



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
АСТРОНОМИЯ 2022–2023 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальная оценка за работу 79 баллов.

Задача 1

Выберите явление, которое зафиксировано на фото.



1. частное солнечное затмение
2. лунное затмение
3. кольцеобразное солнечное затмение
4. **пепельный свет (4 балла)**

Максимальная оценка за задание 4 балла.

Задачи 2-4

На рисунке представлена фотография вспыхнувшей в одном из созвездий Северного полушария неба яркой новой.



2) Выберите из списка название созвездия, в котором она вспыхнула.

1. Кассиопея
2. **Большая Медведица (4 балла)**
3. Большой Ковш
4. Половник
5. Малая Медведица
6. Орион
7. Лебедь
8. Рак
9. Лев

3) Будет ли видна новая невооружённым глазом?

1. **да (2 балла)**
2. нет
3. нельзя выбрать

4) Оцените звёздную величину новой.

Ответ: 2 (6 баллов за ответ в интервале [1,5; 2,5], остальные ответы – 0 баллов)

Максимальная оценка за задание 12 баллов.

Задачи 5-6

Вокруг звезды наблюдается пылевая оболочка. Моделирование показало, что она состоит из пылинок радиусом 0,1 мкм, внутренний радиус оболочки равен 2 а. е., толщина оболочки равна 15 млн км, концентрация пыли 1 м^{-3} (1 пылинка в кубическом метре).

5) Чему равен объём пространства, занимаемый оболочкой? Ответ представьте в кубических астрономических единицах (а. е.³).

6) Сколько астероидов радиусом 10 км надо раздробить, чтобы получить такую же пылевую оболочку? Ответ округлите до целых.

Решение

Объём шара можно вычислить по формуле $V_{\text{ш}} = 4/3 \pi R^3$. Объём оболочки – это объём пространства, заключённый между двумя сферами с единым центром и радиусами, равными внутреннему (R_i) и внешнему ($R_o = R_i + \Delta R$) радиусам оболочки. Можно вычислить объём оболочки как

$$V = \frac{4}{3} \pi [(R_i + \Delta R)^3 - R_i^3].$$

Поскольку $R_i \gg \Delta R$, то последнюю формулу можно упростить. Раскроем куб суммы:

$$V = \frac{4}{3} \pi (R_i^3 + 3R_i^2 \Delta R + 3R_i \Delta R^2 + \Delta R^3 - R_i^3).$$

Здесь R_i^3 сокращается, а из оставшихся членов тот, который содержит R_i^2 , заведомо больше остальных. Таким образом, получаем удобную формулу для вычисления объёма оболочки, чья толщина гораздо меньше радиуса:

$$V = 4\pi R_i^2 \Delta R.$$

Толщина оболочки в астрономических единицах равна

$$\Delta R = 15 \cdot 10^6 / 150 \cdot 10^6 = 0,1 \text{ а. е.}$$

Подставляем значения:

$$V = 4\pi (2 \text{ а. е.})^2 0,1 \text{ а. е.} \approx 5 \text{ а. е.}^3$$

Для ответа на второй вопрос выразим найденный объём в кубических метрах:

$$V = 5 \cdot (150000000000)^3 \approx 1,69 \cdot 10^{34} \text{ м}^3.$$

При концентрации пыли $n = 1 \text{ м}^{-3}$ число пылинок численно совпадает с

$$N = nV = 1,7 \cdot 10^{34} \text{ шт.}$$

Каждая пылинка имеет объём

$$V_n = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi 0,0000001^3 \approx 4,19 \cdot 10^{-21} \text{ м}^3.$$

Значит, суммарный объём всех пылинок составляет

$$V_n N = 7,08 \cdot 10^{13} \text{ м}^3.$$

Объём астероида радиусом $a = 10\,000$ м равен

$$V_a = \frac{4}{3} \pi a^3 = \frac{4}{3} \pi 10000^3 = 4,19 \cdot 10^{12} \text{ м}^3.$$

Теперь можно получить ответ:

$$N_a = \frac{V_n N}{V_a} \approx 17 \text{ шт.}$$

Ответ:

5) 5 (**6 баллов** при ответе в интервале $[5; 5,3]$, остальные ответы – 0 баллов)

6) 17 (**6 баллов** при ответе 16, 17, 18, **4 балла** при ответе в диапазоне $(16; 18)$ без правильного округления, в остальных случаях – 0 баллов)

Максимальная оценка за задание 12 баллов.

Задачи 7-8

Астроном, работающий в обсерватории, расположенной в северном полушарии Земли, измерил высоту и астрономический азимут звезды: $h = 5^\circ$, $A = 180^\circ$. Экваториальные координаты звезды известны: $\alpha = 16^{\text{h}}20^{\text{m}}$, $\delta = 40^\circ$.

