

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
АСТРОНОМИЯ. 2024–2025 УЧ. Г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 10–11 КЛАССЫ

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 100.

Утренняя звезда – 1

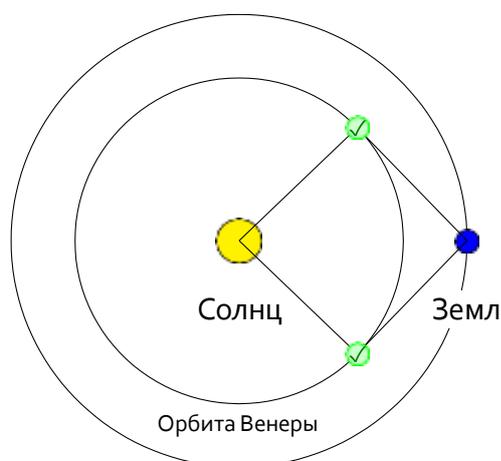
Планета Венера находится ближе к Солнцу, чем Земля, и наблюдается сравнительно недалеко от Солнца на земном небе. Обычно Венера видна незадолго до восхода или через некоторое время после захода Солнца.



Планеты на утреннем небе¹

1. Отметьте все возможные положения Венеры на её орбите в момент, когда она кажется земному наблюдателю максимально удалённой от Солнца.

Ответ:



Точное совпадение ответа – 2 балла.

¹ Изображение: Astronet / Юрий Белецкий – <https://www.astronet.ru/db/msg/1349278>

2. Как называется такая конфигурация Венеры?

Ответ:

- **Наибольшая элонгация**
- Соединение
- Противостояние
- Максимум
- Эквinox
- Альмукантарат

Точное совпадение ответа – 2 балла.

Комментарий. Наибольший угол Солнце–Земля–Венера достигается, когда угол Солнце–Венера–Земля прямой: луч Земля–Венера касается орбиты Венеры. Название такой конфигурации соответствует её смыслу.

3. Определите наибольшее расстояние между возможными положениями Венеры в этот момент, если радиус орбиты Венеры равен 0.72 а. е. Ответ выразите в астрономических единицах, округлите до десятых.

Решение. Вместо точного вычисления заметим, что четырёхугольник, образованный Солнцем, Землёй и положениями Венеры в максимальных элонгациях, является практически квадратом: два угла в нём и так прямые, одна из диагоналей (радиус орбиты Земли) равна 1.0 а. е., а один из катетов в «половинке» дельтоида (радиус орбиты Венеры) равен 0.72 а. е. $\approx 1 \sqrt{2}$ а. е. В таком случае длина второй диагонали, соответствующая искомому расстоянию, есть **1.0 а. е.**

Точное совпадение ответа – 3 балла.

4. Выразите полученное расстояние в миллионах километров.

Решение.

$$150 \text{ млн км} \times 1.0 = \mathbf{150 \text{ млн км.}}$$

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Утренняя звезда – 2

Посмотрите внимательно на «групповой портрет» Солнечной системы. В одну цепочку на снимке выстроились планеты Венера, Марс и Юпитер, а также звезда Регул (α Льва).



Планеты Венера, Марс и Юпитер на предрассветном небе²

5. Снимок получен перед рассветом. В каком полушарии сделана эта фотография?

Ответ:

- В Южном полушарии
- В Северном полушарии
- В точности на экваторе
- Невозможно определить

Решение. Плоскости орбит планет практически совпадают, поэтому планеты движутся практически вдоль эклиптики – большого круга, образованного плоскостью орбиты Земли, вдоль которого проходит видимое годичное движение Солнца. Наблюдаемое вблизи горизонта свечение означает, что снимают восточную часть горизонта. Солнце скоро взойдёт, а планеты уже взошли. Эклиптика составляет небольшой угол с небесным экватором, так что можно ожидать, что небесный экватор в точке востока уходит *влево*, к точке севера. Это возможно в Южном полушарии. Светила восходят вверх и влево.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

² Изображение: Astronet / Юрий Белецкий – <https://www.astronet.ru/db/msg/1349278>

6. Какие явления возможно наблюдать на снимке?

