

**Ключи и критерии оценивания
к заданиям муниципального этапа
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
2024/2025 учебного года
8 класс**

1 задание (8 баллов)

Можно ли наблюдать Марс в созвездии Тельца? А в Эридане? Объясните свой ответ.

Решение

Движение планет происходит вдоль плоскости эклиптики, а значит их видимое положение будет проходить через зодиакальные созвездия и Змееносец. Созвездие Телец является зодиакальным, а значит через него Марс проходить может. Эридан не является зодиакальным созвездием, а значит проходить через него Марс не может.

Ответ

Через Тельца да; через Эридан нет.

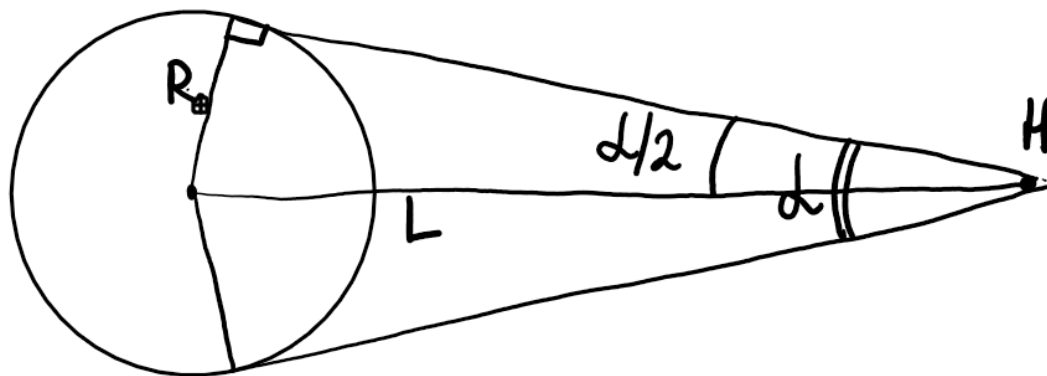
№	Критерий	Баллы
1	Получен правильный аргументированный ответ для Тельца.	4
	Получен правильный ответ для Тельца без аргументации.	2
	Получен неправильный ответ для Тельца ИЛИ ответ отсутствует.	0
2	Получен правильный аргументированный ответ для Эридана.	4
	Получен правильный ответ для Эридана без аргументации.	2
	Получен неправильный ответ для Эридана ИЛИ ответ отсутствует.	0

2 задание (8 баллов)

На каком минимальном расстоянии Земля невооруженным глазом будет казаться точечным объектом? Радиус Земли $R_{\oplus} = 6400$ км, угловая разрешающая способность глаза $\alpha = 1'$. Ответ дать в километрах

Решение

Опустим касательные к Земле от наблюдателя (Н) (см. рисунок). Угол, под которым будет видна Земля, обозначим за α . Угол при касательной к окружности составляет 90° . Запишем, чем будет равняться синус для угла $\alpha/2$,



$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{R_{\oplus}}{L}$$

где $R_{\oplus}$ – радиус Земли, L – расстояние от Земли до наблюдателя. В силу малости углового размера Земли для наблюдателя, справедливо соотношение

$$\sin \frac{\alpha}{2} \approx \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2},$$

где α измеряется в радианах. Тогда при учете, что $D_{\oplus}$ – диаметр Земли, имеем

$$\frac{\alpha}{2} \approx \frac{R_{\oplus}}{L} \Rightarrow \alpha \approx \frac{2R_{\oplus}}{L} \Rightarrow [2R_{\oplus} = D_{\oplus}] \Rightarrow \alpha \approx \frac{D_{\oplus}}{L}$$

Определим расстояние, на котором Земля будет иметь угловой диаметр, равный угловой разрешающей способности глаза. Для малых углов справедливо

$$\alpha(\text{рад}) \approx \frac{D_{\oplus}}{L} \Rightarrow L = \frac{2R_{\oplus}}{\alpha} = \frac{2 \cdot 6400}{\left(\frac{1 \cdot 60}{206265}\right)} = 44 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Возможно, участник напрямую решит воспользоваться формулой вида

$$\alpha'' = \frac{206265 D_{\oplus}}{L}$$

Она представляет из себя изначальную формулу, где был произведен перевод угла из радиан в угловые секунды. Считать, что данная формула является одновременно и корректно приведенной формулой, и корректным переводом углового размера в угловые секунды.

