



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ. 2018–2019 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 8–9 КЛАССЫ

Задача 1

Наблюдатель видит полную Луну в созвездии Девы. В каком месяце проводятся наблюдения? Ответ объясните.

Решение

Во время полнолуния Солнце и Луна находятся по разные стороны наблюдателя (Земли).

Далее один из вариантов объяснения:

известно, что в созвездии Девы находится точка осеннего равноденствия. Значит, во время наблюдений, описываемых в условии, Солнце находилось в окрестностях другой точки равноденствия – весенней, в созвездии Рыб. В ней Солнце бывает весной – в конце марта.

Другой вариант: участник может просто знать тот месяц, когда Солнце находится в созвездии Девы (сентябрь). Соответственно, сдвиг на 6 месяцев (чтобы попасть в противоположную часть неба) даст правильный ответ: март.

Однако созвездие Девы – большое созвездие. Солнце пересекает его больше, чем за месяц. Таким образом, ответ – март-апрель.

Ответ: март-апрель

Критерии оценивания

- Ответ «март-апрель» (или «март») оценивается в **4 балла**.
- Ответ с конкретной датой в марте (например, 22 марта) оценивается в **2 балла**.
- Ответ «весной» оценивается в **2 балла**.
- Ответ «февраль» (или «май») оценивается в **2 балла**.
- Объяснение ответа оценивается в **4 балла** (от **0 до 4 баллов** в зависимости от полноты и правильности):
 - указание на то, что Луна и Солнце в полнолунии находятся по разные стороны наблюдателя (не зависит от выбранного варианта объяснения), – **2 балла**;
 - указание на то, что в созвездии Девы находится точка равноденствия (для первого варианта решения), – **1 балл**;
 - указание на то, что это означает, что Солнце находится в созвездии Рыб или в окрестностях точки весеннего равноденствия (для первого варианта решения), – **1 балл**;
 - указание на то, что Солнце бывает в Деве в сентябре, – **2 балла**;
 - «перенос» Солнца на 6 месяцев – **2 балла**.

Участник может предложить своё объяснение, которое должно быть проверено в примерном соответствии с предложенной схемой).

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 2

Как известно, марсоходы управляются операторами с Земли. Определите минимальную и максимальную задержку между моментом подачи оператором команды и моментом начала её исполнения марсоходом. Большая полуось орбиты Марса равна 1,5 а.е. Орбиты планет считать круговыми. Ответ выразите в секундах.

Решение

Задержка вызвана конечной скоростью распространения света $c=300000$ км/с. Для определения величины задержки найдём максимальное и минимальное расстояние между Землёй и Марсом:

$$L_{\min}=1,5 \text{ а.е.} - 1,0 \text{ а.е.} = 0,5 \text{ а.е.} = 0,5 * 150\,000\,000 \text{ км} = 75\,000\,000 \text{ км}$$

$$L_{\max}=1,5 \text{ а.е.} + 1,0 \text{ а.е.} = 2,5 \text{ а.е.} = 2,5 * 150\,000\,000 \text{ км} = 375\,000\,000 \text{ км}$$

Время распространения сигнала (задержка) будет:

$$T_{\min}=L_{\min}/c = 75\,000\,000 / 300\,000 = 250 \text{ с}$$

$$T_{\max}=L_{\max}/c = 375\,000\,000 / 300\,000 = 1250 \text{ с}$$

Ответ: минимальное время задержки 250 с, максимальное время задержки 1250 с (*из-за промежуточных округлений или использования более точного значения скорости света и величины а.е. ответ может незначительно отличаться от авторского*).

Критерии оценивания:

- За вычисление минимального расстояния между планетами – **2 балла**.
- За вычисление максимального расстояния между планетами – **2 балла**.
- За вычисление минимальной задержки распространения сигнала – **2 балла**.
- За вычисление максимальной задержки распространения сигнала – **2 балла**.
- За знание скорости распространения света – **1 балл**, но суммарная оценка не должна превышать **8 баллов** за задачу.

