

Пермский край
2023-2024 учебный год
**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
11 КЛАССЫ**

РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕШЕНИЙ

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. (8 баллов)

17 сентября 2023 года комета Нисимура прошла перигелий всего в 33 млн. км от поверхности Солнца. Она вернется только через 437 лет. Определите расстояние в млн. км, на которое она удалится от Солнца.

Решение

Воспользуемся третьим законом Кеплера. Большая полуось орбиты Земли равна 1 а.е., период обращения Земли 1 год. Пусть a есть большая полуось орбиты кометы, её период обращения $T = 437$ лет. По третьему закону Кеплера запишем:

$$a^3/T^2 = 1,$$

или

$$a = T^{2/3} = 57,6 \text{ а.е.} = 8 \text{ 615 млн. км}$$

Наибольшее расстояние составит

$$2a - r = 8 \text{ 615} - 33 - 0,7 = 8 \text{ 581 млн. км.},$$

где 0,7 млн. км есть радиус Солнца

Оценка решения задания.

1. Запись закона Кеплера – **2 балла**.
2. Вычисление большая полуось орбиты кометы – **3 балла**.
3. Вычисление наибольшего расстояния – **3 балла**.
4. Допускается ошибка вычисления искомого расстояния не более 50 млн. км.
5. При значительных ошибках вычислений соответствующие баллы не выставляются

Задание 2. (8 баллов)

Недавно отмечалась очередная годовщина запуска первого искусственного спутника Земли, выведенного на орбиту 4 октября 1957 года. Какие основные научно-технические цели преследовали этим запуском? Поясните, почему на спутнике были установлены два радиопередатчика с частотами 20,005 и 40,002 МГц, а также две антенны?

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Проверка технической возможности и проверка расчетов запуска спутника.
2. Исследование прохождения радиоволн через ионосферу к поверхности Земли.
3. Исследование влияния космического пространства на аппаратуру, а также определения благоприятных условий для работы аппаратуры в космосе.

4. Два радиопередатчика и отдельные антенны для каждого передатчика использовались для сравнения прохождения волн различной частоты.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту оценивается в **2 балла**.

Задание 3. (8 баллов)

Звезда движется относительно Солнца под углом 45° к лучу зрения. При этом ее гелиоцентрическая лучевая скорость равна 20 км/с, а собственное движение – $0.10''$ в год. Чему равен тригонометрический параллакс звезды?

Решение

Звезда движется под углом 45° к лучу зрения, следовательно, ее лучевая и тангенциальная скорости по модулю равны друг другу, и тангенциальная скорость составляет 20 км/с.

Скорость 20 км/с соответствует расстоянию в 4,22 а.е. за год:

$$20 \text{ км/с} = 20 \cdot 3,156 \cdot 10^7 \cdot (1,496 \cdot 10^8)^{-1} = 4,22 \text{ а.е./год.}$$

Расстояние в 4.22 а.е. видно с Земли под углом $0.10''$.

Следовательно, звезда удалена от нас на 42.2 парсека.

Тригонометрический параллакс звезды есть угол, под которым со звезды видно расстояние в 1 а.е. Он составляет $0.10''/4.22 = 0.024''$.

Оценка решения задания.

1. Вывод о равенстве лучевой и тангенциальной скоростей звезды – **2 балла**.
 2. Правильный перевод величины тангенциальной скорости в единицы а.е./год в виде числа или формулы – **3 балла**.
 3. Вычисление геометрического параллакса – **3 балла**.
 4. Допускается относительная ошибка числовых значений не более 5%.
 5. При значительных ошибках вычислений соответствующие баллы не выставляются
- Участники олимпиады могут использовать другие подходы к решению.

Задание 4. (8 баллов)

Две звезды **A** и **B** в желтых лучах светят одинаково. В красных лучах звезда **B** на 0.1^m ярче, чем звезда **A**. Если не учитывать возможное влияние межзвездной среды, то какая из звезд имеет более высокую температуру? Как влияет межзвездная среда на звездные величины небесных объектов.

Решение.

1. У более горячей звезды максимум излучения находится в области более коротких волн.
2. В спектре звезды **B** преобладает длинноволновое (красное) излучение.
3. Поэтому звезда **A** горячее звезды **B**.
4. Межзвездная среда поглощает излучение в широком диапазоне волн, что приводит к повышению звездных величин небесных объектов.

Задание 5. (8 баллов)

Двойная звезда состоит из одинаковых компонент солнечного типа, обращающихся по круговой орбите вокруг общего центра масс. Система является затменной переменной, а линия водорода H_α с длиной волны 656,3 нм каждые 5 лет сначала раздваивается на 0,1 нм, а потом вновь сливается воедино. Чему равно расстояние между звездами?