Ответ:

- **Зодиакальный свет**
- **Свечение ночного неба**
- Полное солнечное затмение
- Лунное затмение
- Тень Земли
- Гало

Комментарий. Зодиакальный свет наблюдается в виде клиновидной полосы вдоль эклиптики и объясняется рассеянием света на межпланетных частичках пыли. Свечение ночного неба возникает за счёт люминесценции атмосферных газов под действием космических излучений и проявляется в основном полосой вблизи горизонта – поскольку именно в этом направлении взгляд пронзает слой атмосферы наибольшей толщины.

Точное совпадение ответа – 4 балла.

7. Как называется рассеянное звёздное скопление, которое можно заметить в левом верхнем углу фотографии?

Ответ:

- **Ясли**
- Плеяды
- Гиады
- Млечный Путь
- Гоминиды
- Кариатиды

Комментарий. Скопление Ясли находится в созвездии Рака, смежном с созвездием Льва, ярчайшая звезда которого (Регул) отмечена в условии задачи.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Круговерть

Очень быстрый самолёт летит вдоль экватора Земли с запада на восток. Длина окружности земного экватора – около 40 тысяч километров.



Шутка по теме задачи³

8. Пассажиры самолёта наблюдают восход Солнца каждые 6 часов. Определите скорость движения самолёта относительно поверхности Земли. Ответ выразите в км/с, округлите до десятых.

Решение. Самолёт движется навстречу суточному вращению Земли: терминатор (граница раздела дня и ночи) смещается с востока на запад со скоростью

$$v_r = 40\,000 \text{ км}/24 \text{ ч} = 1\,667 \text{ км}/\text{ч} = 0.463 \text{ км}/\text{с}.$$

За 6 часов самолёт вновь возвращается к «утренней» части терминатора:

$$\frac{40\,000 \text{ км}}{v_p + v_r} = 6 \text{ ч},$$

откуда скорость самолёта

$$v_p \frac{40\,000 \text{ км}}{6 \text{ ч}} - v_r = 5\,000 \text{ км}/\text{ч} = 1.4 \text{ км}/\text{с}.$$

Точное совпадение ответа – 4 балла.

9. Выразите результат в единицах скорости звука (330 м/с при нормальных условиях). Округлите до целых.

Решение.

$$\frac{v_p}{v_r} = \frac{1.4 \text{ км}/\text{с}}{0.33 \text{ км}/\text{с}} \approx 4.$$

Точное совпадение ответа – 2 балла.

³ Изображение: XKCD / yulka_mi – <https://xkcd.ru/1557/>

10. В каком направлении движется самолёт?

Ответ:

- С востока на запад
- **С запада на восток**
- С севера на юг
- С юга на север
- Невозможно определить

Комментарий. Прямо указано в условии – читайте внимательно!

Точное совпадение ответа – 1 балл.

11. С какой периодичностью пассажиры могли бы наблюдать восходы Солнца, если бы самолёт развернулся и продолжил движение вдоль экватора с той же скоростью, но в противоположном направлении? Выразите ответ в часах, округлите до целых.

Решение. Вновь запишем уравнение для относительного движения самолёта и «утренней» частью терминатора, заменив движение навстречу на движение вдогонку:

$$\frac{40\,000 \text{ км}}{v_p - v_r} = \frac{40\,000 \text{ км}}{5\,000 \text{ км/ч} - 1\,667 \text{ км/с}} = \mathbf{12 \text{ ч.}}$$

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Потеря массы

Хитрый инопланетянин *увеличил* радиусы орбит планет Солнечной системы на 10 %, оставив их круговыми.

12. Как изменилась продолжительность земного года?

Ответ:

- **Увеличилась**
- Уменьшилась
- Не изменилась
- Невозможно определить

Решение. С ростом радиуса орбиты при неизменной массе центрального тела период обращения планеты возрастает. К такому выводу можно прийти, например, вспомнив третий закон Кеплера: квадрат периода обращения планеты пропорционален кубу радиуса её орбиты. Также можно вспомнить параметры орбит планет Солнечной системы: чем дальше планета от Солнца, тем дольше длится год на ней.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

13. Как изменился видимый с Земли блеск планет?