На расстоянии более, чем $44 \cdot 10^6$ км человек невооруженным глазом перестанет воспринимать Землю, как протяженный объект.

Ответ

$$L = 44 \cdot 10^6 \text{ км}$$

№	Критерий	Баллы
1	Приведена формула для углового размера через отношение диаметра к расстоянию.	4
	Отсутствует корректная формула для угла через отношение диаметра к расстоянию. И Присутствует вывод формулы, в котором используется соотношение малых углов И записано соотношение для синуса/тангенса угла.	3
	Отсутствует корректная формула для угла через отношение диаметра к расстоянию. И Присутствует вывод формулы, в котором используется соотношение малых углов ИЛИ записано соотношение для синуса/тангенса угла.	2
	Формула и вывод отсутствует.	0
2	Был произведен перевод радиуса Земли в парсеки ИЛИ астрономические единицы ИЛИ Был произведен перевод угловой разрешающей способности глаза в радианы ИЛИ в угловые секунды ИЛИ За критерий 3 стоит полный балл.	2
	Отсутствует перевод радиуса Земли в парсеки И а.е. И Отсутствует перевод угловой разрешающей способности глаза в радианы И в угловые секунды И За критерий 3 стоит 0 баллов	0
3	Получен правильный численный ответ на задачу в км.	2
	Получен неправильный численный ответ на задачу ИЛИ приведен правильный ответ, но в единицах измерения, отличных от км.	0

Примечания

Критерий 2. Подразумевается, что в процессе решения у участника будет необходимость в переводе длин или углов из одних единиц измерения в другие. Если для решения участнику не понадобился перевод или перевод был осуществлен в другие единицы измерения, не предусмотренные критерием, то при условии правильности перевода, выставляет полный балл по данному

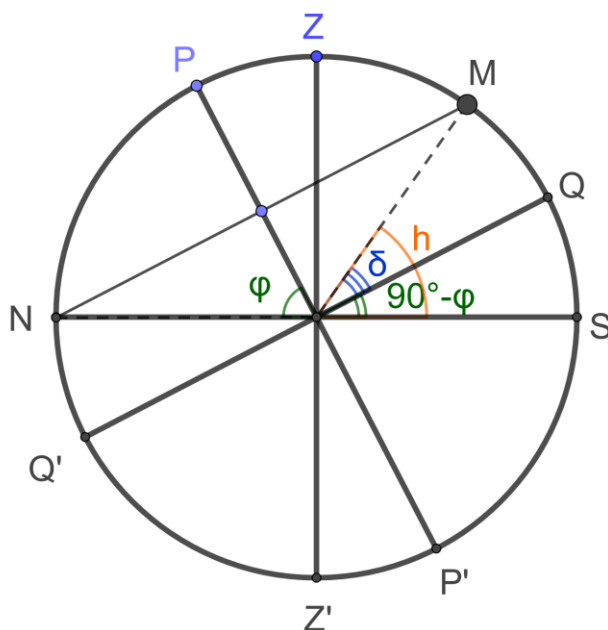
критерию. Это отражено в качестве возможности, что у участника за 3-ий критерий может стоять полный балл.

3 задание (8 баллов)

Звезда Беллатрикс (γ Ori, склонение $\delta = 6^\circ 20' 59''$) находится в верхней кульминации к югу от зенита на высоте $26^\circ 42' 11''$. Сделайте чертеж, укажите на нем все необходимые углы и определите широту места наблюдения.