Арифметическая ошибка снижает оценку на **1 балл** и только за тот этап, на котором она произошла.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 3

Может ли искусственный спутник Земли работать на орбите с высотой (т. е. с расстоянием от поверхности Земли) в апогее $h = 10000$ км и эксцентриситетом $e = 0,5$? А если $e = 0,1$? Ответ подтвердите расчётами.

Решение

Определим перигейное расстояние данного ИСЗ. Если оно окажется меньше радиуса Земли, то спутник не сможет находиться на соответствующей орбите, т. к. на первом же обороте он ударится о поверхность Земли.

Сначала найдём расстояние от центра Земли до точки апогея:

$$r_a = h + R_{\oplus} = 10000 + 6400 = 16400 \text{ км.}$$

Известно, что расстояние в апогее (r_a) и расстояние в перигее (r_p) связаны с размером большой полуоси (a) и эксцентриситетом (e) соотношениями:

$$r_p = (1 - e) * a$$

$$r_a = (1 + e) * a$$

Отсюда можно получить соотношение

$$\frac{r_a}{r_p} = \frac{1 + e}{1 - e}$$

и получить значения r_p для двух значений e из условия задачи:

$$r_p = r_a * \frac{1 - e}{1 + e}$$

Величину перигейного расстояния можно найти и иначе.

Из соотношения

$$r_a = (1 + e) * a$$

найдем величину большой полуоси a и после этого найдем перигейное расстояние:

$$r_p = (1 - e) * a$$

В первом случае ($e = 0,5$) $r_p \approx 5467$ км. Эта величина меньше радиуса Земли 6400 км. Значит, на такой орбите спутник работать не сможет.

Во втором случае ($e = 0,1$) $r_p \approx 13420$ км. Эта величина значительно больше радиуса Земли 6400 км. Значит, на такой орбите спутник работать сможет.

Ответ: на орбите с $e = 0,5$ спутник работать не сможет; на орбите с $e = 0,1$ спутник работать сможет.

Критерии оценивания:

- Вычисление апогейного расстояния (или его использование напрямую в вычислениях в решении) оценивается в **1 балл**.

- Вывод или запись готового выражения, связывающего эксцентриситет, перигейное и апогейное расстояния (или использование цепочки $r_a \rightarrow a \rightarrow r_p$), оценивается в **3 балла**.
 - Вычисление правильного перигейного расстояния (по **1 баллу** за каждый случай) оценивается в **2 балла**.
 - Формулировка окончательного ответа (сравнение с радиусом Земли либо вычисление высоты орбиты в перигее и сравнение её с 0) оценивается в **2 балла** (по **1 баллу** за каждый случай).
 - Правильный ответ (нет, да) без решений оценивается в **2 балла**.
- Ошибка на каком-то этапе (арифметическая или в формуле) снижает оценку только за тот этап, в котором она была допущена.
- Максимум за задачу 8 баллов.**

Задача 4

На какой максимальной высоте на земном шаре может происходить верхняя кульминация звезды Альбиро (β Лебедя)? На какой минимальной высоте на земном шаре может происходить верхняя кульминация Альбиро? Координаты Альбиро: $\alpha = 19^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = +28^\circ$.

Решение

Максимальная высота в верхней кульминации будет при кульминации звезды в зените, т. е. высота будет равна 90 градусов. Ответ на второй вопрос не так очевиден. Минимальная высота в верхней кульминации будет тогда, когда она будет происходить под горизонтом. Для звезды с положительным склонением это будет наблюдаться в южном полушарии Земли. Минимальной высота кульминации будет при наблюдении из ближайших окрестностей Южного полюса Мира (на самом полюсе звёзды не восходят и не заходят, а их суточные траектории параллельны горизонту – т. е. на самом полюсе кульминации в принципе не наблюдаются). При этом $h = -28^\circ$.

Комментарий: объяснение к решению не требуется (оно приведено для общего понимания).

Критерии оценивания:

- Правильный ответ на первый вопрос «максимальная высота 90° » оценивается в **4 балла**.
- Правильный ответ на второй вопрос «минимальная высота -28° » или, другими словами, «минимальная высота 28° под горизонтом» оценивается в **4 балла**.
- Ответ на второй вопрос «минимальная высота 0° » или «кульминация на горизонте» оценивается в **1 балл**.

