

Пермский край
2025-26 учебный год
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
11 КЛАСС

Решения олимпиадных заданий и критерии их оценивания
Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. (8 баллов)

1) Названия созвездий, представленных на рис. 1, следующие:

Рис. 1, *a* – созвездие «Стрелец».

Рис. 1, *b* – созвездие «Козерог».

Рис. 1, *c* – созвездие «Водолей».

2) Эти созвездия относятся к **зодиакальным** созвездиям.

3) Известно, что Солнце в течение года последовательно проходит по "зодиакальному" кругу. Если Солнце находится в каком-то созвездии, то это созвездие бывает над горизонтом днем, следовательно, ночью это созвездие не видно. Ночью будут видны созвездия, расположенные с диаметрально противоположной стороны эклиптики.

4) Астроном Стекляшкин обнаружил на ночном небе созвездия Стрельца, Козерога и Водолея, следовательно, Солнце находится в "противоположных" созвездиях эклиптики. Это созвездия Близнецов, Рака и Льва, по которым Солнце перемещается примерно с июня по август, т.е. летом. И именно этих созвездий ночью не видно. Поэтому можно утверждать, что астроном вел наблюдения в **летнее время года**.

Оценивание.

1 пункт решения (за каждое правильное название созвездия по 1 баллу) – всего 3 балла.

2 пункт решения (зодиакальные созвездия) – 1 балл.

3 пункт решения (ночью видны созвездия, расположенные с диаметрально противоположной стороны эклиптики, где находится Солнце) – 2 балла.

4 пункт решения (указано правильное время года) – 2 балла.

Задание 2. (8 баллов)

1) Так как материнская звезда в самый длинный день года (в день летнего солнцестояния) освещает дно самых глубоких каньонов, находящихся на поверхности данной планеты, то полуденная высота светила равна $h_1 = 90^\circ$.

2) В случае, когда в зимнее солнцестояние на 24 часа наступает полярная ночь, можно считать, что полуденная высота светила около $h_2 = 0^\circ$.

3) Формула для верхней кульминации светила

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta, \quad (1)$$

где φ – широта места наблюдения, а δ – склонение светила.

4) С учетом что, в первом случае $\delta_1 = \varepsilon$, а во втором $\delta_2 = -\varepsilon$, получим

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 2\varepsilon = 90^\circ. \quad (2)$$

5) Отсюда окончательный ответ:

$$\varepsilon = 45^\circ.$$

Оценивание.

1 пункт решения (высота в день летнего солнцестояния) – 2 балла.

2 пункт решения (высота в день зимнего солнцестояния) – 2 балла.

3 пункт решения (выражение для высоты светила в верхней кульминации (1)) – 1 балл.

4 пункт решения (получено выражение (2)) – 2 балла.

5 пункт решения (получен окончательный числовой ответ) – 1 балл.

Задание 3. (8 баллов)

1) Световой поток от всего скопления в 1 000 000 раз больше, чем от одной звезды. Представим это число в виде:

$$1\,000\,000 = 100 \cdot 100 \cdot 100 = 100^3.$$

2) Разница в световых потоках в 100 раз соответствует 5^m .

3) Значит, звёздное скопление на $5+5+5 = 15$ звёздных величин ярче одной звезды. Тогда суммарный блеск скопления примерно

$$m = +20^m - 15^m = 5^m.$$

Примечание. Тот же результат можно получить, если воспользоваться формулой Погсона.

4) Связь абсолютной звездной величины M , видимой звездной величины m и расстояния до звезды r в парсеках (пк):

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg(r). \quad (1)$$

5) Отсюда определяем искомое расстояние до шарового скопления ($M = -10^m$, $m = 5^m$):

$$5 \cdot \lg(r) = (m + 5) - M = 20^m,$$

$$\lg(r) = 4^m.$$

$$r = 10^4 \text{ пак} = 10000 \text{ пак} = 10 \text{ кпк}.$$

Примечание. Искомое расстояние r может быть выражено в других единицах измерения.

Оценивание.

