

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО АСТРОНОМИИ

2022 -2023 учебный год
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

11 класс

КЛЮЧИ

11 КЛАСС	
№ задания	Максимальный балл
1.	8
2.	8
3.	8
4.	8
5.	8
6.	8
Итого:	48 баллов

ПОДРОБНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАНИЙ

11 класс

Общие указания: за правильное понимание участником олимпиады сути предоставленного вопроса и выбор пути решения выставляется не менее 4–5 баллов. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2–3 балла даже при формально правильном ответе. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1–2 балла. Жюри вправе вводить собственные критерии оценивания работ, не противоречащие общим рекомендациям по проверке.

1. Покрытие Альдебарана Луной

Фазу Луны можно определить по ее угловому удалению от Солнца. Воспользовавшись картой звездного неба из Приложения 2 к заданиям, найдем положение Солнца на эклиптике 24 февраля на ее пересечении с радиусом, соединяющим дату и центр карты. Получим, что Солнце находится в созвездии Водолея в точке с прямым восхождением около 22 ч 15 мин.

Далее найдем на карте созвездие Тельца и его «главную» звезду Альдебаран (α Тельца), которая имеет прямое восхождение, примерно, 04 ч 35 мин. Так как в эту ночь произошло покрытие Альдебарана Луной, то Луна была удалена от Солнца, примерно, на 06 ч 20 мин (разница их прямых восхождений Солнца и Альдебарана с учетом перехода через 24 часа). Зная, что Земля вращается со скоростью около 15° в час, вычислим угловое расстояние Луны от Солнца: 6 целых часов дают 90° и еще $1/3$ часа – это 5° , в сумме получится 95° . По прямому восхождению Солнце расположено на эклиптике впереди Луны, а значит, Луна находится к востоку от Солнца. Учитывая это, можно сделать вывод, что Луна была видна в фазе чуть больше первой четверти.

Ответ: в ночь с 23 на 24 февраля 2018 года Луна была в фазе чуть больше первой четверти.

Критерии оценивания

Верное определение прямого восхождения Солнца – 2 балла.

Верное определение прямого восхождения Луны – 2 балла.

Верное определение углового удаления Луны от Солнца – 2 балла.

Окончательный верный вывод о фазе Луны – 2 балла.

2. Зенитные расстояния Веги

Для удобства вычислений переведем в данных из условия задачи угловые минуты в доли градусов:

$\delta = +38^\circ 47'$: так как $47' = 47'/60' \approx 0,8^\circ$, то $\delta = +38,8^\circ$;

$\varphi = +56^\circ 01'$: так как $01' = 01'/60' \approx 0,0^\circ$, то $\varphi = +56,0^\circ$.

1 способ решения.

Известно, что в зените кульминируют светила, склонение которых равно широте места наблюдения. Для Красноярска это соответствует склонению $\delta = \varphi = +56,0^\circ$. В момент верхней кульминации Вега будет видна в $56,0^\circ - 38,8^\circ = 17,2^\circ$ к югу от зенита. Это и есть зенитное расстояние Веги в момент верхней кульминации.

Зенитное расстояние северного полюса мира ($\delta = +90,0^\circ$) в Красноярске составляет: $90,0^\circ - 56,0^\circ = 34,0^\circ$ к северу от зенита. Вега удалена от северного полюса мира на $90,0^\circ - 38,8^\circ = 51,2^\circ$. Следовательно, зенитное расстояние Веги в нижней кульминации (на севере) будет составлять: $34,0^\circ + 51,2^\circ = 85,2^\circ$.

Разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет: $85,2^\circ - 17,2^\circ = 68,0^\circ$. Именно на столько в Красноярске Вега видна ближе к зениту в верхней кульминации, чем в нижней.

2 способ решения.

Определим высоту Веги в верхней кульминации из соотношения, связывающего высоту светила в верхней кульминации h_{max} , склонение светила δ и широту места наблюдения φ : $h_{max} = \delta + (90^\circ - \varphi)$:

$$h_{max} = 38,8^\circ + (90^\circ - 56,0^\circ) = 72,8^\circ.$$

Тогда зенитное расстояние Веги в момент верхней кульминации составит: $z_{max} = 90^\circ - h_{max} = 90^\circ - 72,8^\circ = 17,2^\circ$.

