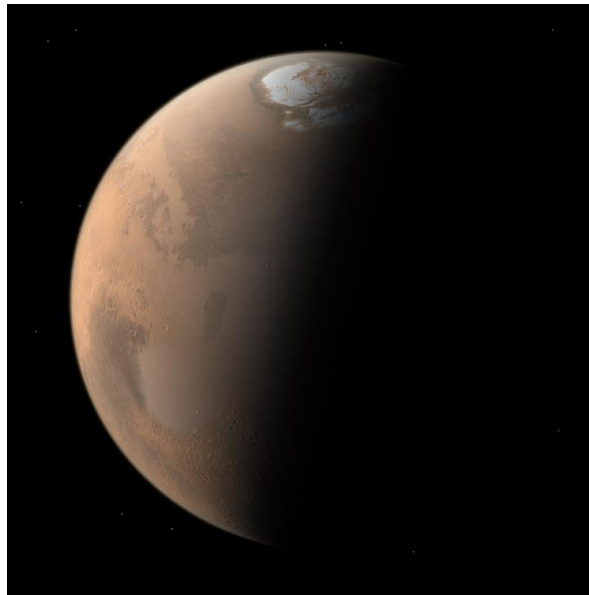


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ПО АСТРОНОМИИ. 2021–2022 уч. г.  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 класс

**Задачи 1-2**

1. Какой объект Солнечной системы изображён на рисунке?



Венера  
Нептун  
Марс  
Меркурий  
Юпитер

2. В каком случае у объекта, изображённого на рисунке, может наблюдаться похожая фаза? Выберите наиболее подходящий вариант ответа.

У него всегда такая фаза.

При наблюдении с поверхности Земли в восточной квадратуре.

При наблюдении с космического аппарата, обращающегося вокруг объекта, при соответствующем стечении обстоятельств.

Наблюдения ведутся с Земли в крупный телескоп, который позволяет рассмотреть подробности освещения планеты.

При наблюдениях в год великого противостояния этого объекта во время квадратуры с телескопом Хаббла, который обращается вокруг Земли и позволяет рассмотреть подробности освещения планеты.

**Ответ:**

1. Марс (1 балл)

2. При наблюдении с космического аппарата, обращающегося вокруг объекта, при соответствующем стечении обстоятельств. (3 балла)

*Максимум за задачу 4 балла.*

### Задача 3

Расставьте в порядке увеличения массы следующие объекты.

1)



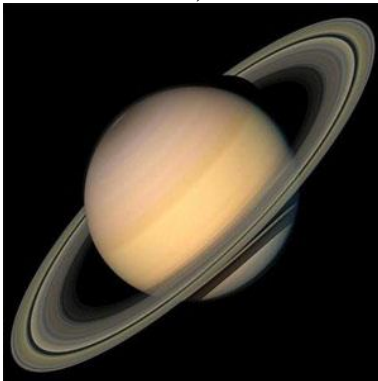
2)



3)



4)



5)



6)

