

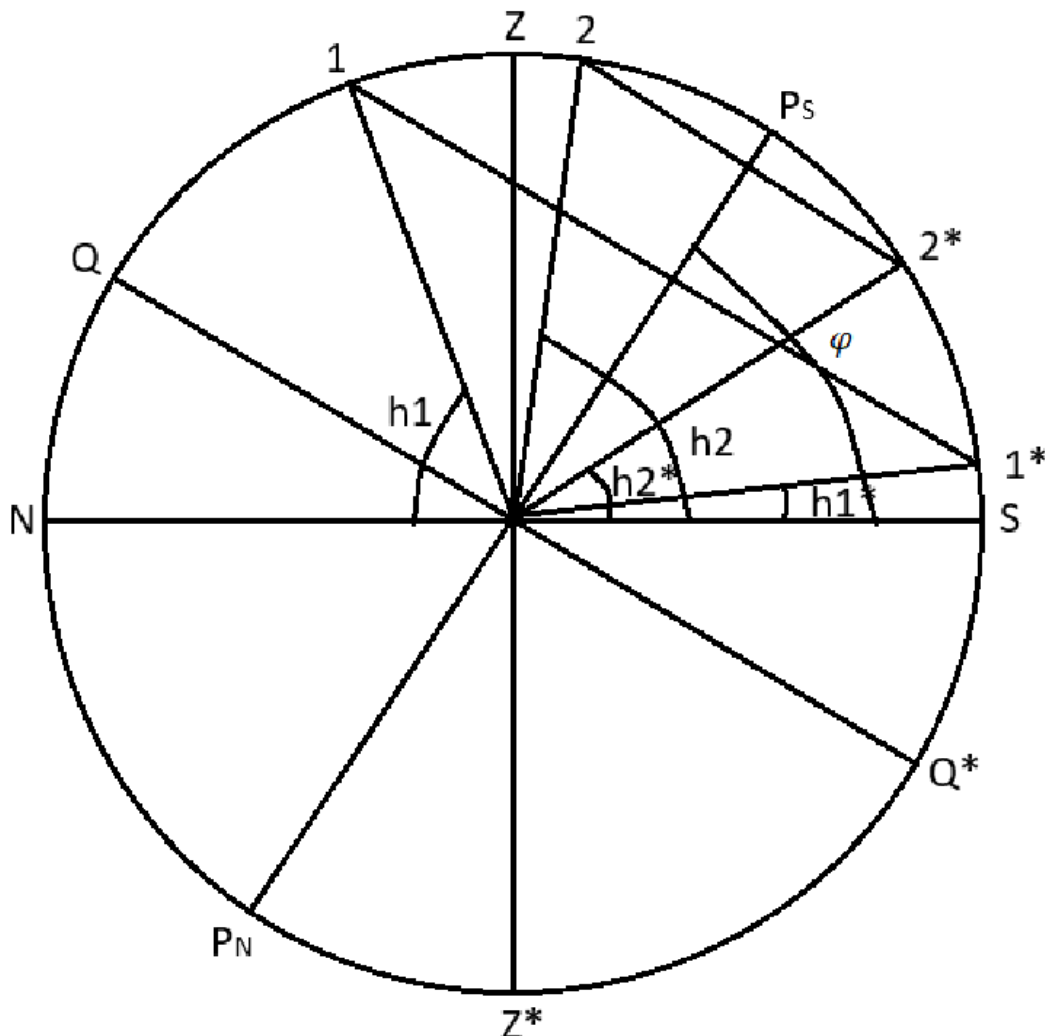
Всероссийская олимпиада школьников
Муниципальный этап
Астрономия, 2025-2026 учебный год
10 классы
Критерии проверки
Все задания по 8 баллов

Задача 1

Астроном-потеряшка случайно оказался на необитаемом острове. Всё что у него есть – это прибор для измерения высот звёзд. Он принялся исследовать движения некоторых звёзд по небу и заметил, что первая некоторая звезда могла иметь высоты от 10° до 70° , другая звезда была на высоте от 40° до 80° , а Малая Медведица ночью так и не появилась. На какой широте находится астроном-потеряшка? Рефракцией пренебречь.