Определим высоту Веги в нижней кульминации из соотношения, связывающего высоту светила в нижней кульминации h_{min} , склонение светила δ и широту места наблюдения φ : $h_{min} = \delta - (90^\circ - \varphi)$:

$$h_{min} = 38,8^\circ - (90^\circ - 56,0^\circ) = 4,8^\circ.$$

Тогда зенитное расстояние Веги в момент нижней кульминации составит: $z_{min} = 90^\circ - h_{min} = 90^\circ - 4,8^\circ = 85,2^\circ$.

Разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет: $z_{min} - z_{max} = 85,2^\circ - 17,2^\circ = 68,0^\circ$.

Ответ: разность зенитных расстояний Веги в разноименных кульминациях в Красноярске составляет 68° .

Критерии оценивания

Знание, что означает зенитное расстояние – 1 балл.

Понимание угловых расстояний на небесной сфере (как в 1 способе решения) или применение формул для высот светила в кульминациях (как во 2 способе решения) – 4 балла.

Правильные вычисления и получение верного ответа – 3 балла.

3. Пыль на земной орбите

Космическая пыль выпадает на Землю, в основном, за счет столкновений пылевых частиц с Землей при ее движении по орбите, а не за счет притяжения их планетой, как может показаться на первый взгляд.

Определим скорость орбитального движения Земли вокруг Солнца: радиус орбиты Земли r примем за 149,6 млн. км, а период ее обращения (звездный год) T за 365,26 суток, тогда $v = 2\pi r/T = 2 \cdot 3,14 \cdot 149,6 \cdot 10^5 \text{ км} / (365,26 \text{ сут.} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 60 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с}) = 29,8 \text{ км/с} \approx 30 \text{ км/с}$. Среднюю орбитальную скорость Земли можно и не вычислять, а взять в разделе Данные о Земле Приложения 1 к заданиям. Там также можно найти экваториальный радиус Земли R , равный 6378 км, который примем за радиус земного шара.

Земля за сутки (24 ч) пролетает по своей орбите путь $L = 24 \text{ ч} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 30 \text{ км/с} \approx 2,592 \cdot 10^6 \text{ км}$, «заметая» собой всю пылевую материю, расположенную в цилиндрическом объеме пространства $V = \pi R^2 L = 3,14 \cdot (6378000 \text{ м})^2 \cdot 2,592 \cdot 10^9 \text{ м} \approx 3,3 \cdot 10^{23} \text{ м}^3$. В этом объеме находится, примерно, такая же масса пылевой материи, какая по условию задачи выпадает на Землю в виде метеорного вещества, т.е. $M = 10^5 \text{ кг}$. Пылевые частицы, образующие пылевую материю, движутся по своим орбитам вокруг Солнца, часть из них (более медленные) «заметает» при своем движении Земля, другие (более быстрые) могут догонять Землю. Зная массу и объем можно оценить плотность пылевой материи: $\rho = M / V = 10^5 \text{ кг} / 3,3 \cdot 10^{23} \text{ м}^3 \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ кг/м}^3$.

Ответ: космическая пыль выпадает на Землю, в основном, за счет столкновений пылевых частиц с Землей при ее орбитальном движении. Плотность пылевой материи в районе земной орбиты составляет около $3 \cdot 10^{-19} \text{ кг/м}^3$.

Критерии оценивания

Правильное указание основной причины выпадения космической пыли на Землю – 2 балла.

Правильное вычисление объема пространства, заметаемого Землей за сутки – 3 балла.

Верная оценка плотности пылевой материи – 3 балла.

4. Солнечное затмение 11 августа 2018 года

Фаза солнечного затмения Φ – это доля диаметра диска Солнца, закрытая Луной. Измерим отрезок $L1$, соответствующий диаметру солнечного диска на рисунке (см. рис. 1, для удобства показа дополнительных линий изображение инвертировано): $L1 \approx 5,8$ мм. Измерим еще один отрезок $L2$, соединяющий середину дуги лунного диска и максимально удаленную от нее противоположную часть диска Солнца: $L2 \approx 3,9$ мм. Тогда видимую долю солнечного диска можно определить, как $L2/L1 = 3,9 \text{ мм} / 5,8 \text{ мм} \approx 0,67$. А доля закрытого Луной диска (величина фазы затмения) составит $\Phi = 1 - 0,67 = 0,33$.