Ответ:

- Планеты стали выглядеть ярче
- **Планеты стали выглядеть тусклее**
- Блеск планет не изменился
- Невозможно определить

Решение. Вначале вспомним, как возникает и приходит к наблюдателю видимый свет планеты: планета освещается Солнцем, затем часть света отражается в сторону наблюдателя. Чем дальше планета от Солнца, тем меньше солнечного света на неё попадает. А поскольку возрастают радиусы орбит всех планет, то и расстояние от планеты до земного наблюдателя также возрастёт. Тогда и до земного наблюдателя дойдёт меньшее количество света от планеты. В итоге планеты будут выглядеть тусклее.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

14. Как изменилась средняя орбитальная скорость Венеры?

Ответ:

- Скорость Венеры увеличилась
- **Скорость Венеры уменьшилась**
- Скорость не изменилась
- Невозможно определить

Решение. С ростом радиуса орбиты скорость движения планеты убывает. К такому выводу можно прийти, например, рассчитав по радиусу орбиты и длительности орбитального периода скорость движения пары планет Солнечной системы, взяв, например, Землю и Марс или Венеру. Или же можно вспомнить более строгую зависимость между орбитальной скоростью и радиусом орбиты: $V \propto 1/\sqrt{r}$ что также показывает уменьшение скорости с ростом радиуса орбиты.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

15. Как изменился синодический период Венеры при наблюдении с Земли?

Ответ:

- Синодический период уменьшился
- **Синодический период увеличился**
- Синодический период не изменился
- Невозможно определить

Решение. Выразим синодический период Венеры S через орбитальные периоды Венеры T и Земли $T_0 > T$:

$$S = \frac{1}{\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}} = \frac{TT_0}{T_0 - T}.$$

Заметим, что из третьего закона Кеплера следует, что изменение радиуса орбиты в фиксированное количество раз k влечёт изменение орбитальных периодов также в фиксированное количество раз, так что на отношение периодов оно не повлияет:

$$\left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{T'}{T'_0}\right)^2 = \left(\frac{kR}{kR_0}\right)^3 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = \left(\frac{T}{T_0}\right)^2.$$

Итак, новые орбитальные период $T' = bT$ и $T'_0 = bT_0$, причём $b > 1$ (если быть точным, $b = k^{3/2}$).

Новый синодический период

$$S' = \frac{T'T'_0}{T'_0 - T'} = \frac{b^2TT_0}{b(T_0 - T)} = bS.$$

Поскольку $b > 1$, синодический период увеличится.

Точное совпадение ответа – 4 балла.

Примечание. Если бы инопланетянин *уменьшил* радиусы орбит планет,

- продолжительность земного года **уменьшилась бы**;
- планеты стали бы **выглядеть ярче** для земного наблюдателя;
- средняя орбитальная скорость Венеры **увеличилась бы**;
- синодический период Венеры **уменьшился бы**.

Лучевая скорость

16. Современное расстояние до звезды Бета Козлобарана составляет 12 световых лет, а лучевая скорость этой звезды (проекция скорости на луч зрения) – 800 км/с. За какое время Бета Козлобарана удалится от Земли на 10 %? Скорость света в вакууме составляет 300 тысяч км/с. Выразите ответ в годах, округлите до целых.

Решение. Время для удаления звезды на 10 % от текущего расстояния оценим, разделив преодолеваемое звездой расстояние на скорость. Сперва переведем световой год в километры. По определению это расстояние, которое свет в вакууме преодолевает за 1 год:

$$3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \times 1 \text{ год} = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \times 365.25 \cdot 86400 \text{ с} = 9.46 \cdot 10^{12} \text{ км}$$

Далее можем вычислить время движения звезды:

$$\frac{12 \text{ св. лет} \times 0.1}{800 \text{ км/с}} = \frac{0.1 \times 12 \times 9.46 \times 10^{12} \text{ км}}{800 \text{ км/с}} = 1.42 \cdot 10^{10} \text{ с} \approx \mathbf{450 \text{ лет.}}$$

Точное совпадение ответа – 4 балла.