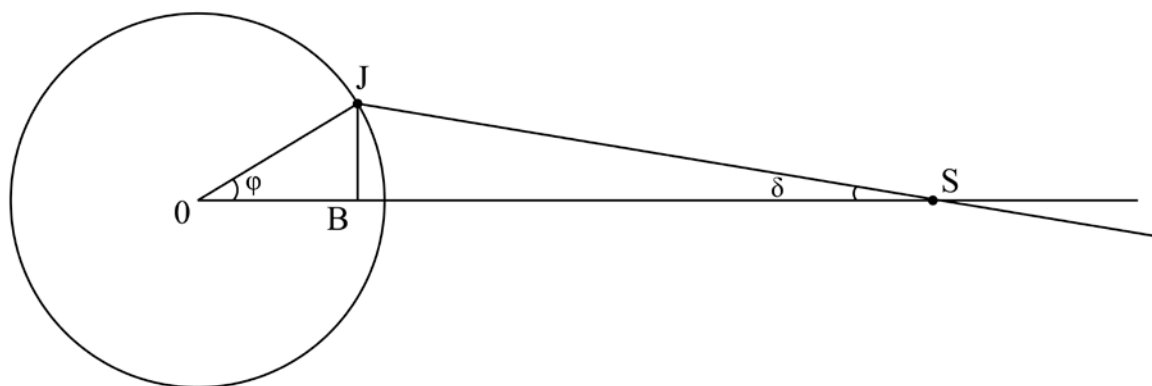
Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 5

В декабре 2016 г. в СМИ промелькнула новость, что японский любитель астрономии наблюдал прохождение десятка геостационарных спутников одного за другим на фоне туманности Ориона ($\alpha = 5^{\text{h}}36^{\text{m}}$, $\delta = -5^{\circ}28'$). Объясните, могло ли наблюдаться такое явление (широта Японии 30° – 45°). Если могло, то оцените время прохождения одного геостационарного спутника по Большой туманности Ориона (угловой диаметр туманности – примерно $30''$).

Решение

Такое явление могло наблюдаться из Японии. Геостационарные спутники вращаются по орбите с радиусом примерно 42000 км (это число можно помнить, можно получить вычислениями), лежащей в плоскости земного экватора.



На рисунке показано положение наблюдателя J и спутника S. Линия OS – проекция экватора. Видно, что при наблюдениях из Северного полушария Земли склонение спутника будет отрицательным (спутник для наблюдателя находится под экватором).

Комментарий: эта задача является оценочной. В ней не требуется проведение точных вычислений. Допускается (и даже приветствуется) оценочное решение задачи. Тем не менее, приведём тут полное решение, а оценочное будет приведено чуть ниже.

Определим величину δ .

Два прямоугольных треугольника OJB и SJB имеют общую сторону BJ:

$$BJ = OJ * \sin\varphi = BS * \operatorname{tg}\delta$$

Т.к. $JO=R$, а $BS=OS-OB=OS-OJ*\cos\varphi$, где $R=6400$ км – радиус Земли, а $OS\approx 42000$ км – радиус геостационарной орбиты (эту величину можно помнить, а можно получить вычислениями из, например, 3-го закона Кеплера), то:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{OJ}{BS} * \sin\varphi = \frac{R}{42000 - R * \cos\varphi} * \sin\varphi$$

Подставив $\varphi=30^{\circ}$ и $\varphi=45^{\circ}$, найдём, что $\delta\approx -5^{\circ} \dots -7^{\circ}$. Склонение туманности Ориона укладывается в этот диапазон.

Оценочное решение

Величину δ можно оценить и из грубого приближения — из рисунка видно, что отношение величин углов ϕ и δ примерно равно отношению расстояний ОВ и BS. Грубо его можно считать равным отношению $(42000-R)/R \approx 5,6$, где $R=6400$ км – радиус Земли. Тогда склонение спутника в зависимости от широты будет лежать в интервале от $-30^\circ/5,6 \approx -5,4^\circ$ до $-45^\circ/5,6 \approx -8^\circ$.

