

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2023 / 2024 учебный год)
9-10 классы**

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ

Задание 1. Перечислить планеты Солнечной системы в порядке уменьшения количества спутников. Укажите число спутников каждой планеты.

Решение задания 1. Сатурн 146, Юпитер 95, Уран 27, Нептун 14, Марс 2, Земля 1, Венера и Меркурий – 0.

Оценивание. 8 баллов за правильную последовательность и указание числа спутников у каждой планеты. За каждую ошибку (нарушение последовательности, неверное число спутников) – минус один балл.

Задание 2. Немногим более года назад, 8 ноября 2022, наблюдались сразу два астрономических явления: полное лунное затмение и покрытие Луной планеты Уран. В какой конфигурации находился Уран? Для каких планет Солнечной системы возможно совпадение покрытия Луной и лунного затмения, а для каких – нет, и почему?

Решение задания 2. Лунное затмение возможно только во время полнолуния, при этом Луна находится в противоположной Солнцу точке эклиптики. Уран расположен там же (во время покрытия – за Луной). Значит, планетная конфигурация Урана называется противостояние. Противостояния бывают только у внешних планет – Марса, Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Внутренние планеты никогда не удаляются от Солнца на угол, превышающий элонгацию (18° - 27° для Меркурия, 48° для Венеры).

Оценивание задания. Знание понятий конфигурация, противостояние, полнолуние – 2 балла. Знание понятий внешние и внутренние планеты – 2 балла. Правильный перечень планет, для которых возможно противостояние во время лунного затмения – до 2 баллов, правильный перечень планет, для которых это невозможно – до 2 баллов.

Задание 3. Воображаемый космонавт Сергей на поверхности Меркурия уронил камень массой 1 кг с высоты 1 метр. Воображаемый космонавт Наталья на поверхности Марса уронила камень массой 2 кг с такой же высоты (1 метр). На какой из планет – на Меркурии или на Марсе – камень падал дольше?

Решение задания 3. Продолжительность падения камня при свободном падении не зависит от массы $t^2 = 2h/g$ (1), и определяется ускорением свободного падения на поверхности планеты $g = GM/R^2$, где M – масса планеты, а R – ее радиус. Подставим (2) в (1) и вычислим отношение $t_{\text{Мерк}}^2 / t_{\text{Марс}}^2 = (M_{\text{Марс}} / R_{\text{Марс}}^2) \times (R_{\text{Мерк}}^2 / M_{\text{Мерк}})$. Отсюда $t_{\text{Мерк}} / t_{\text{Марс}} = ((6,419 \times 10^{23} / 3397,2^2) \times (2439,7^2 / 3,302 \times 10^{23}))^{1/2} \approx 1$. Время падения камня примерно одинаково. Это значит, что сила тяжести на поверхности обеих планет тоже одинакова, несмотря на различие в массе (оно компенсируется различием в размерах).

Оценивание. Запись выражения для времени свободного падения камня – 2 балла. Запись выражения для ускорения свободного падения – 2 балла. Вывод отношения значений времени падения на планетах – 2 балла. Правильные вычисления и вывод о примерном равенстве времен падения – 2 балла.

Задание 4. Короткопериодическая комета совершает оборот вокруг Солнца за 1 год. Чему равно ее максимально возможное расстояние от Солнца и максимально возможный эксцентриситет орбиты?

Решение задания 4. Поскольку период обращения вокруг Солнца кометы равен периоду обращения Земли, то, по третьему закону Кеплера, большая полуось орбиты кометы должна быть равна большой полуоси орбиты Земли (астрономической единице) $a = 149\,957\,871$ км. Большая полуось есть полусумма расстояний от центра Солнца в перигелии и афелии (т.е. наименьшего и наибольшего расстояний, соответственно):

$$a = (r_p + r_a) / 2.$$

Минимальное расстояние от Солнца не может быть меньше радиуса Солнца $R_C = 696342$ км, поскольку иначе комета врезалась бы в Солнце. Отсюда ответ на первый вопрос задачи: $r_a = 2a - R_C = 299219400$ км. Эксцентриситет эллипса равен отношению разности расстояний в афелии и перигелии к большой оси:

$$e = \frac{r_a - r_p}{2a},$$

отсюда максимальное значение эксцентриситета $e = 0,995$.

