Невозможно определить

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

в) Выберите верное утверждение:

Ответ:

- Через несколько дней после дня съёмки наступило полнолуние.
- ✓ Через несколько дней после дня съёмки наступило новолуние.
- Через несколько часов после момента съёмки произошло покрытие Юпитера Луной.
- На следующий день после дня съёмки можно было бы наблюдать спутники Юпитера в тех же положениях относительно друг друга и планеты.

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) На снимке Луна — тонкий серп, значит, для земного наблюдателя она находится недалеко от Солнца. Следовательно, Юпитер близок к соединению с Солнцем и расположен на «дальней» от Земли стороне орбиты. Тогда расстояние Земля — Юпитер близко к максимальному:

$$r \approx a_J + a_E \approx 5.2 + 1.0 = 6.2 \text{ а.е.} \approx 6 \text{ а.е.}$$

б) Ориентация лунных морей на фото привычна для жителя Северного полушария: Океан Бурь слева, цепочка морей справа.

в) Тонкий убывающий серп означает близость к новолунию. Положения галилеевых спутников заметно меняются из ночи в ночь: их орбитальные периоды составляют примерно от 1.8 до 17 суток, поэтому даже через несколько часов, тем более — на следующий день, конфигурация будет наблюдаться иная. Серп Луны обращён к Солнцу. Примерно так же ориентирована плоскость орбит спутников Юпитера. Через час Луна сместится практически вдоль эклиптики на свой видимый диаметр. Покрытие Юпитера при этом, очевидно, не произойдёт.

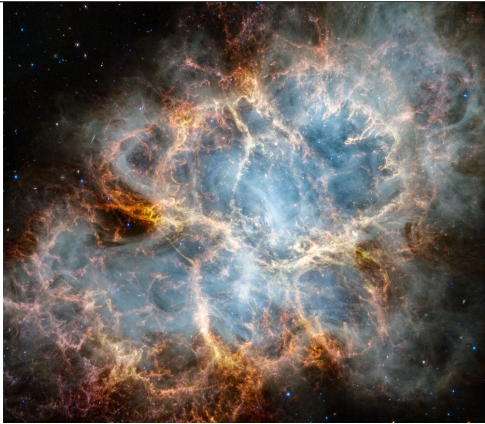
¹Изображение: APOD / NASA — <https://apod.nasa.gov/apod/ap230808.html>

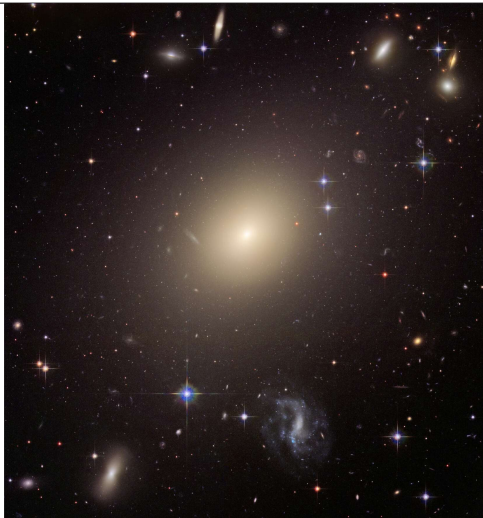
Задание 7.

а) Установите соответствие между изображениями и типами объектов.

В этом задании используются не все варианты ответа из правого столбца. Неиспользованные варианты приведены в последней ячейке таблицы.

Ответ:

	Спиральная галактика ¹
	Остаток сверхновой ²
	Рассеянное звёздное скопление ³
	Шаровое звёздное скопление ⁴

	Эллиптическая галактика ⁵
	Галактическая туманность

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов.

б) Выберите более массивный объект в каждой паре.

Ответ:

1	• Рассеянное звёздное скопление ✓ Шаровое звёздное скопление
2	• Шаровое звёздное скопление ✓ Спиральная галактика
3	• Остаток сверхновой ✓ Эллиптическая галактика
4	• Остаток сверхновой ✓ Рассеянное звёздное скопление

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего — 4 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл.

Максимальный балл за задание — 9

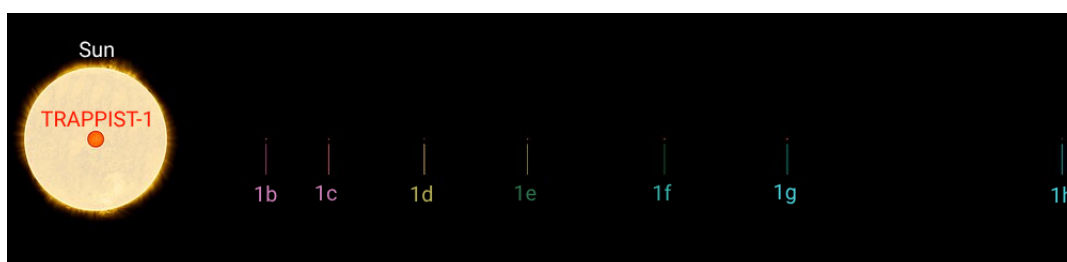
Решение.