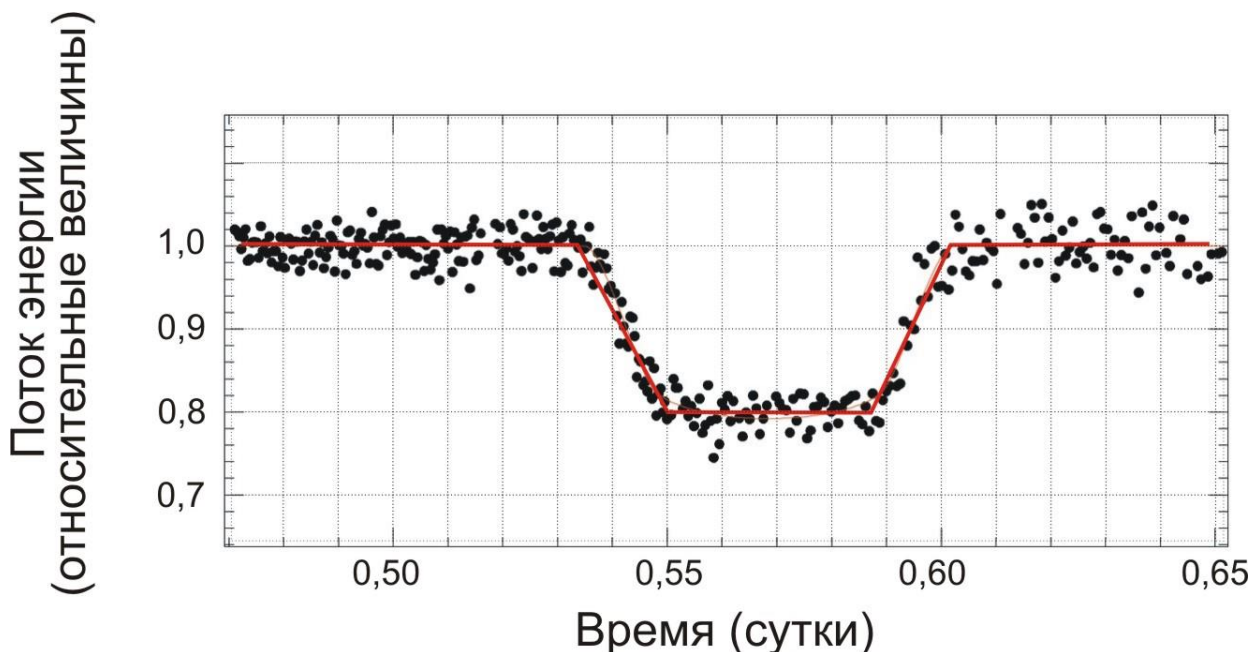


**Ответ: 315642 (3 балла)**

*Максимум за задачу 3 балла.*

### Задачи 4-10

При наблюдениях планетных систем у других звёзд (такие планеты называют экзопланетами) в некоторых случаях можно видеть прохождение экзопланеты по диску звезды. При этом экзопланета закрывает для земного наблюдателя часть диска звезды, что приводит к падению её блеска. Звёзды в подобных системах могут быть самого разного типа и размера. Например, звездой малого размера – красным карликом. На рисунке представлена кривая блеска, зарегистрированная во время прохождения экзопланеты по диску красного карлика. Кривая блеска представлена в виде графика, по оси абсцисс которого отложено время, а по оси ординат – измеренное количество энергии, приходящей от звезды на Землю (за единицу выбрана энергия, регистрируемая вне затмения). Точками показаны отдельные наблюдения, а красная линия соответствует усреднённым данным, по которым и требуется провести измерения. Ответьте на ряд вопросов.



4. Сколько минут длилось прохождение планеты по диску звезды от первого до последнего касания дисков звезды и планеты?
5. Во сколько раз ослабла звезда в минимуме блеска?
6. На сколько звездных величин ослабла звезда в минимуме блеска (ответ округлите до сотых)?
7. Является ли прохождение центральным (т.е. совпадают ли в минимуме блеска центры дисков экзопланеты и звезды для земного наблюдателя)?
8. Какую часть площади диска (в процентах) звезды закрыла экзопланета в минимуме блеска (возможным потемнением диска звезды к краю пренебречь)?
9. Считая, что размеры звезды характерны для красных карликов (радиус равен 0,1 радиуса Солнца), определите радиус планеты и выразите ответ в километрах. Радиус Солнца считайте равным  $7 \cdot 10^8$  м.
10. Считая, что прохождение экзопланеты происходит по диаметру диска звезды и орбита планеты круговая, и, зная, что размеры звезды характерны для красных карликов (радиус равен 0,1 радиуса Солнца), оцените величину орбитальной скорости экзопланеты в км/с. Радиус Солнца считайте равным  $7 \cdot 10^8$  м.

**Ответ:**

4. 99; ответ в диапазоне [85;101] минут оценивается в **2 балла**. Ответ в диапазоне [50;58] оценивается **1 баллом**.
5. в 1,25 раза; ответ в диапазоне [1,24;1,26] оценивается в **2 балла**.
6. 0,24; ответ в диапазоне [0,24;0,243] оценивается в **4 балла**.
7. нельзя ответить однозначно (**1 балл**)
8. 20% (**2 балла**); ответ в диапазоне [19;21], исключая 20, оценивается в **1 балл**.

9. [30000;33000] (2 балла)

10.[25;50] (2 балла).