Решение

1. Периодически звезды оказываются на одном луче зрения одна за другой. Следовательно, плоскость орбит звезд образует малый угол с лучом зрения. Поскольку период спектральных изменений достаточно велик, а звезды похожи на Солнце, то расстояние между ними существенно превышает их собственные размеры.
2. Во время затмений звезды имеют равные лучевые скорости относительно Земли, и линии спектра звезд сливаются.
3. Однако, через четверть орбитального периода одна из звезд будет двигаться с орбитальной скоростью v в сторону Земли, а другая – с той же скоростью от Земли. Разница их лучевых скоростей составит $2v$.
4. Разница наблюдаемых длин волн линии H_α в спектрах звезд составит

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right) - \lambda \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right) = \lambda \cdot \frac{2v}{c}.$$

Здесь λ – длина волны линии H_α , c – скорость света.

5. Орбитальная скорость звезд равна:

$$v = c \frac{\Delta\lambda}{2\lambda},$$

что составляет 23 км/с.

6. Максимальное расхождение линий наблюдается дважды за орбитальный период T , который, таким образом, составляет 10 лет.
7. Радиус орбиты каждой из звезд составляет:
$$R = \frac{v \cdot T}{2\pi} = 7.7 \text{ a.e.}$$
8. Расстояние между звездами есть удвоенная величина радиуса – около 15 а.е.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту оценивается в **1 балл**. Если допущены значительные числовые ошибки, то соответствующий балл не выставляется.

Задание 6. (10 баллов)

Представьте, что с Земли наблюдается чрезвычайно редкое явление одновременного прохождения Венеры и Меркурия по видимому диску Солнца. Опишите наблюдаемые траектории движения планет по диску Солнца и оцените время явления в следующей упрощенной модели:

- орбиты планет являются окружностями, плоскости которых лежат в плоскости эклиптики;
- радиусы орбит равны среднему расстоянию планет от Солнца;

- наблюдаемые прохождения Венеры и Меркурия по видимому диску Солнца начинаются одновременно.

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Поскольку орбиты планет являются окружностями, и их плоскости лежат в плоскости эклиптики, то обе планеты перемещаются по диаметру видимого диска Солнца.
2. Оценить время протекания явления можно по угловым скоростям планет относительно земного наблюдателя.
3. При этом расстояние d_V Венеры относительно Земли равно:
 $d_V = 1 \text{ а.е.} - R_V = 1 - 0,723 = 0,277 \text{ а.е.}$,
 где R_V – радиус орбиты Венеры,
 расстояние d_M Меркурия относительно Земли равно:
 $d_M = 1 \text{ а.е.} - R_M = 1 - 0,387 = 0,613 \text{ а.е.}$,
 где R_M – радиус орбиты Меркурия.
4. Орбитальная скорость v_V Венеры равна отношению длины орбиты $2\pi R_V$ к времени обращения T_V :
 $v_V = 2\pi R_V / T_V = (2\pi \cdot 0,723 \text{ а.е.}) / (224,7 \text{ сут}) \approx 0,0202 \text{ а.е./сут} = 35,0 \text{ км/с}$.
 орбитальная скорость v_M Меркурия равна отношению длины орбиты $2\pi R_M$ к времени обращения T_M :
 $v_M = 2\pi R_M / T_M = (2\pi \cdot 0,387 \text{ а.е.}) / (88,0 \text{ сут}) \approx 0,0276 \text{ а.е./сут} = 47,8 \text{ км/с}$.
5. Угловые скорости планет ω_V и ω_M относительно земного наблюдателя определяются отношением скорости планеты относительно Земли к расстоянию до Земли:
 $\omega_V = (v_V - v_Z) / d_V = (35,0 - 29,8) / (0,277 \cdot 149,6 \cdot 10^6) = 1,255 \cdot 10^{-5} \text{ 1/с} = 0,258 \text{ ''/с}$.
 $\omega_M = v_M / d_M = (0,0276 \text{ а.е./сут}) / 0,613 \text{ а.е.} = 0,0730 \text{ 1/сут} = 8,45 \cdot 10^{-7} \text{ 1/с} = 0,174 \text{ ''/с}$.
6. Интенсивность рассеяния света зависит от частоты световой волны.
7. Поэтому коротковолновая часть света (фиолетовая) ослабевает быстрее, а длинноволновая (красная) ослабевает медленнее.
8. Поскольку Солнце уходит за горизонт медленно, то изменение цветовой гаммы освещения неба происходит также постепенно. Изменения гаммы несколько различаются в областях неба к югу и к северу от точки запада, что создает своеобразный цветовой фон неба.
9. В южных регионах страны Солнце уходит за горизонт достаточно быстро, и цветная гамма неба также быстро изменяется.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту оценивается в **1 балл**.

Задание 2. (8 баллов)

Укажите причины океанских приливов. Поясните, почему интервал времени между двумя следующими друг за другом приливами составляет около 13 часов?