Решение

Построим срез меридиана для кульминаций светила. Нанесем горизонтальную и экваториальную системы координат (см рисунок). Верхняя кульминация происходит к югу (где-то на дуге ZSZ').



Из построения,

$$h = (\varphi - 90^\circ) + \delta$$

Откуда

$$\begin{aligned} \varphi &= 90 + \delta - h = 90^\circ + 6^\circ 20' 59'' - 26^\circ 42' 11'' = +69^\circ 38' 48'' \\ &= 69^\circ 38' 48'' \text{ с. ш.} \approx 69.6467^\circ \text{ с. ш.} \end{aligned}$$

Ответ

$$\varphi = 69^\circ 38' 48'' \text{ с. ш.}$$

№	Критерий	Баллы
1	Сделан чертеж, на котором отмечены верные углы широты, высоты и склонения.	3

	Сделан чертеж, на котором отсутствует хотя бы один из углов: широта, высота, склонение.	2
	Отсутствует два и более из углов: широта, высота, склонение	0
2	Приведена корректная формула для определения широты наблюдателя	2
	Формула расчета широты некорректна или отсутствует	0
3	Получено правильное значение широты наблюдателя	3
	Получено неправильно значение широты наблюдателя	0

Примечание

Критерий 1. Если отмечен угол $90^\circ - \varphi$, то он также считается за угол широты.

Критерий 3. Если участник явно не указал, южной или северной широты, считать, что северной.

Критерий 3. Участник могут некорректно произвести вычитание друг из друга считая, что в одном градусе находится 100 угловых минут. В этом случае ответ у участника получится $69^\circ 78' 48''$. Такой ответ оценивается в 2 балла.

4 задание (8 баллов)

Определите синодический период Сатурна для наблюдателя с Марса. Большая полуось орбиты Сатурна и Марса составляют 9.6 а.е. и 1.5 а.е. соответственно. Ответ дать в земных годах.

Решение

С помощью большой полуоси орбит планет можно определить сидерические периоды их обращения по орбите. Запишем третий закон Кеплера для некоторой планеты и Земли

$$\frac{T_{\Pi}^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_{\Pi}^3}{a_{\oplus}^3}$$

Если период считать в земных годах, а большие полуоси в астрономических единицах, то

$$\frac{T_{\Pi}^2}{1 (\text{зем. г.})^2} = \frac{a_{\Pi}^3}{1 (\text{а. е.})^3} \Rightarrow T_{\Pi}(\text{зем. г.}) = \sqrt{(a_{\Pi} (\text{а. е.}))^3}$$

Отметим, что третий закон Кеплера может быть записан не только для планет по отношению к Земли, но и непосредственно для Сатурна и Марса. В этом случае закон тоже корректен.

Отсюда получаем

$$T_{\text{С}} = \sqrt{9.6^3} = 29.74 \text{ зем. г.}$$

$$T_{\text{М}} = \sqrt{1.5^3} = 1.83 \text{ зем. г.}$$

Запишем уравнение синодического периода. Сатурн для наблюдателя Марса будет внешней планетой, тогда

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_M} - \frac{1}{T_C} \Rightarrow S = \frac{T_M T_C}{T_C - T_M} = \frac{29.74 \cdot 1.83}{29.74 - 1.83} = 1.95 \text{ зем. г.}$$

Ответ

1.95 зем. г.

№	Критерий	Баллы
1	Записан третий закон Кеплера для двух планет	2
	Третий закон Кеплера отсутствует или записан неправильно.	0
2	Получено правильное численное значение сидерического периода для Марса И Сатурна.	2
	Одно из полученных значений сидерического периода некорректно.	1
	Оба значения сидерического периода некорректны.	0
3	Приведена формула синодического периода.	2
	Формула синодического периода отсутствует.	0
4	Записано правильное численно значение синодического периода	2
	Численное значение неправильное.	0

Примечания

Критерий 3. В формуле синодического периода в правой части слагаемые могут быть перепутан местами. В этом случае выставляется 1 балл.