**Максимум за задачу 15 баллов.**

### Задача 11

Как известно, Солнце в течение года движется по небу по эклиптике. Выберите, какие круги и линии оно может пересекать в ходе этого движения для наблюдателя в средних широтах.

небесный экватор

небесный меридиан

математический горизонт

галактический экватор

#### Решение

Экватор (и небесный, и галактический), горизонт, меридиан и эклиптика являются большими кругами небесной сферы. Большие круги обязательно пересекаются в двух точках.

**Ответ:** небесный экватор, небесный меридиан, математический горизонт, галактический экватор (по 1 баллу за каждый ответ)

**Максимум за задачу 4 балла.**

### Задача 12

В какой интервал попадает параллакс объекта, расстояние до которого равно 167 млн а.е.? Для справки:  $1 \text{ пк} \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ м}$ ,  $1 \text{ а.е.} = 150 \text{ млн км}$ .

0,119 .. 0,168"

119 .. 130"

0,011 .. 0,013"

1 .. 1,1"

0,002 .. 0,004"

124 .. 168"

ни в один из приведённых в списке

**Ответ:** ни в один из приведённых в списке (3 балла)

*Примечание:* расстояние 167 млн а.е. надо выразить в парсеках (например, помня, что  $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.}$ ):  $167 \text{ млн а.е.}/206265 \approx 810 \text{ пк}$ . Это расстояние соответствует параллаксу  $0,00124''$ . Он не попадает ни в один из интервалов в условии.

**Максимум за задачу 3 балла.**

### Задача 13

Расставьте в порядке увеличения.

- 1) длительность цикла солнечной активности
- 2) период обращения Земли вокруг Солнца
- 3) период обращения Нептуна вокруг Солнца
- 4) осевой период вращения Юпитера
- 5) период обращения Венеры вокруг Солнца
- 6) возраст Солнца
- 7) возраст системы Земля-Луна
- 8) средняя продолжительность жизни человека

**Ответ:** 45218376 (2 балла)

*Максимум за задачу 2 балла.*

### Задачи 14-16

Известно, что средняя концентрация молекулярного водорода в сжимающемся протозвёздном облаке составляет  $3 \cdot 10^5$  молекул/см<sup>3</sup>, а радиус облака примерно равен 20000 а.е. Для справки: масса протона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг.

14. Определите массу облака и запишите её в солнечных массах (ответ округлите до целого).
15. Масса родившейся звезды будет больше, меньше или равна массе облака?
16. Вычислите характерное время сжатия облака с указанного размера до рождения протозвезды (т.е. до достижения объектом околозвёздных размеров). Ответ выразите в годах.

#### Решение

14. Найдём массу облака:  $M = \rho V = n \cdot 2m_p \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 = (3 \cdot 10^5 \cdot 100^3) \cdot 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{4}{3} \pi (20000 \cdot 1,5 \cdot 10^{11})^3 = 1,13 \cdot 10^{32}$  кг (удвоенная масса протона соответствует молекулярному водороду).

Зная, что масса Солнца равна  $2 \cdot 10^{30}$  кг, получим массу облака  $56,7 M_{\odot}$ .

15. Не вся масса вещества, находящегося в сжимающемся протозвёздном облаке, перейдёт в звезду – в какой-то момент возросшее давление излучения остановит падение внешних слоёв облака на образующуюся звезду.
16. Один из способов решения такой задачи – рассмотрение движения частицы, расположенной во внешних частях облака. Можно считать, что эта частица обращается вокруг центра облака по очень вытянутой (вырожденной в отрезок) орбите с большой полуосью, равной половине

радиуса облака, успевает сделать только половину оборота и падает на звезду. Согласно 3-му закону Кеплера,  $\frac{a^3}{1^3} = \frac{M}{1} \cdot \frac{T^2}{1^2}$  (для системы Земля-Солнце в формулу подставлены 1 а.е., 1 год, 1  $M_{\odot}$ ).

Отсюда:  $T = \sqrt{\frac{a^3}{M}} = \sqrt{\frac{10000^3}{18,9}} = 133$  тыс. лет. Искомое время – половина от полученной величины, т.е. примерно 66 тыс. лет.

**Ответ:**

14. [55;58] (4 балла), за ответ [27,5;29] 2 балла.