Измеренная фаза меньше максимальной для Красноярска, поэтому снимок был получен или до, или после максимума. Определим когда. В северном полушарии Солнце и Луна перемещаются вдоль эклиптики справа – налево (с запада на восток). Луна движется быстрее, поэтому на фоне солнечного диска она тоже перемещается справа – налево (с запада на восток). А максимальная фаза затмения наступает посередине этого пути. В августе эклиптика немного наклонена влево и вниз (см. рис. 2) к небесным параллелям, так как Солнце после летнего солнцестояния движется к осеннему равноденствию (склонение Солнца уменьшается). Из рисунка рис. 2 видно, что снимок был получен незадолго до максимальной фазы (центр Луны еще не дошел до перпендикуляра к эклиптике).

Теперь определим, можно ли было где-то увидеть более глубокое затмение. Достаточно вспомнить, что Луна находится неподалеку от Земли, поэтому из разных точек видна в разных направлениях (имеет значительный горизонтальный параллакс). Поэтому, чем дальше к северу от Красноярска во время затмения будет располагаться наблюдатель, тем южнее он будет видеть Луну на небе и, соответственно, на солнечном диске. Действительно, для наблюдателей из полярных районов нашей страны максимальная фаза этого затмения достигала 0,73.

Ответ: величина фазы затмения в момент съемки составляла, примерно, 0,33. Снимок был получен незадолго до максимальной фазы затмения. Большую фазу затмения можно было увидеть при перемещении наблюдателя на север от Красноярска.

Критерии оценивания

Понимание, что означает фаза затмения – 1 балл.

Верное вычисление значения фазы затмения – 2 балла.

Определение, что снимок получен до максимальной фазы (с обоснованием) – 2 балла.

Верное определение направления, где наблюдалась большая фаза (с обоснованием) – 3 балла.

5. Комета Джакобини-Циннера

Среднее расстояние от Солнца – это значение большой полуоси орбиты кометы $a = 3,498$ а.е. Тогда период ее обращения можно легко найти из III-го закона Кеплера: $T = \sqrt[3]{a^3}, 5$ года.

Перигелийное расстояние кометы можно определить из соотношения: $q = a \cdot (1 - e) \approx 1,014$ а.е., а афелийное расстояние – из соотношения: $Q = a \cdot (1 + e) \approx 5,982$ а.е. Таким образом, расстояние кометы от Солнца изменяется в $Q / q = 5,982 / 1,014 \approx 5,9$ раза. Так как энергия, получаемая кометой от Солнца, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то в перигелии комета получает тепла больше в $5,9^2 \approx 35$ раз.

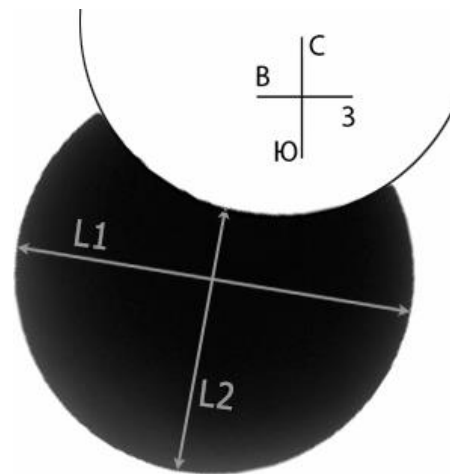


Рис. 1

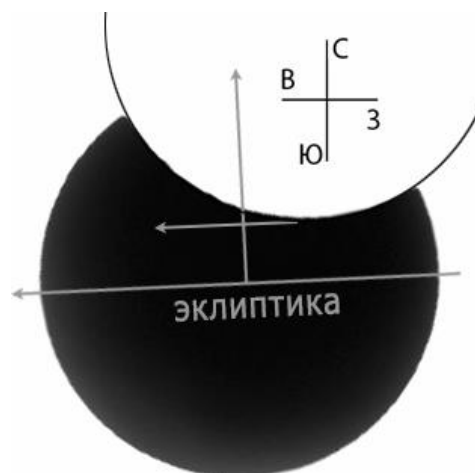


Рис. 2

Ответ: комета 21P Джакобини-Циннера получает от Солнца в 35 раз больше тепла в перигелии, чем в афелии. Период обращения кометы составляет 6,5 года.

Критерии оценивания

Верное определение период обращения кометы – 2 балла.