1 пункт решения ($1\,000\,000 = 100^3$) – 1 балл.

2 пункт решения – 2 балла.

3 пункт решения (определен суммарный блеск скопления) – 1 балл.

Примечание. За любое альтернативное правильное определение блеска скопления выставляется в сумме 4 балла.

4 пункт решения (формула (1)) – 2 балла.

5 пункт решения (найденное искомое расстояние) – 2 балла.

Задание 4. (8 баллов)

1) Воспользуемся обобщенным третьим законом Кеплера:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2(M_1+m_1)}{T_2^2(M_2+m_2)}.$$

Здесь M_1 и M_2 – массы Земли и Урана, m_1 и m_2 – массы Луны и Титания, T_1 и T_2 – периоды вращения Луны и Титания, a_1 и a_2 – большие полуоси орбит Луны и Титания (в предположении круговых орбит равны радиусам орбит, т.е. расстоянию от спутника до планеты).

2) Массой спутников по сравнению с массой планет можно пренебречь, тогда:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2 M_1}{T_2^2 M_2}.$$

3) Тогда искомая масса Урана M_2 :

$$M_2 = \frac{T_1^2 a_2^3}{T_2^2 a_1^3} M_1.$$

4) Подставляем числовые значения и получаем числовой ответ:

$$M_2 = [(27.3^2 \cdot 436000^3) / (8.7^2 \cdot 384400^3)] \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ кг} = \approx 86 \cdot 10^{24} \text{ кг}.$$

Оценивание.

- 1 пункт решения (обобщенный третий закон Кеплера) – 3 балла.
- 2 пункт решения (пренебрежение массой спутников) – 3 балла.
- 3 пункт решения (выражена масса урана M_2) – 1 балл.
- 4 пункт решения (получен числовой ответ) – 1 балл.

Задание 5. (8 баллов)

- 1) Яркость Марса сильно зависит от конфигурации планеты, то есть от расстояния между Землей и Марсом. Так как эти планеты вращаются вокруг Солнца с разными периодами, то расстояние между планетами тоже периодически меняется, что приводит к изменению яркости Марса при наблюдении с Земли.
- 2) Планета Марс достигает максимальной яркости во время противостояния, когда находится на минимальном расстоянии от Земли. В это время Марс, как правило, намного ярче любой из звезд. А во время великих противостояний планета может быть даже немного ярче Юпитера.
- 3) Сделаем схематичный рисунок (Марс в противостоянии или оппозиции):



- 4) Сидерический период – промежуток времени, в течение которого какое-либо небесное тело-спутник совершает вокруг главного тела полный оборот относительно удалённых звёзд.
- 5) На графике промежуток между максимумами – это промежуток времени между двумя последовательными конфигурациями планет (между противостояниями), то есть синодический период Марса S .
- 6) Из графика получаем (в промежуток 30 лет укладываются 14 периодов):

$$S = 30 \text{ лет} / 14 \approx 2.14 \text{ года.}$$

- 7) Для внешних планет:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{Z} - \frac{1}{T}. \quad (1)$$

Здесь S – синодический период Марса, Z – сидерический период Земли ($Z = 1$ год), T – сидерический период Марса.

- 8) Выражаем сидерический период Марса и находим значение T :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{Z} - \frac{1}{S} \Rightarrow T = (Z \cdot S) / (S - Z) = (1 \cdot 2.14) / (2.14 - 1) \approx 1.88 \text{ года.}$$

Оценивание.

- 1 пункт решения – 1 балл.
- 2 пункт решения (максимум блеска соответствует противостоянию Марса и Земли) – 1 балл.
- 3 пункт решения (правильный схематичный рисунок) – 1 балл.
- 4 пункт решения (сидерический период) – 1 балл.
- 5 пункт решения (расстояние между максимумами – синодический период) – 1 балл.

6 пункт решения (определено значение синодического периода) – 1 балл.

7 пункт решения (формула (1) для внешней планеты) – 1 балл.

8 пункт решения (окончательный ответ) – 1 балл.

