

**Всероссийская олимпиада школьников**

II (муниципальный) этап

**Астрономия, 2019 год**

**10 классы**

**Критерии проверки**

Все задания по 8 баллов

**Задание 1 (8 баллов)**

Спутник вращается вокруг Земли в плоскости экватора. При какой минимальной высоте орбиты он никогда не попадёт в Земную тень

Решение:

Угол наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики составляет

$23^{\circ}26'21,45'' \approx 23.44^{\circ}$ . Земная тень проходит на максимальном удалении от неё в плоскости в которой лежат Солнце и ось вращения Земли. При этом формируется прямоугольный треугольник в котором один катет равен радиусу Земли, противолежащий угол равен  $23.44^{\circ}$ , а гипотенуза и есть нужный нам радиус орбиты спутника. Таким образом

$$R_s = R_{\text{Земли}} \cos(23.44^{\circ}) \approx 6943 \text{ км},$$

то есть высота  $h = 6943 - 6378 \approx 565 \text{ км}$

Ориентировочные критерии оценивания:

Эскиз или корректное описание геометрии задачи	2 балла
Составление уравнения для высоты	4 балла
Окончательный числовой расчёт	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>

**Задание 2 (8 баллов)**

Задание

Для создания искусственной гравитации на космической станции она была соединена с противовесом массой равной массе станции тросом длиной  $L=100$  метров и раскручена. С какой угловой скоростью эта система должна вращаться, чтобы на станции ощущалась сила тяжести в  $n=10$  раз меньше чем на Земле.

Решение:

В этом случае искусственная гравитация создаётся центробежными силами, то есть  $\frac{g}{n} = \omega^2 \cdot$

$$\frac{L}{2}, \text{ откуда } \omega = \sqrt{\frac{2g}{nL}} \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8}{10 \cdot 100}} \approx 0,14 \text{ с}^{-1}$$

Ориентировочные критерии оценивания:

Правильное описание природы искусственной гравитации	2 балла
Составление уравнения для угловой скорости	4 балла
Окончательный числовой расчёт	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>

### Задание 3 (8 баллов)

#### Задание

Однажды, когда Вася лежал и смотрел в небо, прямо у него над головой пролетела МКС. Через какое время она скроется за горизонтом? Высота орбиты МКС  $h=409$  км

#### Решение:

МКС скроется за горизонтом, когда угол между зенитом и видимым положением МКС станет равным  $90^\circ$ . При этом формируется прямоугольный треугольник из центра Земли, Васи и МКС в котором гипотенуза равна радиусу орбиты МКС  $h + R_E$ , а один из катетов равен радиусу Земли. Значит угол МКС-центр Земли-Вася равен

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R_E}{R_E + h}\right) \approx \arccos\left(\frac{6378}{6378 + 409}\right) \approx 19,8^\circ$$

Найдём время, за которое МКС совершает один оборот, то есть  $360^\circ$ :

$$G \frac{mM}{(R_E + h)^2} = m\omega^2(R_E + h)$$

$$\omega = \sqrt{G \frac{M}{(R_E + h)^3}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{(R_E + h)^3}{GM}} \approx 5554 \text{ с}$$

Значит угол  $\alpha$  МКС пройдёт за время

$$\tau = \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot T \approx \frac{19,8}{360} \cdot 5554 \approx 305 \text{ с}$$

#### Ориентировочные критерии оценивания:

Расчёт высоты орбиты МКС	3 балла
Составление уравнения для расчёта времени	3 балла
Окончательный числовой расчёт	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>

### Задание 4 (8 баллов)

1 января 2019 года в 6 часов 45 минут утра ровно по калининградскому времени некая звезда в Калининграде была в зените. Какова будет её минимальная высота над горизонтом в течении этих суток и в какое время это случится. Координаты Калининграда  $54^\circ 42'$  северной долготы  $20^\circ 27'$  восточной долготы.

