

**Ключи к заданиям муниципального этапа  
Всероссийской олимпиады по астрономии  
2020-2021 учебного года  
10 класс**

1 задание (8 баллов).

При наблюдении с борта космического корабля было замечено, что у некоторой звезды звездная величина увеличилась на 1 за 30 суток. Определите, с какой скоростью корабль удаляется от этой звезды, если первоначальное расстояние составило 10 парсек? Возможно ли такое, в предположении, что звезда не является переменной и корабль может двигаться только на субсветовых скоростях?

Решение

Вспомним формулу Погсона:  $\frac{E_1}{E_2} = 2.512^{m_2 - m_1}$ , где  $E$  – освещенности, создаваемые двумя источниками, а  $m$  – звездные величины. В нашем случае, источник один и тот же, но расстояние до него меняется. По закону обратных квадратов,  $\frac{E_1}{E_2} = 2.512^{m_2 - m_1} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$ . Известно, что за 30 суток звездная величина увеличилась на 1<sup>m</sup>, а первоначальное расстояние было 10 парсек.  $2.512^1 = \frac{d_2^2}{10^2} \Rightarrow d^2 = 251.2 \Rightarrow d = \sqrt{251.2} = 15.8$  парсек. Теперь найдем скорость  $V = \frac{15.8 - 10}{30} = 0.58$  парсек/сутки. Данная скорость на два порядка выше скорости света, так что в наблюдениях ошибка – вероятно, звезда все-таки переменная.

Формула Погсона (запись для освещенности) – 2 балла

Расширение формулы для расстояний – 3 балла

Вычисление расстояний – 1 балл

Вычисление скорости – 1 балл

Верное сравнение со скоростью света – 1 балл

2 задание (8 баллов).

Венера обращается вокруг своей оси за 243 дня, а вокруг Солнца – 225 дней. Определите, через какой промежуток времени на Венере можно наблюдать одноименную (например, верхнюю) кульминацию Солнца, если не перемещаться по поверхности планеты, а находиться в одной точке.

Решение

Известно, что Венера обращается вокруг Солнца против часовой стрелки, а вокруг оси – по часовой стрелке. Период обращения планеты вокруг оси называют звездными сутками, а промежуток времени между

двумя одноименными кульминациями Солнца – солнечными сутками. Фактически, нам необходимо найти угловую скорость движения Солнца в небе Венеры.

$W = w_1 + w_2$ , где  $w_1$  – угловая скорость обращения Венеры вокруг оси,  $w_2$  – угловая скорость обращения Венеры вокруг Солнца,  $W$  – угловая скорость Солнца в небе Венеры. Угловые скорости складываются по причине того, что оба движения друг навстречу другу.

$W = w_1 + w_2 \Rightarrow \frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$ , где  $S$  – солнечные сутки, а  $T_1$  – период обращения Венеры вокруг оси (звездные сутки),  $T_2$  – период обращения Венеры вокруг Солнца (звездный год). Подставляем:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \Rightarrow \frac{1}{S} = \frac{1}{243} + \frac{1}{225} \Rightarrow S = 117 \text{ дней}$$

Воспоминания о том, что Венера обращается по часовой стрелке – 2 балла

Выражение для угловых скоростей – 3 балла

Выражение для периода – 2 балла

Правильный ответ (вычисления) – 1 балл

3 задание (8 баллов).

Определите размер зоны обитания (области космического пространства вокруг звезды, где температуры лежат в пределах от 0 до 100 градусов Цельсия – достаточные, чтобы поддерживать воду в жидком агрегатном состоянии при нормальных атмосферных условиях) для Солнечной системы. Считать, что вся энергия, получаемая от Солнца, полностью поглощается, рассеиванием света и парниковым эффектом пренебречь. Сравните полученные данные с температурными условиями на Земле.

Решение

Запишем светимость Солнца через ее радиус и температуру поверхности, используя закон Стефана-Больцмана

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

Определим количество энергии за секунду (освещенность), которую создает Солнце на определенном расстоянии на один квадратный метр.

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} \Rightarrow E = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi d^2} \Rightarrow E = \frac{R^2 \sigma T^4}{d^2}$$

Если вся энергия, получаемая от Солнца, полностью поглощается, значит, она полностью идет на нагрев и отражения нет. Если вся энергия идет на нагрев, поверхность прогреется до определенной температуры и будет излучать ровно столько же энергии в инфракрасном диапазоне. Запишем светимость уже для поверхности потенциальной планеты.

$$L_2 = E \Rightarrow \sigma T_2^4 = \frac{R^2 \sigma T^4}{d^2} \Rightarrow T_2^4 = \frac{R^2 T^4}{d^2} \Rightarrow d^2 = \frac{R^2 T^4}{T_2^4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{R^2 T^4}{T_2^4}}$$

Здесь  $T_2$  – температура поверхности. Нам было предложено выбрать 0 и

100 градусов Цельсия (273 и 373 Кельвина). Подставляем и получаем – 305 млн км и 163 млн км. Как это можно заметить, не учитывая альбедо в таких расчетов нельзя – так как Земля получается вне зоны жизни.