7) Чему равна широта точки наблюдения?

8) Некоторое время спустя эту же звезду наблюдали из другой северной обсерватории и тоже определили её горизонтальные координаты $h = 70^\circ$, $A = 0^\circ$. Чему равна широта этой обсерватории? Ответы приведите в градусах, округлив до целого.

Примечание: астрономический азимут, в отличие от географического, отсчитывается от точки юга. Рефракцию не учитывать.

Решение

7) Из координат можно определить, что звезда наблюдается на 5° выше точки севера. Эта звезда наблюдается на горизонте в нижней кульминации на широте $\varphi = 90^\circ - \delta = 50^\circ$. Для того чтобы увидеть эту звезду в нижней кульминации на высоте 5° , необходимо сместиться на 5° на север, т. е. на широту 55° .

Нетрудно убедиться, что вариант с верхней кульминацией этой звезды при данных условиях невозможен.

8) На этот раз звезда находится в 70° над точкой юга или, что то же самое, в 20° к югу от зенита. Звезда проходит через зенит, когда широта места наблюдения равна склонению звезды. Для того чтобы звезда стала наблюдаться в 20° к югу от зенита, надо переместиться на 20° к северу, то есть на широту 60° .

Ответ:

7) 55 (6 баллов)

8) 60 (6 баллов)

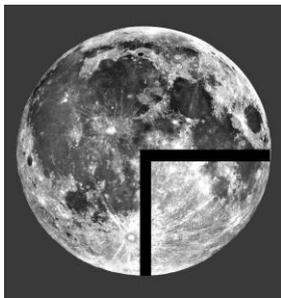
Максимальная оценка за задание 12 баллов.

Задачи 9-10

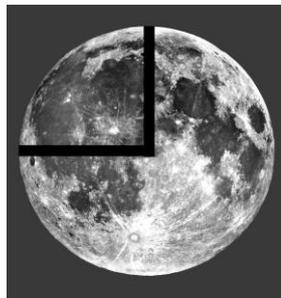
Во время визуальных наблюдений Луны в линзовый телескоп на его объектив непрозрачным чёрным маркёром нанесли рисунок, аналогичный представленному в условии задачи.



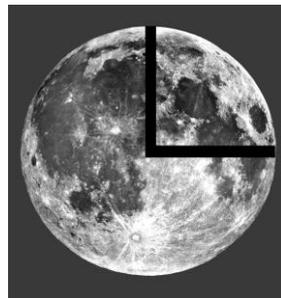
9) Какая из зарисовок Луны будет соответствовать наблюдениям в такой «усовершенствованный» телескоп?



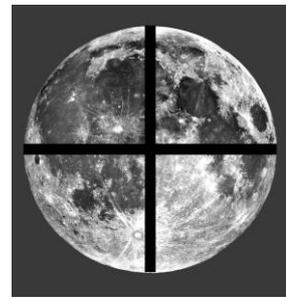
1



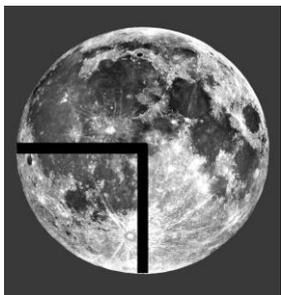
2



3



4



5



6 (4 балла)