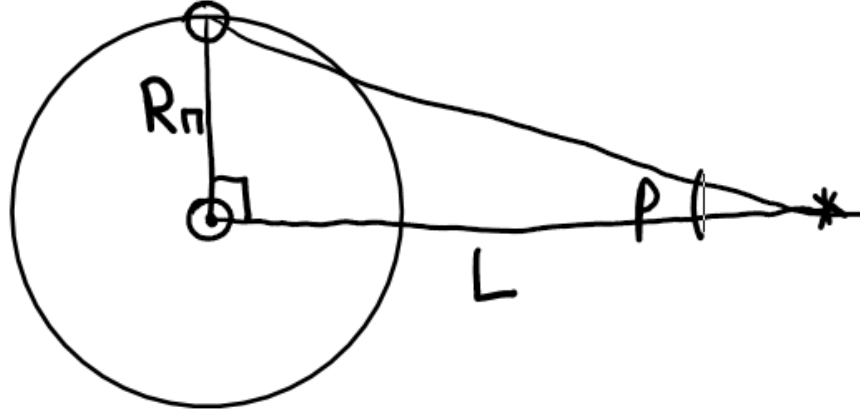
Критерий 4. Если период получен со знаком «минус», при этом по модулю значение совпадает с авторским, выставляется полный балл. Считать, что полученное расхождение возникло из-за неточной формулы (критерий 3).

5 задание (8 баллов)

В далеком будущем были созданы обсерватории на Луне и Япете (спутник Сатурна). Известно, что предел чувствительности измерения годовых параллаксов для лунной обсерватории составляет $0,000034''$, а для обсерватории на Япете $0,00022''$. Оцените, какая из обсерваторий способна определять большие расстояния до звезд. Большая полуось орбиты Сатурна 9,6 а. е, среднее расстояние от Сатурна до Япета 0,024 а. е. Орбиту Сатурна считать круговой.

Решение

Угол годичного параллакса – это угол, под которым видна большая полуось орбиты планеты при наблюдении с некоторого тела (см рисунок). Тогда запишем соотношение для синуса угла,



$$\sin p = \frac{R_{\text{П}}}{L}$$

где $R_{\text{П}}$ – радиус орбиты планеты, L – расстояние от Солнца до некоторого тела. В силу малости углов годичных параллаксов, справедливо соотношение малых углов,

$$\sin p \approx p \approx \operatorname{tg} p$$

где p измеряется в радианах. Тогда верно, что

$$p \approx \frac{R_{\text{П}}}{L}$$

Переведем $R_{\text{П}}$ в а.е., а угол p в угловые секунды p'' . Исходно будем считать, что длины нам даны в парсеках. Тогда

$$p \approx \frac{R_{\text{П}}(\text{пк})}{L(\text{пк})} \Rightarrow \frac{p''}{206265} \approx \frac{\left(\frac{R_{\text{П}}(\text{а.е.})}{206265}\right)}{L(\text{пк})} = \frac{R_{\text{П}}(\text{а.е.})}{206265 \cdot L(\text{пк})}$$

Итого

$$p'' \approx \frac{R(\text{а.е.})}{L(\text{пк})},$$

где R – расстояние от Солнца до наблюдателя в а.е., L – расстояние от Солнца до звезды в парсеках, p'' – угол параллакса в угловых секундах. Поскольку расстояние от спутников до их планет значительно меньше, чем расстояние от планет до звезды, им мы пренебрежем,

$$R = r_{\text{спутника}} + r_{\text{планеты}} \approx r_{\text{планеты}}$$

Тогда получаем, что предельно допустимое расстояние до звезды, на котором возможно обнаружить годичный параллакс с телескопа на Луне, составляет,

$$p'' = \frac{R(\text{а. е.})}{L(\text{пк})} \Rightarrow L(\text{пк}) = \frac{R(\text{а. е.})}{p''}$$

$$L_M(\text{пк}) = \frac{1 \text{ а. е.}}{0.000034''} = 29400 \text{ пк}$$

А для телескопа на Япете

$$L_I = \frac{9.6 \text{ а. е.}}{0.00022''} = 43600 \text{ пк}$$

Поскольку $L_I > L_M$, то телескоп на Япете способен определять большие расстояние до звезд.

