

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по
астрономии
2023-2024 гг.**

10 класс

Ключи и критерии

Задача №1

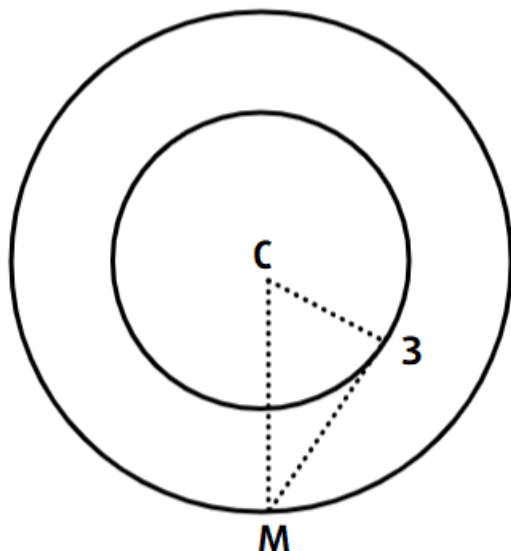
Космическая обсерватория будущего, находящаяся на Северном полушарии Марса, смогла сделать фотографию Земли 21 марта по земному календарю. Считая орбиты Земли и Марса круговыми, определите по данной фотографии:

- в какой конфигурации находится Марс по отношению к Земле;
- положение орбит Земли и Марса — нарисуйте их, а также отметьте на них данные планеты;
- с точностью до часа местное время в Махачкале;
- на каком расстоянии находится Земля от Марса;
- чему равен угловой диаметр Земли с Марса.



Решение:

- 1) Заметим, что Земля ровно наполовину освещена Солнцем, которое находится слева от нее. Значит, Земля по отношению к Марсу располагается в западной элонгации.



- 2) Если Земля располагается в западной элонгации к Марсу, то Марс располагается в восточной квадратуре.
- 3) Не сложно определить на карте Каспийское море и найти г. Махачкалу. Видно, что город располагается недалеко от границы дня и ночи, которая 21 марта соответствует закату Солнца в 18:00. Значит, местное время будет около 15-16 часов.

Комментарий: для более точной оценки можно заметить, что граница света проходит через Тюмень и разница часовых поясов между Тюменью и Махачкалой составляет ровно 2 часа.

- 4) Далее определим расстояние от Марса до Земли через теорему Пифагора:

$$d = \sqrt{a_M^2 - a_Z^2} = 1,14 \text{ а. е.}$$

- 5) Теперь определим угловой диаметр Земли, наблюдаемый с Марса:

$$\beta = \frac{2R_Z}{d} \cdot 206265'' = 15,4''$$

Критерии:

- 1) Сделан верный рисунок — 2 балла.
- 2) Правильно определена конфигурация Земли по отношению к Марсу — 1 балл.
- 3) Правильно определена конфигурация Марса по отношению к Земле — 2 балла.
- 4) Сделан верный вывод о том, что в г. Махачкале в скором времени будет закат — 2 балла.

- 5) За ответ в диапазоне [13; 18] — 1 балл; за ответ в диапазоне [14; 17] — 2 балла; за ответ в диапазоне [15; 16] — 3 балла.
- 6) Правильная формула вычисления расстояния до Земли — 2 балла + за верный ответ — 1 балл.
- 7) Правильная формула вычисления углового диаметра — 1 балл + за верный ответ — 1 балл.

Максимальный балл — 15

Задача №2

В некоторой точке Земли пассажир самолёта наблюдает звезду со склонением $\delta = 70^\circ$ в зените. Определите, какое расстояние должен пролететь самолёт, который движется строго на юг, чтобы эта же звезда наблюдалась в нижней кульминации на горизонте. С какой скоростью он должен лететь, чтобы пассажир смог увидеть следующую нижнюю кульминацию звезды уже на горизонте?

Решение:

- 1) Звезда находится в верхней кульминации, поскольку невозможно подняться выше горизонта.
- 2) Запишем высоту верхней кульминации:

$$h_{\max} = 90 - |\varphi_1 - \delta| = 90$$

$$\varphi_1 = \delta = 70^\circ$$

Значит, широта данной точки соответствует склонению звезды.