Решение:

Можно сразу сказать, что астроном находится в южном полушарии, ведь звезду, находящуюся в Северном полюсе мира – Альфу Малой Медведицы – наблюдать нельзя. Покажем звёзды из условия на круге кульминаций:



$h_1 = 70^\circ, h_1^* = 10^\circ, h_2 = 80^\circ, h_2^* = 40^\circ, \varphi$ – широта места

Полюса мира проходят в точности между положениями в верхней и нижней кульминациях, поэтому мы можем записать равенство широты и среднего арифметического для высот (широта отрицательная):

$$\varphi = -\frac{180 - h_1 + h_1^*}{2} = -\frac{h_2 + h_2^*}{2} = -60^\circ$$

Ответ: широта места -60° .

Критерии:

1 Этап – 2 балла. Объяснено, что широта отрицательная.

2 Этап – 3 балла. Есть рисунок, показывающий движение звёзд, отмечены такие углы как широта и высота звёзд (последнее может быть отмечено только для одной звезды).

Этот пункт может и не быть, участник может найти возможные широты с помощью общих формул для кульминаций ($h_{\text{в}} = 90^\circ - |\varphi - \delta|$, $h_{\text{н}} = -90^\circ + |\delta + \varphi|$) и далее найти широту, подходящую для обеих звёзд.

3 Этап – 3 балла. Получен итоговый ответ.

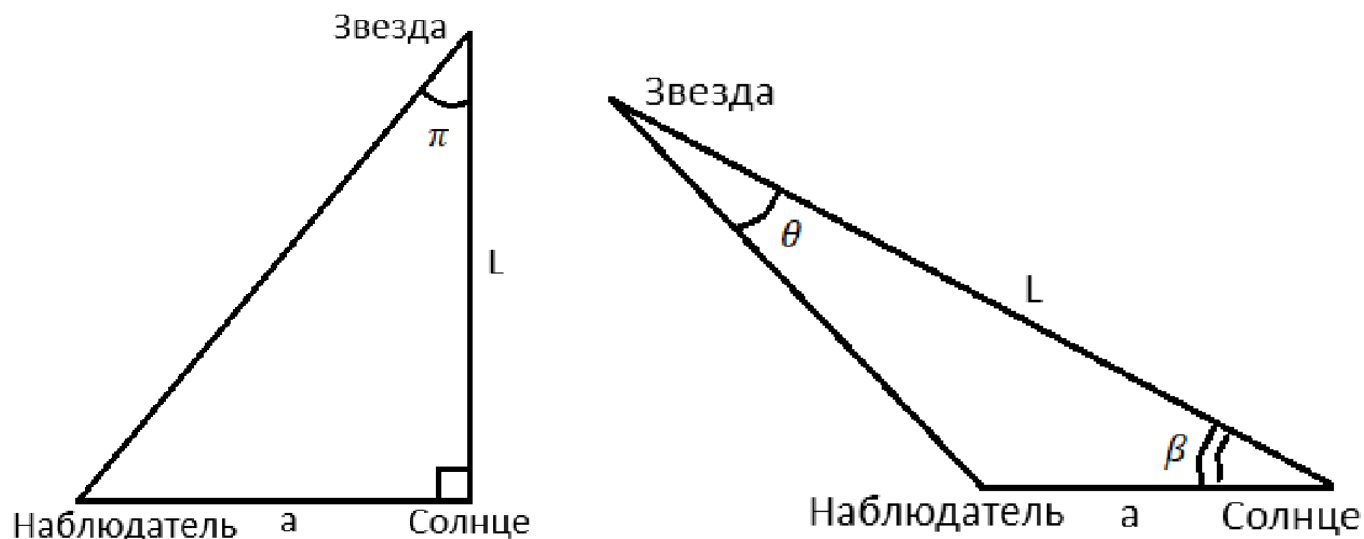
Арифметическая ошибка снижает оценку за этап на 1 балл.

Задача 2

Параллактический эллипс выглядит по-разному в зависимости от того, какую эклиптическую широту имеет звезда - чем меньше по модулю эклиптическая широта, тем больше эксцентриситет такого эллипса. Выведите формулу для эксцентриситета параллактического эллипса в зависимости от эклиптической широты для наблюдателя на Земле. Считать, что эклиптическая широта звезды во много раз превышает величину параллактического смещения звезды.