17. Скорость обращения Солнца вокруг центра Галактики составляет порядка 200 км/с. Что можно сказать о Бете Козлобарана?

Ответ:

- Эта звезда обращается по примерно круговой орбите вокруг центра Галактики.
- **Эта звезда имеет аномально высокую скорость движения.**
- Эта звезда принадлежит крупному шаровому звёздному скоплению.
- Эта звезда является красным гигантом.

Решение. Объекты, движущиеся в Галактике по круговым орбитам, обладают скоростями порядка солнечной, заведомо много меньшими 800 км/с. Шаровые звёздные скопления в основном находятся во внешних областях Галактики, намного дальше указанного в условии расстояния. Тип звезды по указанной скорости определить не представляется возможным: существует ряд механизмов набора звездой значительной скорости, как следствие, типы высокоскоростных звёзд могут быть разными.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

18. Каково собственное движение Беты Козлобарана на небе Земли?

Ответ:

- **Невозможно определить**
- 10 градусов за 100 лет
- 5 угловых секунд за год
- 12 угловых минут за 100 лет

Решение. Собственное движение звезды связано с её перемещением *перпендикулярно* лучу зрения в так называемой картинной плоскости. В условии же приведена только лучевая скорость, поэтому для нахождения собственного движения не хватает данных.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Межвременье

23 сентября в некоторой точке с координатами 60° с. ш., 165° в. д. наступил местный полдень.

19. Определите долготу любой точки, в которой в этот же момент наступила местная полночь.

Решение. Местное время LT связано со всемирным временем UT и долготой пункта λ выражением

$$LT = UT + \lambda.$$

Для вычислений необходимо привести величины к одним единицам, считая, что $360^\circ = 24^h$, то есть $1^h = 15^\circ$. Восточные долготы считаются положительными, западные – отрицательными.

В рассматриваемом случае для полуденного меридиана имеем:

$$12^{\text{h}} = UT + 165^{\circ},$$

откуда

$$UT = 12^{\text{h}} - 165^{\circ} = 180^{\circ} - 165^{\circ} = 15^{\circ}.$$

Для меридиана, на котором наступила полночь, имеем

$$0^{\text{h}} = UT + \lambda = 15^{\circ} + \lambda,$$

откуда $\lambda = -15^{\circ}$, то есть **15° з. д.**

Проще говоря, необходимо было найти долготу меридиана, противоположного меридиану 165° в. д.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

20. Каково всемирное время в этот же момент?

Ответ: $UT = 15^{\circ} =$ **01 час 00 мин** согласно ранее полученному результату.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

21. Определите местное время в этот же момент в точке с координатами 80° ю. ш., 36° в. д.

Решение.

$$UT + \lambda = 15^{\circ} + 36^{\circ} = 51^{\circ} = 3.4^{\text{h}} = \mathbf{03 \text{ час } 24 \text{ мин.}}$$

Точное совпадение ответа – 3 балла.

22. Определите местное время и дату в этот же момент в точке с координатами 60° с. ш., 165° з. д.

Решение.

$$UT + \lambda = 15^{\circ} - 165^{\circ} = -150^{\circ} = -10^{\text{h}}.$$

Результат можно интерпретировать как **14 часов 00 минут** предыдущих суток, то есть **22 сентября**.

Альтернативно: заметим, что данный меридиан на $150^{\circ} = 10^{\text{h}}$ западнее, чем меридиан 15° з. д., на котором, как было показано ранее, наступила местная полночь. На данном меридиане местное время отстаёт на 10 часов, то есть составляет 10 часов до полуночи – 14 часов предыдущих суток.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Угломер

В таблице представлены экваториальные координаты некоторых светил.

Светило	Прямое восхождение	Склонение
<i>A</i>	0 ^h	0°
<i>B</i>	1 ^h	0°
<i>C</i>	0 ^h	10°
<i>D</i>	12 ^h	80°
<i>E</i>	0 ^h	–80°

23. Определите угловые расстояния между указанными светилами в парах. Ответы выразите в градусах, округлите до целых.