7

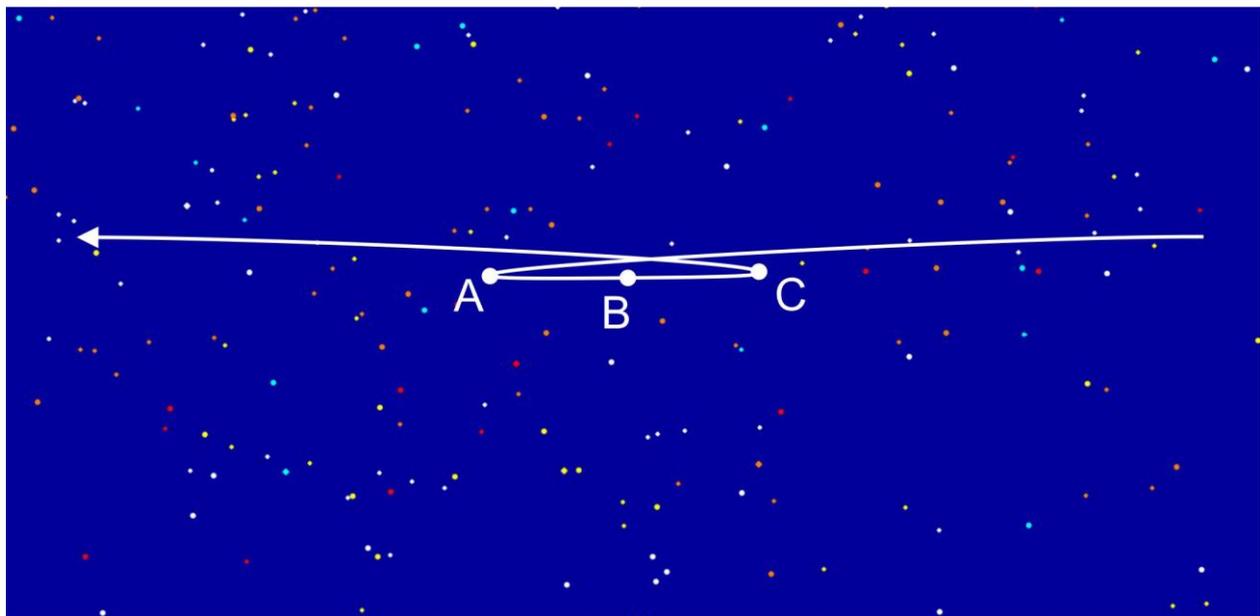
10) Оцените, во сколько раз ослабнет изображение Луны при этом (выберите из списка наиболее близкое значение).

1. наоборот, Луна станет ярче
2. в 1,0001 раза
- 3. в 1,01 раза (4 балла)**
4. в 2 раза
5. в 3 раза
6. в 5 раз
7. в 10 раз
8. в 111,2 раза
9. совсем не ослабнет

Максимальная оценка за задание 8 баллов.

Задачи 11-12

На рисунке представлена схема видимого с Земли движения некоторого астероида, имеющего период орбитального обращения 1100 суток.



Орбиты Земли и астероида круговые и лежат почти в одной плоскости, а астероид обращается вокруг Солнца в ту же сторону, что и Земля.

Примечание: при решении считать, что вращением Земли вокруг своей оси можно пренебречь.

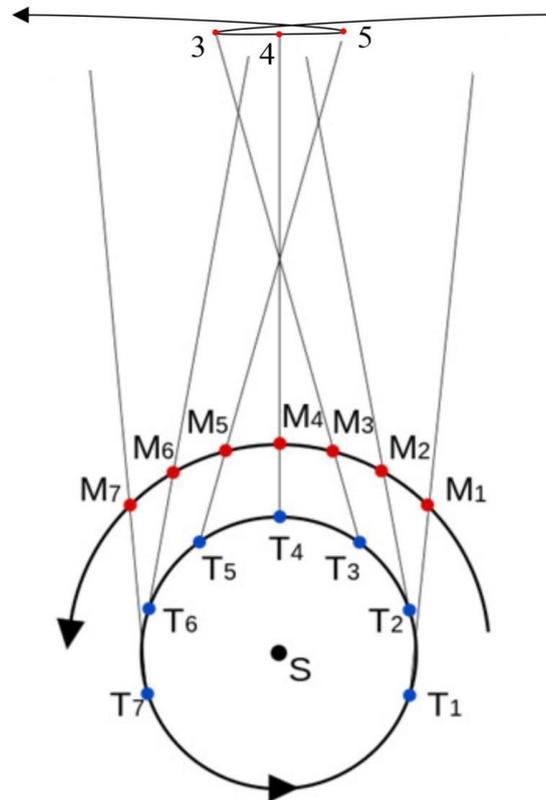
Определите:

- 11) орбитальную скорость движения астероида. Ответ приведите в км/с.
- 12) абсолютную величину (модуль) тангенциальной скорости движения астероида относительно наблюдателя на Земле в точках А, В и С. Ответы приведите в км/с.

Решение

Так как период обращения астероида больше земного, то мы можем сделать вывод, что он внешний, т.е. размеры его орбиты больше 1 а. е.

На рисунке ниже представлен механизм, объясняющий петлеобразное движение астероида (буква Т обозначает положение Земли на орбите, а буква М – положение астероида на его орбите в соответствующие моменты времени).



Скорость астероида относительно Земли равна разности векторов скорости Земли и астероида:

$$\vec{V}_{\text{отн}} = \vec{V}_a - \vec{V}_3$$

Видно, что центр петли попятного движения (обозначен в условии буквой В, а на рисунке в решении – цифрой 4) соответствует моменту времени, когда астероид находится в противостоянии. В этот момент вектора скоростей астероида и Земли параллельны друг другу (т.к. они направлены вдоль касательной к орбите) и направлены в одну сторону.