- 3) Теперь определим, на какой широте данная звезда будет проходить нижнюю кульминацию на горизонте:

$$h_{\min} = -90 + |\varphi_2 + \delta| = 0$$

$$\varphi_2 = 90 - \delta = 20^\circ$$

- 4) Определим, какой путь должен пролететь самолет по меридиану от широты 70° до широты 20° :

$$L = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{360^\circ} \cdot 2\pi R = 5582 \text{ км}$$

- 5) Отметим, что время между двумя последовательными кульминациями звезды равняется половине звездных суток, то есть 11ч58м. Значит, скорость полёта можно выразить, как:

$$V = L/t = 466 \text{ км/ч}$$

- 6) В задаче можно также отметить, что точка старта располагается за полярным кругом, поэтому 2 последовательные кульминации звезды можно наблюдать в течении 12 часов и Солнце не будет мешать.

Критерии:

- 1) Правильное замечание, что верхняя кульминация соответствует 90 градусам — 1 балл.
- 2) Верно определена широта точки старта — 1 балла.
- 3) Верно определена широта точки финиша — 1 балл.
- 4) Верно определено расстояние, которое должен пролететь самолёт — 2 балла.
- 5) Верно определено время между кульминациями звезды — 1 балла.
- 6) Верна определена скорость самолёта — 2 балла.

Комментарии:

- 1) *Широты можно определить графическим способом. За это даются полные баллы за 1-3 пункт.*
- 2) *Дети могут не верно указать время между двумя кульминациями звезды (12 часов), тогда за 5 пункт даётся 0 баллов, но в 6 пункте за ответ 465 км/ч даётся полный балл.*

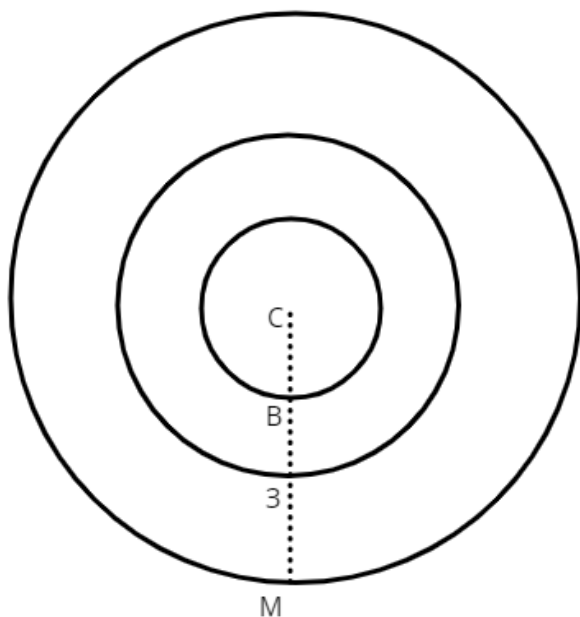
Максимальный балл — 8**Задача №3**

На орбитах трех планет (Венера, Земля и Марс) располагаются спутники-связи. Данные спутники могут посылать, ретранслировать (получить и сразу передать) и получать сигнал. Определите, за какое минимальное и максимальное возможное время сигнал, испущенный с одного спутника и ретранслированный другим, доберется до третьего. Орбиты планет считать круговыми, орбиты спутников считать пренебрежимо малыми. Время отправки, ретрансляции и получения считать пренебрежимо малым.

Решение:

- 1) Отметим, что сигнал движется со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
- 2) Рассмотрим случай, когда сигнал будет двигаться минимальное время. Для этого все планеты должны находится на минимальном расстоянии

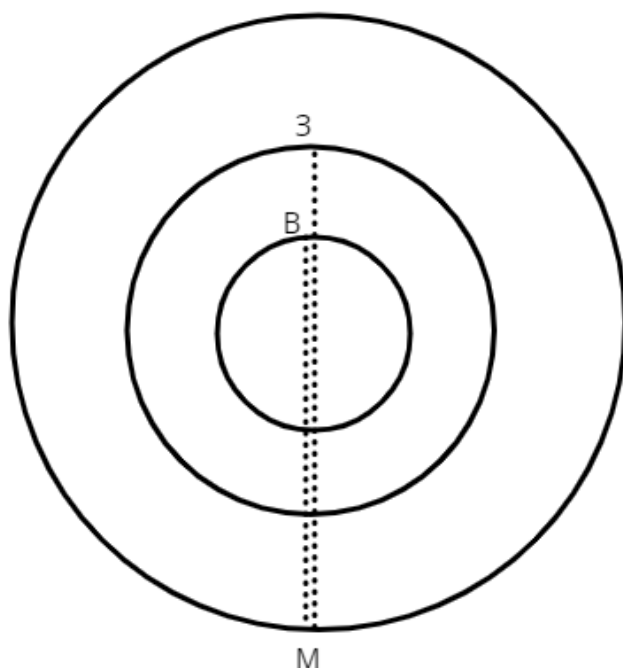
и сигнал должен идти по цепи Венера-Земля-Марс или наоборот:



