

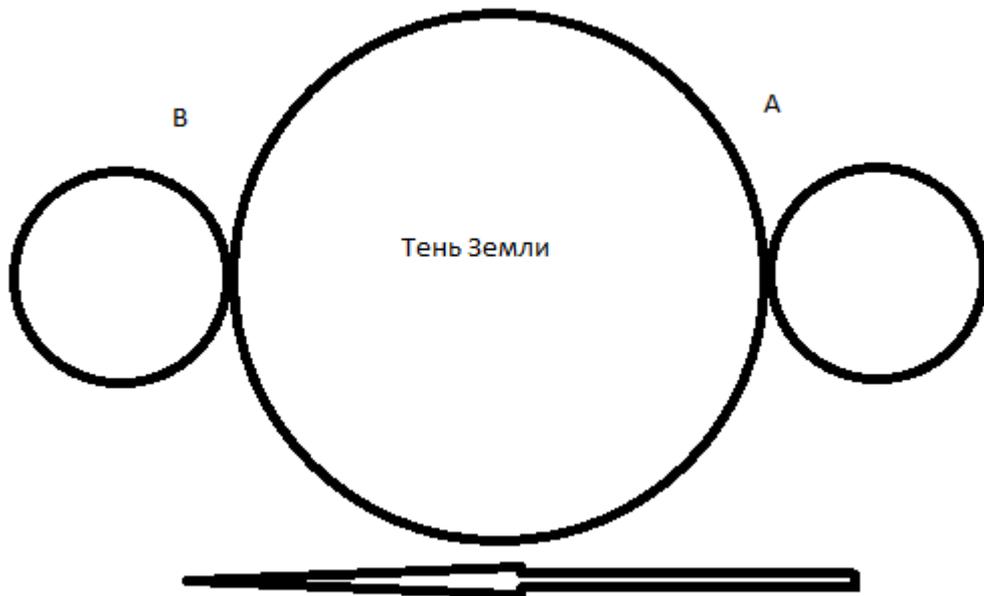


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ 2023–2024 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС.
Время выполнения 180 мин. Максимальное кол-во баллов – 40

Ключи и критерии оценивания

Задача 1

Определим расстояние, которое пройдет Луна по небесной сфере во время лунного затмения.



Первое касание – начало затмения – это точка А, окончание затмения – точка В. Тень Земли имеет размер равный диаметру Земли. Не учитываем, что у нас конус, расстояния незначительные. Следовательно, в своем движении центр Луны или любая другая точка проходит расстояние равное размеру диаметру Луны и диаметру Земли. Определим скорость движения Луны по небесной сфере.

Период обращения Луны вокруг Земли составляет 27,3 дня или 655,2 часа. Длина окружности, по которой движется Луна:

$$L = 2\pi R = 2386400 \text{ км. } R = 380000 \text{ км.}$$

R- радиус лунной орбиты.

Тогда скорость движения Луны по небесной сфере:

$$\frac{2386400}{655,2 \text{ часа}} = 3642,2 \frac{\text{км}}{\text{час}} = 1 \text{ км/с}$$

Тогда, время, которое необходимо для преодоления расстояния равного сумме диаметра Земли и диаметра Луны составит:

$$\frac{12742 + 3475 \text{ км}}{1 \text{ км/с}} = 16217 \text{ с} = 4,5 \text{ часа}$$

Ответ 4,5 часа.

Критерии оценивания:

Определено расстояние, которое должна пройти Луна во время затмения (4 балла).

Определена скорость движения Луны по орбите (2 балла). Ответ может быть представлен в км/с (1 км/с) или км/ч (3600 км/ч). Отметку не снижать.

Определение времени затмения (2 балла)

Задача 2

Диаметр звезды D , ее светимость L и температуру поверхности T связывает закон Стефана - Больцмана:

$$L = \sigma T^4 \pi D^2$$

откуда:

$$\frac{D}{D_{\odot}} = \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{\odot}}{T} \right)^2$$

Температуру T поверхности Сириуса найдем из закона Вина:

$$T = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{\lambda(\text{м})}$$

Отношение светимостей можно выразить через отношение освещенностей на Земле от Солнца и Сириуса:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{E}{E_{\odot}} \right) \left(\frac{r}{r_{\odot}} \right)^2$$