а) Спиральная галактика узнаётся по яркому ядру и выраженным спиральным рукавам. Шаровые скопления плотные, почти сферические, состоят из множества старых звёзд. Остаток сверхновой — клубящееся волокнистое облако ионизованного газа неправильной формы. Рассеянные скопления — «рыхлые» группы молодых звёзд (у Плеяд видна голубоватая отражательная туманность). Эллиптические галактики имеют гладкий овальный профиль и лишены рукавов.

б) Шаровые скопления содержат заметно больше звёзд, чем рассеянные. Звёздные скопления и остатки сверхновых входят в состав галактик, поэтому менее массивны, чем эти галактики. Остаток сверхновой — сброшенная оболочка звезды, то есть он имеет массу — куда меньшую, чем скопление из множества звёзд.

Задание 8. Вариант 1.

На рисунке показана экзопланетная система — 8 планет обращаются вокруг маленькой звезды TRAPPIST-1. Солнце представлено в масштабе для сравнения⁶.



¹Источник: NASA, ESA, CFHT, NOAO / APOD — <https://apod.nasa.gov/apod/ap250516.html>

²Источник: NASA, ESA, CSA, STScI; Jeff Hester, Allison Loll, Tea Temim / APOD — <https://apod.nasa.gov/apod/ap231115.html>

³Источник: Stefan Thrün / APOD — <https://apod.nasa.gov/apod/ap230105.html>

⁴ESA/Hubble NASA, G. Piotto et al. / APOD — <https://apod.nasa.gov/apod/ap241219.html>

⁵Источник: NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA); J. Blakeslee / Wikimedia Commons — https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abell_S740,_cropped_to_ES0_325-G004.jpg

⁶Изображение: ESO, O. Furtak / Wikimedia Commons — <https://clck.ru/3PNCft>

а) Известно, что планета $1h$ находится в 6 раз ближе к звезде, чем Меркурий к Солнцу. Считая радиус орбиты Меркурия равным 0.4 а. е., определите расстояние от TRAPPIST-1 до планеты $1h$. Ответ выразите в миллионах километров, округлите до целых. Примите 1 а. е. = 150 млн км.

Ответ: 10

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

б) Выберите верные утверждения:

Ответ:

- ✓ Звезда TRAPPIST-1 холоднее Солнца.
- Звезда TRAPPIST-1 массивнее Солнца.
- ✓ Год на планете $1f$ дольше, чем на планете $1c$.
- Для наблюдателя на $1c$ TRAPPIST-1 кажется примерно в 4 раза больше, чем для наблюдателя на $1d$.
- ✓ Для наблюдателя на $1c$ TRAPPIST-1 кажется примерно в 2 раза больше, чем для наблюдателя на $1e$.
- Планета $1h$, судя по схеме, больше родительской звезды.

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

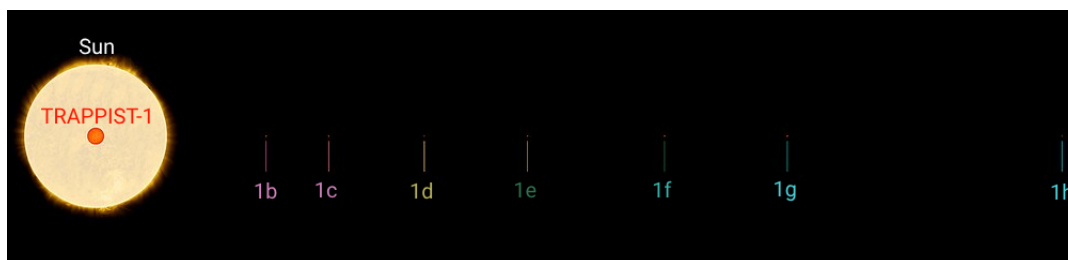
а)

$$\alpha_{1h} = \frac{0.4 \cdot 150 \text{ млн км}}{6} = 10 \text{ млн км.}$$

б) TRAPPIST-1 — ультрахолодный красный карлик, его температура и масса меньше солнечных. Период обращения планеты растёт с расстоянием от неё до звезды, поэтому $P_{1f} > P_{1c}$, $P_{1d} < P_{1g}$. Видимый угловой размер звезды обратно пропорционален расстоянию до неё. Ни одна планета системы не больше самой звезды.

Задание 8. Вариант 2.

На рисунке показана экзопланетная система — 8 планет обращаются вокруг маленькой звезды TRAPPIST-1. Солнце представлено в масштабе для сравнения.