Правильное определение перигелийного и афелийного расстояний – 3 балла.

Знание, что энергия изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния – 2 балла.

Получение окончательного верного ответа – 1 балл.

6. Хвост кометы

Схематически изобразим положение кометы (К) относительно Солнца (С) и Земли (З) в момент, описанный в задаче (см. рис. 3).

Длину проекции хвоста на картинную плоскость (линию ab , перпендикулярную к направлению на комету) можно посчитать сразу: если хвост длиной l км с расстояния $L = 0,39$ а.е. $\cdot 149,598 \cdot 10^6$ км $\approx 58,343$ млн. км виден под углом $\alpha = 2^\circ$, то из простого соотношения $l / L = \operatorname{tg}(\alpha)$ можно получить: $l \approx L \cdot \alpha$ (радиан) $\approx 58,343 \cdot 10^6$ км $\cdot 2^\circ / 57,3^\circ \approx 2,036 \cdot 10^6$ км. И это в $2,036 \cdot 10^6$ км / $3,84 \cdot 10^5$ км $\approx 5,3$ раза больше расстояния от Земли до Луны.

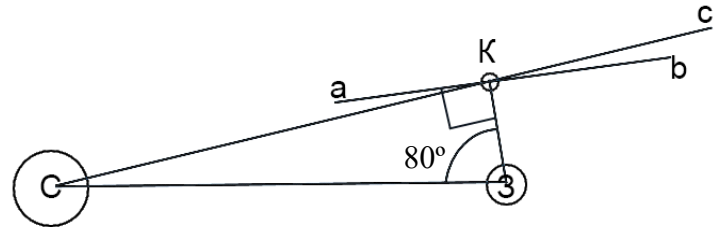


Рис. 3

Если решать задачу более точно, то надо учитывать тот факт, что хвосты комет направлены в сторону «от Солнца» (в нашем случае, по линии СКс). Проекцию которого $l = l_{\text{истинная}} \cdot \cos(\beta)$ мы вычислили выше (β – это угол сКв, или СКа). В нашем случае этот угол мал, поэтому истинная длина хвоста будет мало отличаться от вычисленной. В других случаях ошибка может быть очень существенной!

Воспользовавшись теоремой синусов можно вычислить угол СКЗ (Солнце-Комета-Земля), который, в нашем случае, будет равен $(90^\circ - \beta)$, т.е. меньше 90° как раз на интересующий нас угол β , позволяющий вычислить истинную длину хвоста кометы: $l_{\text{истинная}} = l / \cos(\beta)$.

Расстояние Солнце–Земля (СЗ) составляет 1,00 а.е., а Солнце-Комета (СК) – 1,02 а.е. Тогда: $СК / \sin(80^\circ) = СЗ / \sin(\text{СКЗ})$ или $1,02$ а.е. / $\sin(80^\circ) = 1,00$ а.е. / $\sin(\text{СКЗ})$, откуда угол СКЗ $\approx \arcsin(\sin(80^\circ) / 1,02) \approx 74,9^\circ$. А это значит, что в данном случае угол β равен $90^\circ - 74,9^\circ = 15,1^\circ$.

Поэтому $l_{\text{истинная}} = l / \cos(15,1^\circ) = 2,036 \cdot 10^6$ км / $0,965 = 2,110 \cdot 10^6$ км, что на 74 тысяч километров больше полученного выше значения. Итоговый ответ: $2,110 \cdot 10^6$ км / $3,84 \cdot 10^5 \approx 5,5$ раз больше расстояния от Земли до Луны.

Примечание: если бы угол β был более 60° (комета вблизи Солнца), то видимая длина хвоста могла бы быть в 2 и более раза меньше действительной (видимая длина хвоста всегда меньше действительной, за исключением редкого случая, когда направление хвоста совпадает с картинной плоскостью).

Ответ: длина хвоста кометы составляла $2,110 \cdot 10^6$ км, что в 5,5 раз больше расстояния от Земли до Луны.

Критерии оценивания

Определение длины проекции хвоста на картинную плоскость – 2 балла.

Знание того, что хвосты комет направлены «от Солнца» – 1 балл.

Точное определение длины хвоста кометы – 4 балла.

Вычисление отношения длины хвоста кометы к расстоянию от Земли до Луны (как при приближенном решении, так и при точном) – 1 балл.