Ответ:

- *A* и *B*: **15°**
- *A* и *C*: **10°**
- *B* и *C*: **18°**
- *C* и *D*: **90°**
- *D* и *E*: **180°**

Решение. Светила *A* и *B* имеют одинаковое склонение, равное нулю, то есть находятся на небесном экваторе. Их прямые восхождения различаются на 1^h = 15°; расстояние $AB = 15^\circ$. Светила *A* и *C* имеют одинаковое прямое восхождение. Их склонения различаются на 10°. В данном случае склонения выступают аналогом «широты»; расстояние $AC = 10^\circ$.

Светила *B* и *C* обладают разными прямыми восхождениями и склонениями, однако различия координат невелики, что позволяет оценить угловое расстояние между светилами по теореме Пифагора в пренебрежении кривизной небесной сферы. Разность прямых восхождений составляет 1^h = 15°, разность склонений равна 10°. Поскольку круг склонений перпендикулярен экватору, по теореме Пифагора имеем

$$BC = \sqrt{(15^\circ)^2 + (10^\circ)^2} \approx 18^\circ.$$

Светила *C* и *D* имеют противоположные прямые восхождения (0^h и 12^h), то есть располагаются на одном большом круге. Кратчайшая дуга *CD* проходит через Северный полюс мира, её длина $CD = 180^\circ - 10^\circ - 80^\circ = 90^\circ$. Светила *D* и *E* также расположены на одном большом круге, при этом их склонения противоположны по знаку. Это означает, что светила диаметрально противоположны на небесной сфере, а угловое расстояние между ними составляет 180°.

Точное совпадение ответа – по 2 балла за каждый правильный ответ.

Сортируй

Расположите перечисленные объекты в порядке увеличения их размеров.

Ответ:

- 1 Протон
- 2 Межзвёздная пылинка
- 3 Нейтронная звезда
- 4 Белый карлик
- 5 Юпитер
- 6 Солнце
- 7 Бетельгейзе
- 8 Гигантское молекулярное облако
- 9 Млечный Путь
- 10 Местная группа галактик

Комментарий. Протон – это элементарная частица, входящая в состав всех остальных объектов в этом списке. Межзвёздная пыль состоит из частиц размером всего в доли микрометра. Нейтронная звезда и белый карлик – возможные результаты звёздной эволюции. Нейтронные звезды при массе около солнечной обладают размерами всего в 10 – 20 километров. Белые карлики – объекты более крупные: при массе также около солнечной характерный радиус объекта составляет несколько тысяч километров, что сопоставимо с размерами Земли. Юпитер – самая крупная планета Солнечной системы, его радиус более чем в 10 раз превышает земной, но на порядок уступает солнечному. Бетельгейзе – звезда-сверхгигант с радиусом в сотни раз больше солнечного. Гигантское молекулярное облако – типичный представитель дисковой компоненты Млечного Пути, «звёздная колыбель»: из газа гигантских молекулярных облаков образуются звёздные скопления, а массы таких облаков достигают миллиона масс Солнца при размерах в десятки и сотни парсеков. Млечный Путь содержит такие облака помимо объектов иных типов и в целом обладает диаметром в несколько десятков тысяч парсеков. Местная группа галактик содержит не только Млечный Путь, но и несколько других галактик, поэтому обладает наибольшим размером среди перечисленных объектов.

Точное совпадение ответа – 10 баллов.



Изображение сгенерировано моделью Kandinsky 3.1

Блестяще

24. Два наблюдателя изучают красный карлик, расположенный (в масштабах Галактики) недалеко от Солнца. Один обращается вокруг карлика по круговой орбите радиусом 2 а. е., второй удалён на 200 а. е. от звезды.

25. Во сколько раз меньше энергии излучения карлика приходится на единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению на красный карлик, для второго наблюдателя по сравнению с первым? Округлите ответ до целых.