Оценивание задания. За вывод о равенстве большой полуоси кометы одной астрономической единице на основе III закона Кеплера – 2 балл. За выражение большой полуоси через сумму расстояний от центра Солнца в перигелии и афелии – 1 балл. За догадку, что минимальное расстояние от Солнца не может быть меньше радиуса Солнца – 2 балла. За выражение эксцентриситета через разность расстояний в афелии и перигелии и большую ось орбиты – 1 балл. За правильные вычисления максимального расстояния – 1 балл. За правильные вычисления эксцентриситета – 1 балл.

Задание 5. На небе видны две звезды – А (самая яркая в созвездии Лиры) и В (самая яркая в созвездии Орла). Откуда звезда В выглядит ярче – с Земли или от звезды А? Расстояние от Солнца до звезды А – 25,3 световых года, от Солнца до звезды В – 16,8 световых года. Угловое расстояние между звездами на небе 2050 угловых минут.

Решение задания 5. А – звезда Вега, В – звезда Альтаир. Расстояние между Вегой и Альтаиром определяется по теореме косинусов $r = (r_a^2 + r_b^2 - 2r_a r_b \cos \alpha)^{1/2}$, где $\alpha = 2050' / 60' = 34,17^\circ$. Получим $r \approx 14,8$ световых лет. Значит, от звезды А (Веги) звезда В (Альтаир) выглядит ярче, чем с Земли. Поскольку блеск звезды убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, Альтаир будет светить ярче в $(16,8 / 14,8)^2 \approx 1,3$ раза из окрестностей Веги, чем с Земли.

Оценивание. Знание, что самая яркая звезда в созвездии Лиры – Вега, а самая яркая звезды в созвездии Орла – Альтаир, – до 2 баллов. Применение теоремы косинусов – до 2 баллов. Определение отношения блесков звезд по расстояниям – до 2 баллов. Правильность вычислений – до 2 баллов.

Задание 6. Суточный параллакс Солнца – $8,79''$, годичный параллакс Сириуса – $0,38''$. Во сколько раз Сириус дальше Солнца?

Решение задания 6. При определении суточного параллакса для Солнца за базис принимается экваториальный радиус Земли 6378 км. При определении годичного параллакса для звезд за базис принимается радиус земной орбиты, равный 1 а.е. = $149,6 \cdot 10^6$ км. Найдем отношение

базисов и масштабов: $8.79 / 0,23 \approx 23$; $149,6 \cdot 10^6 / 6378 \approx 23456$. Можно считать, что Сириус примерно в $23 \times 23456 \approx 540\,000$ раз дальше Солнца.

Другой способ: если участник олимпиады знает, что 1 парсек = 206265 а.е., то расстояние до Сириуса $1 / 0,38'' \approx 2,63$ парсек. Тогда расстояние до Сириуса, выраженное в а.е., $206263 \times 2,63 \approx 540\,000$.

Оценивание. Понимание сущности суточного параллакса – до 2 баллов. Понимание сущности годового параллакса – до 2 баллов. Определение отношения расстояний, независимо от метода – до 2 баллов. Правильность вычислений – до 2 баллов.

Справочные данные:

1 а.е. = $149,6 \cdot 10^6$ км

Меркурий: масса $3,302 \cdot 10^{23}$ кг, радиус 2439,7 км

Земля: масса $5,972 \cdot 10^{24}$ кг, радиус 6378 км

Марс: масса $6,419 \cdot 10^{23}$ кг, радиус 3397,2 км