Задание 6. (10 баллов)

1) Вычислим сначала угловой размер того участка небесной сферы, которая видна со дна колодца.

Известно, что угловой размер Солнца около $\varphi_1 = 0.5^\circ$.

2) Для малых углов можно считать, что линейные размеры пропорциональны их угловым размерам. Поэтому

$$\varphi_2 / \varphi_1 = d_2 / d_1, \quad (1)$$

где φ_1 и φ_2 – угловые размеры Солнца и открытой верхней части колодца, d_1 и d_2 – линейные размеры Солнца и открытой верхней части колодца.

3) Проводим измерения линейных размеров на рис. 5, используя линейку.

$$d_1 = 2.0 \text{ см},$$

$$d_2 = 8.4 \text{ см}$$

4) Определяем угловой размер участка небесной сферы (используя формулу (1)), которая видна со дна колодца:

$$\varphi_2 = 2.1^\circ.$$

5) Тогда площадь участка неба, видимого со дна колодца в угловых единицах:

$$S_2 = \varphi_2^2 \approx 4.4 \text{ кв. градуса.}$$

6) Теперь оценим, сколько звёзд приходится на такой участок. То есть вычислим среднюю площадь небесной сферы, приходящуюся на одну звезду, и сравним с нашим результатом из пункта 5.

Площадь всей небесной сферы в угловых единицах равна 4π стерadians, или около 41000 квадратных градусов. Это можно знать или вычислить, зная определение стерadians. Например, так. Телесный угол в 1 стерadians с вершиной в центре сферы радиусом R вырезает из этой сферы поверхность площадью R^2 . То есть если площадь поверхности сферы $S = 4\pi R^2$, то эта же площадь в стерadians $S = 4\pi$ стерadians. Соотношение между стерadiansами и квадратными градусами можно получить из следующих соображений:

$$1 \text{ рад} = (180 / \pi)^\circ, \quad 1 \text{ стерadians} = [(180 / \pi)^\circ]^2 \approx 3283 \text{ кв. градусов.}$$

Тогда

$$4 \pi \text{ стерadians} \approx 41\,255 \text{ кв. градусов.}$$

7) Человек с нормальным зрением тёмной безлунной ночью на всём небе видит около 6000 звёзд (включая оба полушария). Невооружённым глазом можно увидеть звёзды лишь до 5–6 величины.

8) Значит, на одну звезду приходится:

$$S_{\text{одна звезда}} = 41\,255 / 6000 \approx 6.9 \text{ кв. градуса.}$$

9) Сравнивая этот результат с S_2

$$S_2 = 4.4 \text{ кв. градуса} \leq S_{\text{одна звезда}} = 6.9 \text{ кв. градуса,}$$

видим, что вычисленные площади соизмеримы, значит, в среднем со дна колодца можно будет увидеть или одну звезду, или же ни одной (все таки $S_2 < S_{\text{одна звезда}}$).

Примечание. Можно заметить, что среди видимых невооружённым глазом звёзд основное количество достаточно слабые – пятая, шестая звёздные величины. Тогда при присутствующих в реальности помехах (неидеальное зрение, засветка и т.д.) с большой

вероятностью наша оценка будет завышенной. Скорее всего, не удастся увидеть ни одной звезды.

Оценивание.

- 1 пункт решения (указан угловой размер Солнца) – 1 балл.
- 2 пункт решения (соотношение (1)) – 1 балл.
- 3 пункт решения (измерены линейные размеры) – 1 балл.
- 4 пункт решения (найден угловой размер φ_2) – 1 балл.
- 5 пункт решения (площадь участка неба, видимого со дна колодца в угловых единицах) – 1 балл.
- 6 пункт решения (площадь небесной сферы в кв. градусах) – 1 балл.
- 7 пункт решения (указано количество звезд, видимых невооруженным глазом) – 1 балл.
- 8 пункт решения (найдена площадь $S_{\text{одна звезда}}$) – 1 балл.
- 9 пункт решения (проведен анализ полученных результатов и сформулирован ответ) – 2 балла.