Закон Стефана-Больцмана – 2 балла

Выражение для освещенности – 2 балла

Предположение о связи энергии поглощаемой и излучаемой – 2 балла

Верные вычисления – 1 балл

Указание на неадекватность оценки – 1 балл

4 задание (8 баллов).

Римский республиканский календарь состоял из 12 полных лунных циклов, т. е. 355 дней. Чтобы избежать накопления ошибки календарной весны относительно астрономической, раз в два года вводился дополнительный месяц – Мерседоний, состоящий поочередно из 22 и 23 дней. Определите среднюю продолжительность такого календаря, его ошибку относительно тропического года и за какой промежуток времени накопится ошибка в одни сутки.

Решение

Разберем систему календаря. В основе 355 дней, во второй год добавляется дополнительный месяц из 22 дней (377 дней), а в четвертый дополнительный месяц из 23 дней (378 дней). Таким образом, цикл выглядит так  $\frac{355+377+355+378}{4} = 366.5$ . Ошибка относительно тропического года (365,2422 дня) составляет более суток, таким образом, ошибка в одни сутки накопится за 1 год.

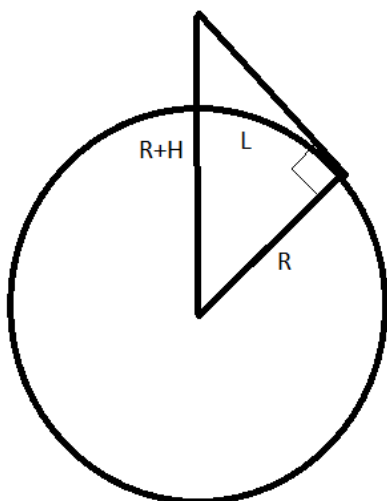
Правильный порядок в цикле – 3 балла

Средняя продолжительность – 3 балла

Ошибка в одни сутки – 2 балла

5 задание (8 баллов).

В некоем месте на поверхности Земли произошел взрыв, вызвавший стремительно поднимающееся облако пыли. Облако имело скорость вертикального развития порядка 300 метров в секунду. Определите, через какой промежуток времени после взрыва облако станет заметным на удаленной от эпицентра станции на расстоянии 200 километров. Атмосферной рефракцией пренебречь.



Решение

R – радиус Земли (6378 километров), L – расстояние в 200

километров от станции до эпицентра взрыва (по поверхности Земли),  $H$  – высота, на которую поднялось облако. Найдем центральный угол, который опирается на дугу  $L$ .

$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{L}{2\pi R} \Rightarrow \alpha = \frac{360^\circ * 200}{2\pi * 6378} = 1,8^\circ$$

Таким образом,  $\cos(\alpha) = \frac{R}{R+H} \Rightarrow H = \frac{R}{\cos(\alpha)} - R = 3$  км. Таким образом, потребуется 10 секунд, чтобы увидеть облако с удаленной станции.

Учет кривизны Земли (построение для сферического случая) – 3 балла

Построение треугольника и выражение угла – 3 балла

Нахождение времени – 2 балла

Внимание! В случае, если участник получает угол и используя его малость предполагает, что расстояние по поверхности планеты численно равно линейному расстоянию – данное решение не является причиной для снижения баллов.

6 задание (8 баллов).

В ближайших окрестностях Солнца (5 парсек) находятся 57 звездных систем, в которых обнаружены 64 звезды и 13 коричневых карликов. Только 4 звезды в этой области относятся к классу G. Если мы знали только эту статистику, определите какое количество звезд спектрального класса G по нашим оценкам находились бы во всем Млечном пути?

Решение

Диаметр Млечного пути – 100000 световых лет, данная величина в парсеках будет выражена как 30650 парсек. Так как галактика представляет собой тонкий диск (а не сферу), найдем площадь Млечного пути -  $S = \pi R^2$  – почти 2,95 млрд квадратных парсеков. А вот площадь окрестностей Солнца – 78 квадратных парсеков. По нашей статистике в Млечном пути получится 37,8 млн солнцеподобных звезд. Конечно же, это значительно меньше, чем считается в настоящее время.

Понимание, что нужно считать площади, а не объемы – 3 балла

Нахождение площади Млечного пути – 3 балла

Оценка количества звезд – 1 балл

Утверждение, что полученное число мало – 1 балл