#### Решение:

Зенит лежит на линии Север-полюс Мира-Юг, значит момент когда звезда в зените это кульминация. Это верхняя кульминация, так звезда при этом южнее полюса Мира. Значит самой нижней точкой суточного круга этой звезды будет нижняя кульминация. Она произойдёт ровно через 12 часов то есть в 18:45. Высота полюса Мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения, то есть для Калининграда  $54^\circ 42'$ . Тогда высота нижней кульминации составит

$$h = 54^\circ 42' - (90^\circ - 54^\circ 42') = 2 \cdot 54^\circ 42' - 90^\circ \approx 19,4^\circ = 19^\circ 24'$$

Ориентировочные критерии оценивания:

Указание на то что речь идёт о кульминациях или корректный рисунок или корректное описание геометрии задачи	2 балла
Расчёт времени	2 балла
Вывод формулы для высоты	2 балла
Окончательный числовой расчёт	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>

**Задание 5 (8 баллов)**

Какова была бы максимальная видимая звёздная величина Марса если бы радиус его орбиты был бы в 2 раза больше, чем сейчас

Решение:

Если бы Марс был в 2 раза дальше, то на единицу его поверхности от Солнца падало бы в 4 раза меньше света:

$$\frac{E_{m2}}{E_{m1}} = \frac{1}{n^2} = \frac{1}{4}$$

Максимальная звёздная величина у внешней планеты бывает во время противостояния. При этом расстояние от Марса до Земли равно  $L_1 = R_m - R_E$ . Если бы Марс был в 2 раза дальше, расстояние в момент противостояния составило бы  $L_2 = 2R_m - R_E$ . Соответственно видима яркость отраженного Марсом света Солнца стала бы

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{L_1^2}{L_2^2} = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{R_m - R_e}{2R_m - R_e} \right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{1,5237 - 1}{2 \cdot 1,5237 - 1} \right)^2 \approx \frac{1}{61,1}$$

Значит видимая звёздная величина Марса изменится на  $\Delta m = -2,5 \log_{10} \left( \frac{E_2}{E_1} \right) \approx 4,47$  и станет равна 0,07

Ориентировочные критерии оценивания:

Расчёт ослабления освещения Марса Солнцем	2 балла
Расчёт изменения минимального расстояния между Землёй и Марсом	3 балла
Расчёт изменения звёздной величины	2 балла
Окончательный числовой расчёт	1 балл
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>

**Задание 6 (8 баллов)**



Данный снимок был сделан камерой установленной на космическом аппарате Deep Space Climate Observatory (DSCOVR) . Оценить, на каком расстоянии от центра Земли он в этот момент находился.

**Решение:**

Так как Луна видна на фоне Земли можно считать что Земля, Луна и спутник расположены на одной прямой. Примем расстояние от центра Земли до спутника за  $l_1 = x$  , тогда расстояние от него до Луны меньше на радиус лунной орбиты  $l_2 = x - R_m$  . Видимый диаметр, а значит и радиус Луны на фотографии относится к видимому радиусу Земли как  $k \approx 0,37$ . Эта цифра определяется непосредственным измерением по фотографии. Значит прямоугольные треугольники составленные из расстояний до Луны и Земли, а так же радиуса Луны и радиуса проекции Луны на Землю подобны т.е.

$$\frac{x - R_m}{x} = \frac{r_m}{kr_E}$$
$$x = \frac{kr_E}{kr_E - r_m} R_m \approx \frac{0,37 \cdot 6378}{0,37 \cdot 6378 - 1738} 384000 \approx 1459000 \text{ км}$$

Ориентировочные критерии оценивания:

Корректный рисунок или корректное описание геометрии задачи, указание на подобие треугольников	2 балла
Более-менее корректная оценка коэффициента $k$	2 балла
Вывод формулы для высоты	2 балла
Окончательный числовой расчёт	2 балла
<b>ИТОГО</b>	<b>8 баллов</b>