Известно, что планета $1e$ находится в 12 раз ближе к звезде, чем Меркурий к Солнцу. Считая радиус орбиты Меркурия равным 0.4 а. е., определите расстояние от TRAPPIST-1 до планеты $1e$. Ответ выразите в миллионах километров, округлите до целых. Примите 1 а. е. = 150 млн км.

Ответ: 5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

Выберите верные утверждения:

Ответ:

- ✓ Звезда TRAPPIST-1 холоднее Солнца.
- Звезда TRAPPIST-1 массивнее Солнца.
- Год на планете $1d$ дольше, чем на планете $1g$.
- ✓ Для наблюдателя на $1c$ TRAPPIST-1 кажется примерно в 2 раза больше, чем для наблюдателя на $1e$.
- Для наблюдателя на $1d$ TRAPPIST-1 кажется примерно в 4 раза больше, чем для наблюдателя на $1e$.
- Планета $1d$, судя по схеме, больше родительской звезды.

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а)

$$\alpha_{1e} = \frac{0.4 \cdot 150 \text{ млн км}}{12} = 5 \text{ млн км.}$$

б) TRAPPIST-1 — ультрахолодный красный карлик, его температура и масса меньше солнечных. Период обращения планеты растёт с расстоянием от звезды, поэтому $P_{1f} > P_{1c}$, $P_{1d} < P_{1g}$. Видимый угловой размер звезды обратно пропорционален расстоянию до неё. Ни одна планета системы не больше самой звезды.

Задание 9. Вариант 1.

Период обращения планеты TRAPPIST-1 b вокруг звезды составляет 1.5 суток. Планета 1e совершает оборот по орбите вокруг TRAPPIST-1 за 6.0 суток.

а) Как называется ситуация, при которой орбитальные периоды небесных тел соотносятся как небольшие натуральные числа?

Ответ:

- Системное совпадение
- Планетарная гармония
- Натуральная периодичность
- ✓ Орбитальный резонанс
- Наилучшее обращение

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Найдите отношение орбитального периода 1b к периоду 1e.

Ответ: 0.25

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла. За ответ 4 — 1 балл.

в) Как часто 1b и 1e оказываются на одном луче, если смотреть с материнской звезды? Планеты движутся вокруг материнской звезды в одном направлении. Ответ выразите в сутках.

Ответ: 2

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

г) Какие физические и орбитальные характеристики планет системы TRAPPIST-1 непосредственно зависят от их близости к центральной звезде?

Ответ:

- ✓ Средняя температура на поверхности
- Масса
- Радиус
- ✓ Период обращения
- ✓ Скорость обращения
- Средняя плотность

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

Максимальный балл за задание — 16

Решение.

б) Все значения известны: $\frac{1.5 \text{ сут.}}{6.0 \text{ сут.}} = 0.25$.

в) Периоды обращения планет относятся как 4:1. Следовательно, они «встречаются» на одном луче 3 раза за период обращения внешней планеты: за треть большего периода внутренняя планета проходит $4/3$ своей орбиты. Конфигурации повторяются каждые $6.0 \text{ сут.} / 3 = 2.0$ суток.

г) Период обращения и орбитальная скорость однозначно связаны с расстоянием до звезды. Температура определяется получаемой энергией излучения звезды, которая тоже зависит от радиуса орбиты. Масса, радиус и средняя плотность — внутренние свойства планеты, напрямую от расстояния до звезды не зависят.

Задание 9. Вариант 2.

Период обращения планеты TRAPPIST-1 d вокруг звезды составляет 4.0 суток. Планета 1e совершает оборот по орбите вокруг TRAPPIST-1 за 6.0 суток.

а) Как называется ситуация, при которой орбитальные периоды небесных тел соотносятся как небольшие натуральные числа?

Ответ:

- Натуральная периодичность
- ✓ Орбитальный резонанс
- Наилучшее обращение
- Планетарная гармония
- Системное совпадение
- Наилучшее обращение

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла.

б) Найдите отношение орбитального периода 1e к периоду 1d.

Ответ: 1.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла. За ответ $\frac{2}{3}$ — 1 балл.

в) Как часто 1d и 1e оказываются на одном луче, если смотреть с материнской звезды? Планеты движутся вокруг материнской звезды в одном направлении. Ответ выразите в сутках.

Ответ: 12

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла.

г) Какие физические и орбитальные характеристики планет системы TRAPPIST-1 непосредственно зависят от их близости к центральной звезде?

Ответ:

- ✓ Средняя температура на поверхности
- Масса
- Радиус
- ✓ Период обращения
- ✓ Скорость обращения
- Средняя плотность

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего — 6 баллов.

За каждую ошибку снимается 2 балла.

Максимальный балл за задание — 16

Решение по аналогии с вариантом 1