Решение: Определим, как зависит количество энергии, приходящееся на единицу площади, от расстояния; далее будем называть это количество потоком. Освещаемая звездой полная площадь на расстоянии r от неё составляет $4\pi r^2$ (достаточно пропорциональности квадрату расстояния). Следовательно, поток энергии от звезды *обратно пропорционален* квадрату расстояния от звезды, а отношение потоков обратно пропорционально отношению квадратов расстояний. Таким образом, для второго наблюдателя поток энергии окажется в $200^2/2^2 = 10\,000$ раз меньше, чем для первого.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

26. На сколько отличаются видимые звёздные величины карлика для двух наблюдателей? Изменение потока в 100 раз соответствует разнице в 5 звёздных величин. Округлите ответ до целых.

Решение: Заметим, что отношение потоков составляет $10000 = 100^2$. В данном случае поток энергии для второго наблюдателя можно представить как дважды последовательно уменьшенный в 100 раз поток, видимый первым наблюдателем. Каждое снижение потока в 100 раз соответствует *увеличению* видимой звёздной величины на 5 единиц, следовательно, разность видимых звёздных величин составит $2 \cdot 5 = 10$.

Точное совпадение ответа – 4 балла.

27. На сколько будут отличаться видимые звёздные величины карлика для двух наблюдателей, если каждый наблюдатель вдвое приблизится к центральному светилу? Округлите ответ до целых.

Решение: Заметим, что при одинаковом уменьшении расстояния для обоих наблюдателей отношение потоков не изменится, несмотря на увеличение каждого потока в $2^2 = 4$ раза. Неизменность отношения потоков означает постоянство разности видимых звёздных величин, она останется равной **10**.

Точное совпадение ответа – 3 балла.

Противостояния

Планеты А и Б обращаются вокруг красного карлика по круговым орбитам в одной плоскости и в одном направлении. Периоды обращения планет равны 1 земному году и 3 земным годам соответственно.



Изображение сгенерировано моделью Kandinsky 3.1

28. С какой периодичностью будут наблюдаться противостояния планеты Б при наблюдении с планеты А? Выразите ответ в годах, округлите до десятых.

Решение. Заметим, что ответом на поставленный вопрос будет являться синодический период планеты Б при наблюдении с планеты А, поскольку синодический период по определению равен периоду повторения заданной конфигурации. Выразим синодический период S через орбитальные периоды планет T_A и T_B :

$$S = \frac{1}{\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}} = \frac{T_A T_B}{T_B - T_A} = \frac{1 \times 3}{3 - 1} \text{ года} = 1.5 \text{ года}$$

Точное совпадение ответа – 4 балла.

29. Выберите верные утверждения.

Ответ:

- Противостояния планеты Б наблюдаются с планеты А в один и тот же сезон года.
- **Противостояния планеты Б наблюдаются с планеты А либо в один сезон года, либо в противоположный ему.**
- Противостояния планеты Б наблюдаются с планеты А три раза в год.
- **Противостояния планеты Б наблюдаются с планеты А не реже раза в два года.**

Решение. Между двумя последовательными противостояниями проходит 1.5 года, то есть полтора периода обращения планеты А, следовательно, последовательные противостояния планеты Б наблюдаются в противоположные сезоны года, поскольку планета А занимает одну из двух противоположных точек на своей орбите. Полученное значение синодического периода соответствует наблюдению противостояния планеты Б не реже раза в два года.

Точное совпадение ответа – 2 балла.

30. Определите отношение радиуса орбиты планеты Б к радиусу орбиты планеты А. Округлите ответ до десятых.

Решение. Воспользуемся третьим законом Кеплера: для планет, обращающихся вокруг одной звезды, квадраты периодов обращения будут пропорциональны кубам радиусов орбит. Тогда верно отношение

$$\frac{T_B^2}{T_A^2} = \frac{r_B^3}{r_A^3}.$$

Отношение радиусов получим извлечением кубического корня из обеих частей равенства:

$$\frac{r_B}{r_A} = \sqrt[3]{\frac{T_B^2}{T_A^2}} = \sqrt[3]{\frac{3^2}{1^2}} \approx 2.1.$$

Точное совпадение ответа – 4 балла.