Круговая скорость выражается через радиус орбиты и период обращения:

$$V = \frac{2\pi a}{P}$$

Для Земли получим:

$$V_3 = \frac{2\pi a_0}{P_0} \approx 30 \frac{\text{км}}{\text{с}},$$

где a_0 – радиус орбиты Земли, а P_0 – продолжительность земного года.

Для астероида в условии дан только период обращения P . Радиус орбиты (напомним, что в случае круговой орбиты он равен большой полуоси) можно найти с помощью третьего закона Кеплера:

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)^3 = \left(\frac{P}{P_0}\right)^2$$

Отсюда большая полуось астероида в астрономических единицах будет равна

$$\frac{a}{a_0} = \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

Для $P = 1100$ суток $a = 2,085$ а.е.

Круговая скорость астероида равна:

$$V_a = \frac{2\pi a}{P}.$$

Можно вычислить её по этой формуле, а можно привести к более удобному виду:

$$V_a = V_3 \frac{a/a_0}{P/P_0} = V_3 (P/P_0)^{-1/3}$$

Подставив величины, получим величину орбитальной скорости астероида $V_a \approx 21$ км/с. Как уже было сказано, в точке 4 (середина петли) векторы скоростей планеты и Земли параллельны, поэтому относительно Земли скорость движения астероида будет равна разности скоростей, т. е. 9 км/с.

В точках А и С (так называемых точках стояния) происходит смена направления видимого движения астероида. В эти моменты проекции векторов скорости Земли и астероида равны друг другу. Поэтому в предположении, что плоскость астероида совпадёт с плоскостью эклиптики, наблюдаемая относительная тангенциальная скорость астероида будет равна 0.

Ответ:

11) 21 км/с (**4 балла** для ответа в интервале [20; 22], в остальных случаях – 0 баллов)

12) в точке А скорость 0 (**2 балла**), в точке В скорость 9 км/с (**4 балла** за попадание в интервал [8; 10]), в точке С скорость 0 (**2 балла**)

Максимальная оценка за задание 12 баллов.

Задачи 13-16

Представим себе, что где-то в параллельной Вселенной Земля обращается вокруг Солнца по орбите с той же большой полуосью, как и наша Земля, но с эксцентриситетом 0,3.

13) Во сколько раз отличались бы расстояния в афелии и перигелии? Ответ округлите до сотых.

14) Во сколько раз отличалась бы освещённость в подсолнечной точке Земли в перигелии и афелии? Ответ округлите до сотых.

15) На сколько звёздных величин Солнце будет ярче в перигелии, чем в афелии такой орбиты? Ответ округлите до сотых.

16) Во сколько раз отличался бы период обращения Земли вокруг Солнца в параллельной Вселенной от нашего?

1. 1,3
2. 1,69
3. 0,66
4. 0,09
5. 0,55
6. не изменился

Решение

13) Известно, что расстояние в перигелии можно вычислить по формуле: $a_p = a_0(1 - e)$, а расстояние в афелии по формуле $a_a = a_0(1 + e)$. Здесь e – эксцентриситет, а в a_0 – размер большой полуоси. Отсюда легко найти ответ на первый вопрос:

$$\frac{a_0}{a_p} = \frac{1+e}{1-e} = 1,86.$$

14) Известно, что освещённость обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника света. Значит, отношение освещённостей будет равно

$$\frac{E_p}{E_a} = \left(\frac{a_0}{a_p}\right)^2 = 3,45.$$

15) Согласно формуле Погсона, разность звёздных величин – это

$$\Delta m = 2,5 \lg \frac{E_p}{E_a} = 1,34.$$

16) Согласно 3-му закону Кеплера, период обращения зависит только от величины большой полуоси и масс притягивающих друг друга объектов. Поскольку по условию ни одна из этих величин не менялась, то не изменится и период.

Ответ:

13) 1,86 (**6 баллов** за точное совпадение, **4 балла** за ответы с неправильным округлением (1,8, 1,85, 1,857 и т.д.), в остальных случаях – 0 баллов)

14) 3,45 (**5 баллов** за ответ 3,45 или 3,46, **3 балла** за ответы 3,4, 3,42, 3,44, 3,449 и др., вызванные неверным округлением, в остальных случаях – 0 баллов)

15) 1,34 (**4 балла** за правильно округлённый ответ в диапазоне [1,28; 1,39], **2 балла** за ответы без правильного округления в интервале (1,27; 1,4), в остальных случаях – 0 баллов)

16) не изменился (**4 балла**)

Максимальная оценка за задание 19 баллов.

Максимальная оценка за работу 79 баллов.