Решение:

Пусть звезда имеет эклиптическую широту β . Рассмотрим максимальное параллактическое смещение и минимальное:



Наблюдатель на Земле – радиус орбиты a . Расстояние до звезды L . Параллактическое смещение мало, поэтому $\sin(\pi) \approx \tan(\pi) \approx \pi$, $\sin(\theta) \approx \tan(\theta) \approx \theta$

Большой полуосью параллактического эллипса будет максимальное параллактическое смещение звезды $\pi \approx \frac{a}{L}$

Малой полуосью параллактического эллипса будет минимальное параллактическое смещение θ . Его найдём из теоремы синусов:

$$\frac{\sin(\theta)}{a} = \frac{\sin(180^\circ - \theta - \beta)}{L}$$

$$\theta \approx \frac{a}{L} \sin(\beta)$$

Запишем соотношение малой и большой полуоси эллипса с эксцентриситетом e :

$$\frac{\theta}{\pi} = \sin(\beta) = \sqrt{1 - e^2}, \quad e = \cos(\beta)$$

Ответ: $e = \cos(\beta)$

Критерии:

- 1 Этап – 2 балла. Показаны различные параллактические смещения звезды в зависимости от положения Земли на орбите.
- 2 Этап – 2 балла. Сказано о том, что наименьшее смещение является малой полуосью параллактического эллипса, а наибольшее – большой полуосью.
- 3 Этап – 2 балла. Записаны формулы для наибольшего и наименьшего параллактических смещений.

4 Этап – 2 балла. Найден эксцентриситет параллактического эллипса.

Задача 3

Вокруг звезды двигаются по эллиптическим орбитам планеты Татуин и Корусант. Вычислены перицентрическое и апоцентрическое расстояния планет – для Татуина $q_T = 3\text{ а. е.}$, $Q_T = 7\text{ а. е.}$, для Корусанта $q_K = 4\text{ а. е.}$, $Q_K = 6\text{ а. е.}$. В один момент они оказались в апоцентрах своих орбит. Какая из них раньше окажется на расстоянии 4 а.е. от звезды?

Решение:

Большая полуось каждой планеты составляет $a = \frac{q+Q}{2} = 5\text{ а. е.}$

Их большие полуоси равны, а значит их периоды обращения вокруг звезды также равны.

Через пол оборота по орбите обе планеты окажутся в перицентре своих орбит, Татуин – на расстоянии 3 а.е. от звезды, Корусант – на расстоянии 4 а.е.. Чтобы достигнуть расстояния 4 а.е. от звезды, Корусанту пришлось сделать пол оборота вокруг звезды, а вот Татуин оказался на таком расстоянии где-то между перицентром и апоцентром, времени до этой точки прошло менее времени полуоборота. Таким образом, Татуин оказался на таком расстоянии раньше.

Ответ: Татуин оказался на расстоянии 4 а.е. от звезды раньше.

Критерии:

1 Этап – 2 балла. Подсчёт большой полуоси планет. По 1 баллу за каждую.

2 Этап – 2 балла. Равенство периодов обращения планет.

3 Этап – 2 балла. Анализ времени, необходимого для того чтобы оказаться на расстоянии 4 а.е. от звезды.

4 Этап – 2 балла. Получен итоговый ответ.

Задача 4

Для некоторой звезды известны следующие данные:

Эффективная температура в эффективных температурах Солнца	Радиус в радиусах Солнца	Параллакс θ в угловых секундах
2	0.5	0.0025

На сколько звёздных величин Солнце ярче этой звезды?

Решение:

Эффективная температура Солнца T_c , радиус Солнца R_c , расстояние от Земли до звезды L , расстояние от Земли до Солнца a , параллакс звезды θ .