Время прохождения определяется угловой скоростью суточного движения неба (т.к. туманность близка к экватору, а геостационарные спутники неподвижны относительно наблюдателя), равной примерно $360^\circ/24\text{ч} = 15^\circ/\text{ч} = 15'/\text{мин}$. Т. е. вся туманность будет пересечена спутником за 2 мин.

Ответ: да, могла наблюдаться. Время прохождения примерно 2 минуты.

Критерии оценивания:

- Ответ «да» оценивается в **1 балл**.
- Ответ о времени прохождения в 2 минуты без вычислений или объяснений оценивается в **1 балл**.
- Доказательство возможности прохождения оценивается в **4 балла** (т. е. вместе с **1 баллом** за ответ «да» оценка за этот этап составляет **5 баллов**).
- Вычисление времени прохождения оценивается в **2 балла** (т. е. вместе с ответом о времени в 2 минуты оценка за этот этап составляет **3 балла**). Допускается уточнение этого времени путём учёта склонения туманности Ориона (через $\cos \delta$) – время немного увеличится.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 6

Оцените расстояние от фотографа до новозеландского радиотелескопа, если известно, что диаметр его приёмной антенны 30 м. Приведите вычисления и объяснение.

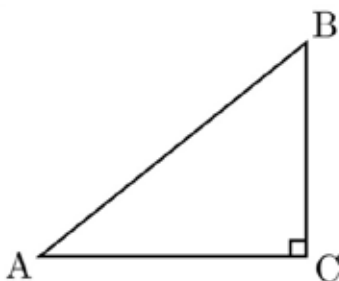


Решение

Для получения оценки расстояния мы будем использовать «угловую линейку» – Луну с известным угловым диаметром в $30'$ или $0,5^\circ$ (эту величину можно найти, если вспомнить радиус Луны и расстояние до неё либо то, что её угловые размеры совпадают с солнечными, и воспользоваться расстоянием до Солнца и его радиусом). Кроме того, возможно решение через составление пропорции – без прямого определения угловых размеров Луны.

Ещё нам обязательно потребуется любая известная линейная величина, присутствующая на снимке. В данном случае это диаметр антенны радиотелескопа. По рисунку измерим отношение линейного диаметра изображения Луны и диаметра антенны (отношение не зависит от конкретных размеров отпечатка на раздаточном материале).

Диаметр антенны/диаметр Луны $\approx 0,8$. Т.е. отрезок в 30 м видно под углом $0,8 \cdot 0,5^\circ = 0,4^\circ$



На рисунке показан треугольник, в котором сторона BC соответствует радиусу антенны (допускается в этом треугольнике использовать не радиус, а диаметр, с соответствующими изменениями в вычислениях), сторона AC – искомое расстояние, а угол BAC – половина уже определённого нами угла.

Чтобы решить задачу, можно воспользоваться определением функции тангенса:

$$AC = BC / \operatorname{tg} \angle BAC$$

$$AC = 15 \text{ м} / \operatorname{tg} 0,2^\circ \approx 4300 \text{ м}$$

Допускается вместо 15 м использовать сразу диаметр 30 м и соответствующий угол $0,4^\circ$.

Однако можно использовать известное соотношение: тангенс малого угла примерно равен самому углу, выраженному в радианной мере:

$$AC \approx 30 \text{ м} \cdot 57,3 / 0,4 \approx 4300 \text{ м}$$

Ответ: примерно 4300 м (допустимый диапазон расстояния в ответе 3800 – 4800 м).

Критерии оценивания:

- Ответ в диапазоне 3800 – 4800 м оценивается в **2 балла**.
- Объяснение, как он был получен (с формулами, вычислениями и, если надо, то и рисунками) оценивается в **6 баллов**. Из них:
 - **3 балла** за использование угловых размеров Луны ($0,5^\circ$ или $30'-32'$ для диаметра; или $0,25^\circ$ или $15'-16'$ для радиуса) или эквивалент этого – использование пропорции, в которую входят значения радиуса Луны (или Солнца) и расстояния до Луны (или Солнца);
 - **3 балла** за вычисления.

Максимум за задачу 8 баллов.

Всего за работу 48 баллов.