15. меньше (1 балл)

16. [60000;70000] (6 баллов), за ответ [85000;98000] 4 балла.

**Максимум за задачу 11 баллов.**

### Задача 17

На Северном полюсе Земли некая звезда наблюдается на высоте  $60^{\circ}24'$  над горизонтом. На какой максимальной угловой высоте может наблюдаться эта звезда в следующих пунктах Земли (влиянием атмосферы пренебречь)? Ответ приведите в градусах, округлив до десятых. Например,  $34,5^{\circ}$ .

- 1) Южный полюс Земли
- 2) Северный полюс Земли
- 3) экватор
- 4) Красная площадь в Москве (географические координаты центра Москвы  $\varphi=55^{\circ}45'$  с.ш.,  $\lambda=37^{\circ}37'$  в.д.)
- 5) Сидней (географические координаты центра Сиднея  $\varphi=33^{\circ}52'$  ю.ш.,  $\lambda=151^{\circ}13'$  в.д.)

**Решение**

Склонение звезды также будет равно  $60^{\circ}24'$  или  $60,4^{\circ}$ . Исходя из этого, и надо вычислять координаты в кульминации.

**Ответ:**

- 1)  $-60,4$  (2 балла)
- 2)  $60,4$  (2 балла)
- 3)  $29,6$  (2 балла)
- 4)  $85,4$  (2 балла),  $85,3$  (1 балл)
- 5)  $-4,3$  (2 балла),  $-4,2$  (1 балл)

**Максимум за задачу 10 баллов.**

### Задачи 18-22

Межпланетная станция, пересекая орбиту астероида, имеющего период обращения вокруг Солнца ровно 9 лет, отправила сигнал наземному радиотелескопу слежения. Скорость станции относительно Солнца в этот момент была равна 22 км/с, а Земля наблюдалась со станции в наибольшей элонгации. Считая орбиты Земли и астероида круговыми, ответьте на ряд вопросов.

**18.** В какой конфигурации будет наблюдаться станция с Земли?

соединение

противостояние

квадратура

наибольшая элонгация

эта конфигурация не имеет специального названия

невозможно указать однозначно

**19.** Чему равен радиус орбиты астероида (ответ укажите в а.е. и округлите до сотых)?

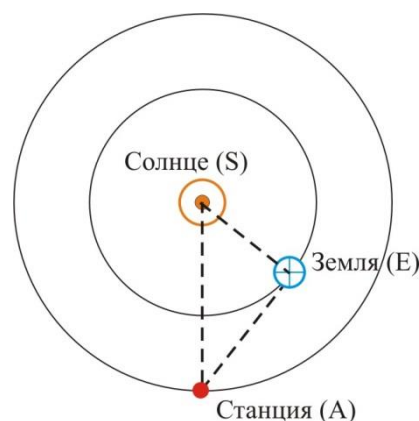
**20.** Чему равно расстояние от станции до Земли (ответ укажите в а.е. и округлите до сотых)?

**21.** Сколько времени будет идти сигнал (ответ укажите в часах и округлите до сотых)?

**22.** Какой путь пройдёт станция за время, требующееся сигналу для того, чтобы дойти до телескопа (ответ укажите в а.е. с двумя значащими цифрами, например, 0,000012)?

### Решение

Нарисуем рисунок:



Вычислим радиус орбиты астероида. В соответствии с 3-м законом Кеплера,  
 $a = \sqrt[3]{T^2} = \sqrt[3]{81} \approx 4,327$  а.е.

По условию Земля находится в наибольшей элонгации. Значит, угол SEA – прямой. Сторона SA = 4,327 а.е. сторона SE = 1 а.е. Отсюда по теореме Пифагора расстояние Земля-Станция равно  $\sqrt{4,327^2 - 1^2} = 4,21$  а.е.

Это расстояние радиоволны пройдут за время  $4,21 \cdot \frac{150000000}{300000} = 2105\text{с} \approx 0,585\text{ч}$ .

За это время станция пролетит  $\frac{22}{300000} \cdot 4,21\text{а.е.} = 0,00031\text{а.е.}$

**Ответ:**

18. квадратура (**2 балла**)

19. 4,33. Ответ в диапазоне [4,3;4,35] а.е. оценивается в **4 балла**, без округления до сотых – **3 балла**.