Светимости звезды и Солнца можно посчитать как светимости абсолютно чёрных тел по закону Стефана-Больцмана:

$$\text{Светимость Солнца } Z_c = 4\pi R_c^2 \sigma T_c^4$$

$$\text{Светимость звезды } Z = 4\pi (0.5R_c)^2 \sigma (2T_c)^4$$

$$L = \frac{a}{\theta}, \frac{a}{L} = \theta$$

$$\text{Освещённость от Солнца } E_c = \frac{Z_c}{4\pi a^2}$$

$$\text{Освещённость от звезды } E = \frac{Z}{4\pi L^2}$$

$$\frac{E}{E_c} = \frac{4\pi a^2 Z}{4\pi L^2 Z_c} = \frac{4\pi (0.5R_c)^2 \sigma (2T_c)^4 \theta^2}{4\pi R_c^2 \sigma T_c^4} = 0.5^2 \cdot 2^4 \cdot \left(\frac{0.0025}{206265}\right)^2 = 5.88 \cdot 10^{-16}$$

По формуле Погсона

$$\frac{E}{E_c} = 10^{-0.4 \Delta m} \quad \Delta m = -2.5 \log_{10} \left(\frac{E}{E_c} \right) = 38.1^m$$

Ответ: $\Delta m = 38.1^m$

Критерии:

1 Этап – 2 балла. Записаны формулы для светимостей Солнца и звезды. По 1 баллу за каждую.

2 Этап – 2 балла. Посчитано отношение освещённостей от Солнца и звезды.

3 Этап – 2 балла. Записана формула Погсона.

4 Этап – 2 балла. Получен итоговый ответ.

Арифметическая ошибка снижает оценку за соответствующий этап на 1 балл.

Задача 5

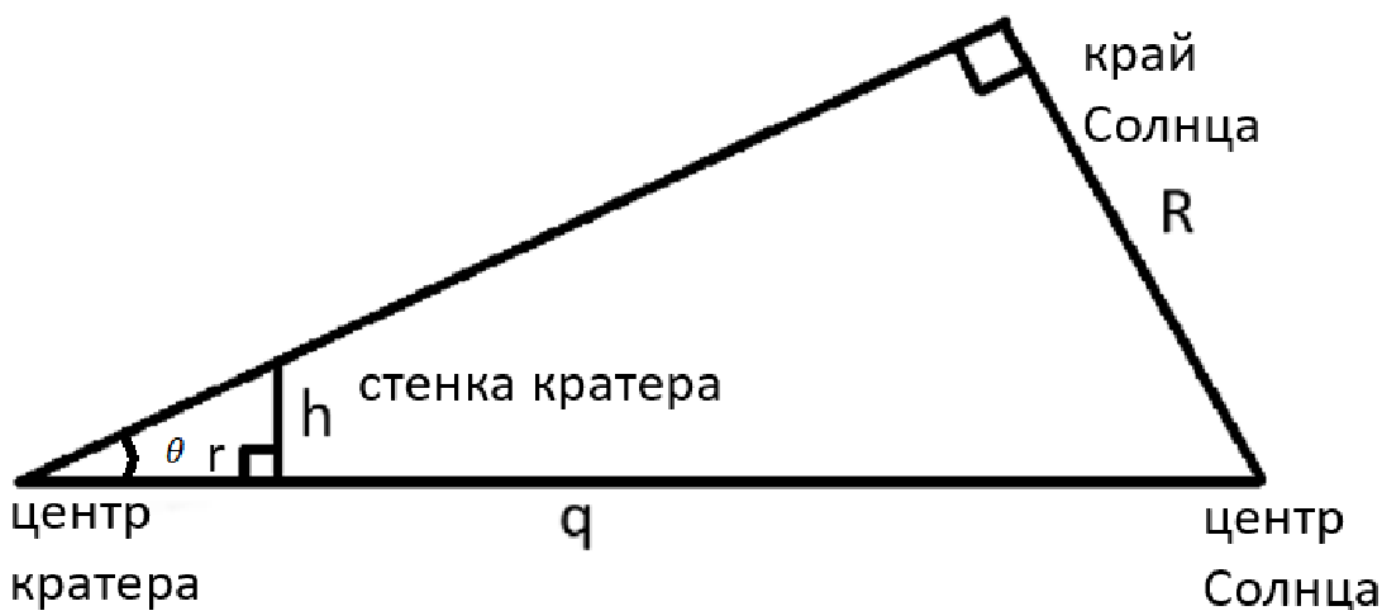
Кратер вечной тьмы - это такой кратер, внутри которого есть область, никогда не освещаемая Солнцем. Какая минимальная высота h должна быть у такого кратера с радиусом $r = 6.6$ км, находящегося на Меркурии? Радиус Меркурия $k = 2440$ км, радиус Солнца $R = 697000$ км, наклон экватора Меркурия к плоскости орбиты $i = 0^\circ$. Меркурий движется по орбите с большой полуосью $a = 0.3871$ а.е. и эксцентриситетом $e = 0.2056$.