Ответ

Телескоп на Япете способен определять большие расстояние до звезд

№	Критерий	Баллы
1	Приведена формула для расчета расстояния через угол параллакса.	2
	Формула для расчета расстояния через угол параллакса отсутствует.	0
2	Сделано замечание, что расстояние от спутника до планеты пренебрежимо мало по сравнению с расстоянием от планеты до Солнца.	1
	Замечание отсутствует.	0
3	Рассчитано предельное расстояние, которое возможно определить с помощью телескопа на Луне.	1
	Предельное расстояние для телескопа на Луне не рассчитано.	0
4	Рассчитано предельное расстояние, которое возможно определить с помощью телескопа на Япете.	2
	Предельное расстояние для телескопа на Япете не рассчитано.	0
5	Сделан верный вывод, что телескоп на Япете способен определять большие расстояния, чем телескоп на Луне.	2
	Заключение неверное или отсутствует	0

6 задание (8 баллов)

Средняя плотность тёмных облаков, из которых могут формироваться звезды, составляет $\rho = 7 \cdot 10^{-20} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Диаметр тёмных облаков варьируется от $1,65 \cdot 10^5$ а. е. до $4,13 \cdot 10^7$ а. е. Определите, сколько звезд, похожих на Солнце, может образоваться из самого маленького темного облака, если только из 1% массы вещества образуются звезды. Масса Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг. Астрономическая единица 1 а. е. равна $150 \cdot 10^6$ км.

Решение

Самые маленькие тёмные облака обладают диаметром $1,65 \cdot 10^5$ а.е. Тогда объем темного облака V составляет

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6}\pi D^3$$

где D – диаметр темного облака. Определим массу M темного облака,

$$M = \rho V = \frac{1}{6}\rho\pi D^3$$

При том только из $\eta = 1\%$ массы будут образовываться звезды,

$$\begin{aligned} m = M\eta &= \frac{1}{6}\rho\pi D^3\eta = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 7 \cdot 10^{-20} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot (1,65 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{13} \text{ см})^3 \cdot 0,01 \\ &= 5,56 \cdot 10^{33} \text{ г} \end{aligned}$$

Тогда из данного вещества может образоваться следующее N количество звезд, похожих на Солнце,

$$N = \frac{m}{M_{\odot}} = \frac{5,56 \cdot 10^{33} \text{ г}}{2 \cdot 10^{33} \text{ г}} = 2,78 \approx 2$$

Округляем в меньшую сторону, поскольку из оставшегося вещества сформировать звезду, похожую на Солнце, уже не получится. Итого, из наименьшего по размерам темного облака может образоваться 2 звезды, похожие на Солнце.

Ответ

2 звезды, похожие на Солнце.

№	Критерий	Баллы
1	Приведена формула для расчета объема сферы через радиус и/или диаметр ИЛИ формула используется в решении.	2
	Формула для расчета объема сферы отсутствует.	0
2	Приведена формула для расчета массы облака ИЛИ формула используется в решении.	2
	Формула для расчета массы облака отсутствует.	0
3	Приведена формула для расчета массы, из которой будут сформированы звезды ИЛИ формула используется в решении. (учет η)	1
	Формула для расчета массы, из которой будут сформированы звезды, отсутствует в решении.	0
4	Приведена формула для оценки количества звезд ИЛИ формула используется в решении.	1
	Формула для оценки количества звезд отсутствует в решении.	0
5	Получено правильное количество звезд, которое может сформироваться из данного облака.	2
	Из-за округления количество сформировавшихся звезд составляет 3.	1
	Оценка количества звезд, которые может сформироваться из данного облака, не правильное или не получено.	0