20. 4,21. Ответ в диапазоне [4,15;4,25] а.е. оценивается в **3 балла**, без округления до сотых – **2 балла**.

21. 0,58. Ответ в диапазоне [0,57;0,61] ч оценивается в **2 балла**, без округления до сотых – **1 балл**.

22. 0,00031. Ответ в диапазоне [0,00029;0.00033] а.е. оценивается в **2 балла**, без округления до 2 значащих цифр – **1 балл**.

**Максимум за задачу 13 баллов.**

### Задача 23

На рисунке приведены фотографии различных телескопов, установленных в разных частях света. Как видно из фото, все телескопы имеют экваториальные монтировки, полярная ось которых совпадает с направлением оси Мира. Выберите телескоп, наблюдения с которым ведутся в пункте, расположенном ближе всего к экватору Земли.

1)



2)

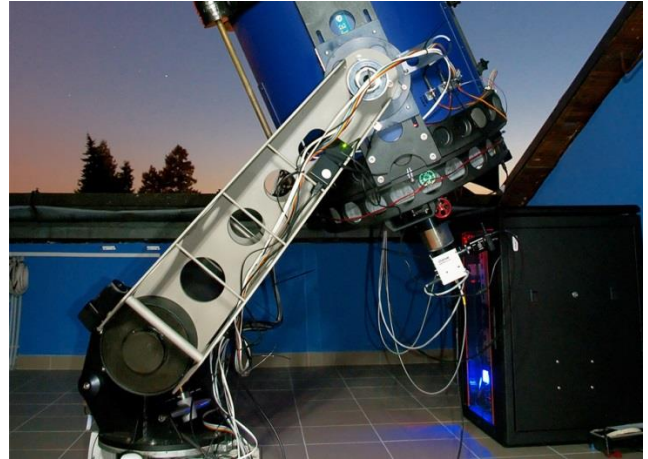




3)



4)



### Решение

На широту места установки указывает угол наклона к горизонту полярной оси телескопа.

**Ответ: 2 (3 балла).** Указание телескопа №1 оценивается в 1 балл.

*Максимум за задачу 3 балла.*

### Задача 24

Расставьте звёзды в порядке увеличения их светимости.

- 1)  $R = 20R_{\odot}$ ,  $T = 10^4$  К
- 2)  $R = 1R_{\odot}$ ,  $T = 3 \cdot 10^4$  К
- 3)  $R = 0,05R_{\odot}$ ,  $T = 10^5$  К

### Решение

При сравнении звёзд с Солнцем можно использовать следующее соотношение:

$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{6000}\right)^4$ . Подставив в формулу числа из условия, получим светимости звёзд: 3090, 625, 193 светимостей Солнца.

**Ответ: 321 (4 балла)**

*Максимум за задачу 4 балла.*

### Задача 25

Расставьте звёзды в порядке увеличения их светимости.

- 1)  $R = 20R_{\odot}$ ,  $T = 10^4$  К
- 2)  $R = 1R_{\odot}$ ,  $T = 3 \cdot 10^4$  К
- 3)  $R = 0,05R_{\odot}$ ,  $T = 10^5$  К
- 4) абсолютная (болометрическая) звёздная величина  $M = +5^m$
- 5) абсолютная (болометрическая) звёздная величина  $M = +2^m$
- 6) абсолютная (болометрическая) звёздная величина  $M = -5^m$

#### Решение

При сравнении звёзд с Солнцем можно использовать следующее соотношение:

$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{6000}\right)^4$ . Подставив в формулу числа из условия, получим светимости звёзд: 3090, 625, 193 светимостей Солнца.

Известно, что абсолютная болометрическая звёздная величина Солнца близка к  $+5^m$ . Значит, звезда №4 имеет светимость, примерно равную солнечной. Звезда №5 на 3 величины ярче Солнца, и её светимость будет равна  $2,512^3 \approx 16$ , а звезда №6 на 10 величин ярче Солнца, и имеет светимость  $2,512^{10} \approx 10000$ .

Отсюда получается ответ: 4-5-3-2-1-6.

**Ответ:** 453216 (4 балла)

*Максимум за задачу 4 балла.*

**Всего за работу – 76 баллов.**