Решение:

Кратер вечной тьмы на Меркурии сможет существовать лишь вблизи его полюсов. Наименьшая высота такого кратера для заданного радиуса будет достигаться ровно на полюсе Меркурия. Наклон экватора Меркурия к плоскости его орбиты 0° , а значит высота его стенок h будет перпендикулярна плоскости орбиты.

Радиус Меркурия гораздо меньше радиуса Солнца, поэтому им мы можем пренебречь и считать, что кратер находится в плоскости орбиты.

Выше всего край Солнца для наблюдателя на полюсе будет располагаться тогда, когда Меркурий будет находиться в перигелие своей орбиты, там угловой размер Солнца будет максимален. Перигелийское расстояние Меркурия $q = a(1 - e) = 0.308$ а.е.



Угол θ мал, поэтому $\sin(\theta) \approx \tan(\theta) \approx \theta$

$$\text{Тогда } \frac{R}{q} = \frac{h}{r}$$

$$h = \frac{R}{q} r = 0.1 \text{ м}$$

Ответ: высота такого кратера 0.1м

Критерии:

1 Этап – 2 балла. Вывод о местоположении кратера.

2 Этап – 2 балла. Найдено перицентрическое расстояние Меркурия.

3 Этап – 2 балла. Записана формула для нахождения высоты кратера.

4 Этап – 2 балла. Получен итоговый ответ.

Арифметическая ошибка снижает оценку за соответствующий этап на 1 балл.

Задача 6

Вам представлен кадр Дэна Мартланда, наблюдавшего восход Луны в небе Нью-Йорка и людей на вершине небоскреба. Используя его, оцените расстояние до людей. Луна в этот момент находилась на расстоянии 373000 км. от Земли.



Решение:

Угловой размер Луны, когда она находится на расстоянии $L = 373000$ км. от наблюдателя:

$$\sigma = \frac{2R}{L}$$

Здесь $R = 1740$ км. – радиус Луны

На кадре Луна имеет размер 132 мм. = a

$$\text{Масштаб кадра } \mu = \frac{\sigma}{a} = \frac{2R}{La}$$

Крайний человек имеет размер 13 мм. = b – ему соответствует угловой размер $\theta = \frac{2R}{La}b$

Оценим рост человека – пусть человек будет высоты h от 1.6 м. до 2 м.

Тогда расстояние до людей $X = \frac{h}{\theta} = h \cdot \frac{L}{2R} \cdot \frac{a}{b} =$ от 1.7 км. до 2.2 км.

Ответ: расстояние до людей от 1.7 км. до 2.2 км.

Критерии:

1 Этап – 2 балла. Записан угловой размер Луны.

2 Этап – 2 балла. Измерены размеры человека и Луны на кадре. По 1 баллу за каждый.

3 Этап – 1 балл. Записан угловой размер человека.

4 Этап – до 3 баллов. Оценка роста человека. Участник может взять лишь одно примерное значение роста человека и с помощью него получить примерное расстояние. Баллы ставятся в зависимости от взятого роста:

- $h \in [1.6 \text{ м}, 2.0 \text{ м}]$ – 3 балла
- $h \in [1.5 \text{ м}, 1.6 \text{ м}) \cup (2.0 \text{ м}, 2.1 \text{ м}]$ – 2 балла
- $h \in [1.4 \text{ м}, 1.5 \text{ м}) \cup (2.1 \text{ м}, 2.2 \text{ м}]$ – 1 балл
- любой другой рост – 0 баллов

5 Этап – 2 балла. Получен итоговый ответ. При нереалистичном итоговом ответе (расстояние больше радиуса Земли / 2 мм / т.д.) оценка составляет 0 баллов.

Арифметическая ошибка снижает оценку за соответствующий этап на 1 балл.