3) Получим, что минимальное время движения:

$$t = \frac{(a_M - a_Z) + (a_Z - a_B)}{c} = \frac{(a_M - a_B)}{c} = 400 \text{ с}$$

4) Для того, чтобы сигнал двигался как можно дольше, планеты должны располагаться на максимальном расстоянии друг от друга и сигнал должен двигаться по цепочке Венера-Марс-Земля или наоборот:



5) Получим, что максимальное время движения:

$$t = \frac{(a_M + a_Z) + (a_M + a_B)}{c} = 2380 \text{ с}$$

Критерии:

- 1) Правильное положение для случая минимального времени — 2 балла.
- 2) Правильное минимальное время — 2 балла.
- 3) Правильное положения для случая максимального времени — 2 балла.
- 4) Правильное максимальное время — 2 балла.

Максимальный балл — 8

Задача №4

Если у некоторой звезды уменьшить расстояние до нее, радиус и температуру поверхности в 2 раза, то её видимая звездная величина увеличится в 2 раза. Определить, какая видимая звездная величина у нее сейчас.

Решение:

- 1) По закону Стефана-Больцмана светимость звезды пропорциональна квадрату радиуса и температуре в 4 степени.
- 2) По закону обратных квадратов светимость обратно пропорциональна квадрату расстояния до нее
- 3) Значит, светимость уменьшится в $2^2 2^4 / 2^2 = 16$ раз
- 4) По формуле Погсона можем заметить, что:

$$\Delta m = 2,5 \lg(E_2/E_1) = 2,5 \lg(16) = 3^m$$

- 5) И теперь найдем начальную видимую звездную величину:

$$m + \Delta m = 2m$$

$$m = \Delta m = 3^m$$

Критерии:

- 1) Правильно записана зависимость от температуры — 1 балл
- 2) Правильно записана зависимость от радиуса — 1 балл
- 3) Правильно записана зависимость от расстояния — 1 балл
- 4) Правильно определено, во сколько раз изменится светимость — 2 балла
- 5) Правильно записана формула Погсона — 1 балла
- 6) Верно определена начальная видимая звездная величина — 2 балла

Максимальный балл — 8

Задача №5

По орбитам вокруг двух разных планет вращаются 2 космических спутника. Известно, что отношение их высот над поверхностями к радиусу соответствующей планеты одинаковое. Определите отношение ускорений

свободного падения на поверхностях данных планетах, если периоды данных спутников одинаковые, а массы планет отличаются в 4 раза. Планеты считать идеальными шарами без осевого вращения, орбиты спутников считать круговыми.

Решение:

- 1) Обозначим отношение высоты орбиты спутника к его радиусу, как k :

$$k = \frac{h_1}{R_1} = \frac{h_2}{R_2}$$

$$h_1 = kR_1$$

$$h_2 = kR_2$$

- 2) Запишем обобщенный III Закон Кеплера для данных орбит:

$$\frac{(R_2 + kR_2)^3}{(R_1 + kR_1)^3} = \frac{T_2^2}{T_1^2} \cdot \frac{M_2}{M_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{1/3}$$

- 3) Запишем ускорение свободного падения на планете:

$$g = \frac{MG}{R^2}$$

- 4) Значит отношение ускорений свободного падения будет:

$$\frac{g_2}{g_1} = \frac{M_2}{M_1} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{1/3} = 4^{1/3} = 1,6$$

Критерии:

- 1) Верно выражены радиусы орбит через радиусы планет — 1 балл.
- 2) Верно записан обобщенный III Закон Кеплера — 2 балла.
- 3) Правильно определено отношение радиусов — 2 балла.
- 4) Верно записано ускорение свободного падения на поверхности — 1 балл.
- 5) Правильно определено отношение ускорений свободного падения — 2 балла.