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Приливы и отливы есть периодические колебания уровня океана или моря, являющиеся результатом воздействия гравитационных сил Луны и Солнца.

2. Приливообразующая сила Луны больше приливообразующей силы Солнца.
3. Характеристики приливов в основном зависят от взаимного положения Луны и Земли.
4. В первом приближении приливная волна имеет вид двух симметричных выступов (горбов) водной поверхности, ориентированных вдоль линии Земля-Луна.
5. Поэтому в сутки наблюдаются два прилива.
6. Отрезок времени между двумя последовательными приливами определяется с момента прохождения Луной точки верхней кульминации до момента её нижней кульминации.
7. Поэтому интервал между приливами определяется вращением Земли и смещением Луны по орбите вокруг Земли.
8. Поскольку оборот Земли происходит примерно за 24 часа, а Луна за сутки смещается по небосводу примерно на 12.4 градуса, что составляет почти 50 минут, то интервал между приливами приближенно равен 12 часов 25 минут.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту оценивается в **1 балл**.

Задание 3. (8 баллов)

Астроном любитель в бинокль наблюдает тесное соединение Венеры с Марсом. Поясните, какая планета имеет больший видимый диаметр?

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Венера является внутренней планетой.
2. Марс является внешней планетой.
3. При соединении между ними небольшое угловое расстояние.
4. При этом Венера ближе к наблюдателю, а Марс дальше.
5. Поскольку Венера больше Марса и ближе, то её угловой размер будет существенно больше.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту 1 и 2 оценивается в **1 балл**, по пунктам 3-5 – в **2 балла**.

Задание 4. (8 баллов)

Что такое магнитные бури? Поясните причины их возникновения.

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Геомагнитной бурей называют возмущение геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток.
2. Они вызываются поступлением в окрестности Земли возмущённых потоков солнечного ветра.
3. Возмущения солнечного ветра являются следствием выброса значительных масс солнечного вещества при солнечных вспышках.
4. Возмущения солнечного ветра взаимодействуют с магнитосферой Земли и изменяют структуру магнитосферы.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту оценивается в **2 балла**.

Задание 5. (8 баллов)

Хронологически по всемирному времени последовательно зарегистрированы следующие события. Сначала, примерно в 11 часов 00 минут произошло цунами на побережье Юго-Восточной Азии. Затем, в 11 часов 05 минут началось извержение вулкана в Исландии, а в 11 часов 07 минут заметили начало формирования протуберанца на видимой стороне Солнца. Расположите эти события в реальной временной последовательности и объясните, почему их нужно воспринимать в такой последовательности?

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. События в 11 часов 00 минут и 11 часов 05 минут происходят друг за другом на Земле.
2. В 11 часов 07 минут событие регистрируется на Земле, но происходит оно на Солнце.
3. Однако солнечный свет идет к Земле с конечной скоростью 300000 км/с.
4. Расстояние в 1 а.е. свет проходит почти за 8 минут и 19 секунд.
5. Поэтому формирование протуберанца в реальном времени начинается раньше цунами.
6. Итог: сначала протуберанец, затем цунами, и затем вулкан.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту 1-4 оценивается в **1 балл**, пункты 5 и 6 оцениваются в **2 балла**.

Задание 6. (10 баллов)

Представьте, что с Земли наблюдается чрезвычайно редкое явление совместного прохождения Венеры и Меркурия по видимому диску Солнца. По оценкам, ближайший совместный транзит Венеры и Меркурия должен произойти в 69 163 году 26 июля. Объясните, почему это чрезвычайно редкое явление?

Решение задания должно содержать описания или указания следующих обстоятельств.

1. Для наблюдения совместного транзита Венеры и Меркурия по диску Солнца они должны располагаться в пределах пространственного угла, вершиной которого является глаз наблюдателя, а основанием – видимый диск Солнца, диаметр Солнца равен 0,0093 а.е.
2. Поэтому видимое расстояние между планетами не должно превышать видимого углового размера Солнца, который составляет около 32 угловых минут.
3. Плоскость орбиты Меркурия наклонена к плоскости эклиптики под углом 7 градусов, большая полуось орбиты равна 0,387 а.е., что значительно превышает диаметр Солнца.
4. Плоскость орбиты Венеры наклонена к плоскости эклиптики под углом 3 градуса 24 минуты, большая полуось орбиты равна 0,723 а.е., что значительно превышает диаметр Солнца.

5. Вследствие значительных размеров и наклона орбит каждая из планет весьма редко наблюдаются вблизи солнечного диска, что является одним из факторов чрезвычайной редкости рассматриваемого явления.
6. Вторым фактором является орбитальное движение планет, которые не только пространственно, но и во времени должны оказаться в пределах указанного пространственного угла.

Оценка решения задания.

Правильное описание по каждому пункту 1-4 оценивается в **1 балл**, пункты 5 и 6 оцениваются в **3 балла**.