где r и r_{\odot} - соответственно расстояния от Земли до Сириуса и Солнца. Учитывая, что

$$\left(\frac{E}{E_{\odot}} \right) = 2.5^{m_{\odot} - m}$$

и, производя последовательно вычисления, получим: $T = 10000\text{К}$,

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 27.3, \frac{D}{D_{\odot}} = 1.9$$

Критерии оценивания:

Получена зависимость диаметров через светимости (2 балла)

Получено зависимость отношения светимостей через видимые звездные величины (4 балла)

Получен ответ (2 балла)

Задача 3

Для того чтобы оценить массу центрального тела запишем второй закон Ньютона для тела, которое движется по круговой орбите:

$\frac{mv^2}{R} = \frac{GmM}{R^2}$, справа записан закон всемирного тяготения, в котором M – масса центрального тела.

Из этого выражения:

$$M = \frac{v^2 R}{G}$$

Определим радиус траектории, считаем, что она круговая

$$T = \frac{2\pi R}{v} \rightarrow R = \frac{vT}{2\pi}, \text{ подставляем в выражение для массы:}$$

$M = \frac{v^3 T}{2\pi G} = \frac{(4 \cdot 10^6)^3 \cdot 2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{2\pi \cdot 6.67 \cdot 10^{-11}} \approx 9.63 \cdot 10^{36} \text{ кг} \approx 4.8 \cdot 10^6 M_{Sun}$, что соответствует массе черной дыры в центре Млечного Пути

Критерии оценивания:

Записано выражение для движения тела по круговой орбите – 1 балл

Из периода определен радиус орбиты – 2 балла

Получено конечное выражение для массы – 2 балла

Вычислено значение массы и определен объект – 3 балла

В решение может не указываться, что это черная дыра, ответ засчитывать за верный в полном объеме.

Задача 4

Так как угол между плоскостью орбиты Луны и эклиптики $i = 5^\circ 9'$, а угол между эклиптикой и небесным экватором, $\epsilon = 23^\circ 26'$, то

$$-(i + \epsilon) \leq \delta_{\text{Л}} \leq +(i + \epsilon), \text{ то есть } -28^\circ 35' \leq \delta_{\text{Л}} \leq +28^\circ 35'.$$

Тогда максимальная высота верхней кульминации Луны $h_{\text{min}} = 90^\circ - \varphi + \delta_{\text{max}}$, $h_{\text{min}} = 5^\circ 7'$.

В верхней кульминации Луну можно наблюдать на минимальной высоте (конец июня-начало июля) во время полнолуния. В это время направление на Луну практически противоположно направлению на Солнце, то есть Луна находится примерно в той же области небесной сферы (вблизи точки зимнего солнцестояния), в какой полгода назад (зимой) находилось Солнце.

Критерии оценивания:

Понимают смысл склонения светил -1 балл

Верно определены границы склонения Луны- 1 балл

Найдена высота минимальной верхней кульминаций Луны -2 балла

Верно указан месяц наблюдения минимального подъема Луны для верхней кульминации – 2 балла

Верно указаны условия при которых происходят названные явления – 1 балл

Названо место положения Луны на небесной сфере – 1 балл

■
Задача 5

Для того, чтобы аппарат завис над одной точкой кометы необходимо, чтобы период его обращения был равен периоду обращения ядра вокруг своей оси T_k .

Используя 2 закон Ньютона и закон Всемирного тяготения:

$$m_a \frac{v^2}{r} = \frac{G \cdot m_a \cdot M_k}{r^2};$$
$$v^2 = \frac{G \cdot M_k}{r}; \text{ причем } v = \frac{2\pi r}{T_k}$$

Следовательно, $r = \sqrt[3]{\frac{G \cdot T_k^2 \cdot M_k}{4\pi^2}} = 20,53 \text{ км}$. Видно, что $r > R_k$, значит аппарат на орбите пребывать сможет.

Критерии:

Нарисован физический рисунок - 1 балл

Записано условие неподвижности КА -1 балл

Записан 2 закон Ньютона для задачи -1 балл

Записан закон Всемирного тяготения - 1 балл

Записана формула центростремительного ускорения – 1 балл

Записана формула связи орбитальной скорости КА и периода обращения -1 балл

Верно вычислен радиус орбиты – 1 балл

Проведен сравнительный анализ результата с заданными требованиями к орбите и сделан верный вывод о возможности пребывания КА на данной орбите -1 балл