Комментарий: Данную задачу можно решать через законы Ньютона. В случае правильной записи пункт 2 оценивается в полный балл.

Максимальный балл — 8

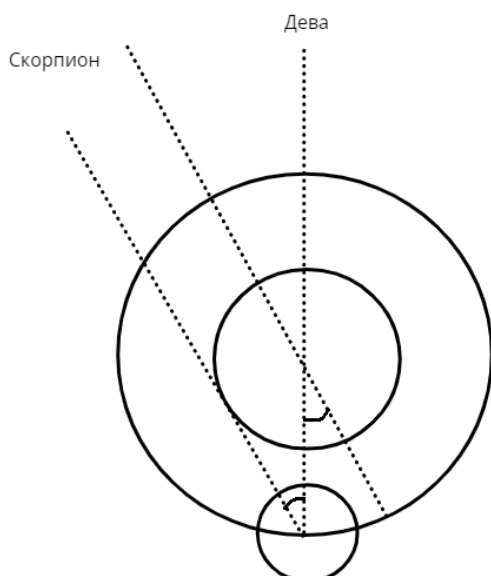
Задача №6

Известно, что в некоторый Луна оказалась в соединении с Венерой в восточной элонгации в созвездии Скорпиона. Определите, в каком созвездии будет наблюдаться Луна в следующем новолунии. Считать, что орбиты Венеры, Луны и Земли круговые и лежат в одной плоскости. Для решения можете воспользоваться таблицей прохождения Солнца через зодиакальные созвездия:

Стрелец	18 декабря — 19 января
Козерог	20 января — 15 февраля
Водолей	16 февраля — 11 марта
Рыбы	12 марта — 18 апреля
Овен	19 апреля — 13 мая
Телец	14 мая — 19 июня
Близнецы	20 июня — 20 июля
Рак	21 июля — 9 августа
Лев	10 августа — 15 сентября
Дева	16 сентября — 30 октября
Весы	31 октября — 22 ноября
Скорпион	23 ноября — 29 ноября
Змееносец	30 ноября — 17 декабря

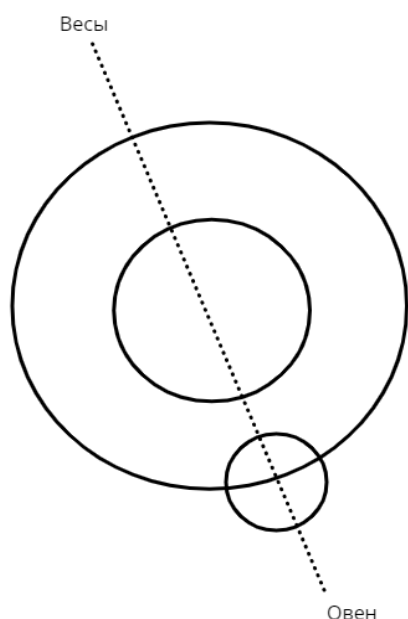
Решение:

- 1) Восточная элонгация Венеры располагается в 47 градусах от Солнца.
- 2) Сделаем схематичное изображение:



Луна и Венера находятся в созвездии Скорпиона. Солнце окажется в данном созвездии только через 45 дней, значит, оно располагается в созвездии Девы в положении, которое соответствует датам середины октября.

- 3) Следующее новолуние наступит где-то через $7/8$ синодических периода Луны, то есть через 25 дней.
- 4) Через 25 дней Солнце окажется в созвездии Весы в положении, которое соответствует соответствующим датам начала ноября.



5) Значит, Луна располагается в диаметрально противоположном направлении, то есть в созвездии, которое соответствует положению Солнца на начало мая, то есть Овен.

Критерии:

- 1) Записан или найден угол элонгации Венеры — 2 балла.
- 2) Верно определено, в каком созвездии располагается в данный момент Солнце — 2 балла.
- 3) Верно определено, через сколько произойдет следующее новолуние — 2 балла.
- 4) Верно определено положение Солнца и Луны через 25 дней — 2 балла

Максимальный балл — 8

Максимальный балл за олимпиаду — 55