

# Памятка к решениям

Далее размещены решения задач школьного этапа и критерии для проверки.

За каждую задачу выставляется от 0 до 8 баллов, критерии выставления баллов приведены после решения каждой из задач. В критериях оценивания указаны баллы за отдельные этапы задачи, если соответствующий этап выполнен частично (не полностью, с ошибками), за него может быть выставлена часть баллов на усмотрение проверяющего. Возможна ситуация, когда какой-то промежуточный этап решения в работе участника отсутствует, однако из дальнейшего хода решения следует, что участник выполнил этот этап и воспользовался его результатами — в этом случае этап также следует засчитывать.

Несмотря на то, что задачи общие для групп 5–7 и 8–9 классов, подведение итогов тура производится отдельно по каждому классу. Победителями этапа признаются участники, набравшие 16 баллов и более, призерами — набравшие 8–15 баллов, к участию в районном этапе олимпиады допускаются **все**, набравшие не менее 8 баллов. В случае необходимости (при низких в целом результатах участников или наличии явных разрывов в итоговом рейтинге, не совпадающих с предлагаемыми границами) указанные выше минимальные баллы могут быть **уменьшены** (в пределах одного района).

**Категорически запрещается** устанавливать какие-либо квоты на число победителей, призеров и приглашенных на следующий этап из одной школы или одного класса.

## 5–7 классы — решения

1. Сопоставьте объекты из верхнего ряда объектам из нижнего ряда:

Земля	Солнце	Марс	Юпитер
Каллисто	Луна	Деймос	Сатурн

*Решение.* Можно заметить, что в нижнем ряду находятся три спутника планет и одна планета, при этом в верхнем ряду находятся три планеты и Солнце, т.е. в нижнем ряду находятся спутники объектов из верхнего ряда. Тогда верным будет такое сопоставление:

Земля	Солнце	Марс	Юпитер
Луна	Сатурн	Деймос	Каллисто

*Оценивание.* Каждая правильно указанная пара оценивается в 2 балла.

2. В спиральной галактике М61 начиная с 1926 года и по 2008 год было зафиксировано шесть вспышек сверхновых. Если считать, что сверхновые в этой галактике вспыхивают через равные промежутки времени, то в каком году следует ожидать очередную вспышку?

*Решение.* Рассчитаем, за какое время (в среднем) происходит одна вспышка в этой галактике:  $(2008 - 1926)/6 = 13.7$  лет. Таким образом, следующую вспышку следует ожидать в  $2008 + 13.7 = 2021 \div 2022$  году.

Разумеется, сверхновые в галактиках не «договариваются» между собой, когда какая должна вспыхнуть, поэтому важно наблюдать за каждой галактикой постоянно, чтобы точно не пропустить ни одного интересного события.

*Оценивание.* Расчет периода вспышек оценивается в 4 балла. Подсчет итогового ответа — еще в 4 балла. За не очень грубую арифметическую ошибку снимается 1 балл, за грубую — 2 балла.

3. Уран сейчас находится в созвездии Овна. В какое время суток его лучше всего наблюдать? Обязательно поясните свой ответ.

*Решение.* Солнце сейчас находится вблизи точки осеннего равноденствия, т.е. в созвездии Девы. В созвездии Овна Солнце бывает весной, так что сейчас оно располагается в примерно противоположной Солнцу точке неба. Следовательно, Уран, находящийся в Овне, будет восходить вечером, когда Солнце заходит, и заходить утром, когда Солнце восходит. Таким образом, его можно наблюдать всю ночь.

*Оценивание.* Указание, что в созвездии Овна Солнце бывает весной, оценивается в 2 балла. Вывод о том, что Уран находится примерно в противоположной Солнцу точке неба — еще в 2 балла. Рассуждения про восход и заход Урана, подобные приведенным в решении, оцениваются в 2 балла. Вывод о том, что Уран наблюдается всю ночь — еще в 2 балла.

За ответ «ночью» без обоснования выставляется 3 балла.

## 8–9 классы — решения

1. Сейчас Сатурн находится в созвездии Стрельца. В какое время суток его лучше всего наблюдать? Поясните свой ответ.

*Решение.* В созвездии Стрельца Солнце бывает зимой, т.е. сейчас оно расположено примерно на  $90^\circ$  (четверть круга) к востоку от Солнца. Когда Солнце будет заходить за горизонт в точке запада, планета будет на юге. В истинную полночь, когда Солнце максимально опустится под горизонт,

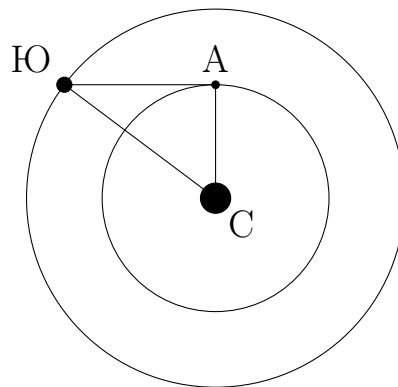
планета будет вблизи горизонта на западе. Следовательно, наблюдать планету можно вечером и в начале ночи.

*Оценивание.* Указание, что в созвездии Стрельца Солнце бывает зимой, оценивается в 2 балла. Вывод о том, что Сатурн находится примерно на  $90^\circ$  к востоку от Солнца — еще в 3 балла. Рассуждения про положение Сатурна на небе, подобные приведенным в решении, оцениваются в 2 балла. Вывод о том, что Сатурн наблюдается вечером — еще в 1 балла.

За ответ «вечером» без обоснования выставляется 2 балла. За ответ «ночью» без обоснования выставляется 1 балл.

2. Астероид обращается по круговой орбите вокруг Солнца. Радиус его орбиты составляет 3 астрономические единицы (а.е.). Определите расстояние от астероида до Юпитера, если угол между Солнцем и Юпитером при наблюдении с астероида составляет  $90^\circ$ . Радиус орбиты Юпитера считать равным 5 а.е.

*Решение.* Как видно из условия, Солнце, Юпитер и астероид образуют прямоугольный треугольник (подобная ситуация называется квадратурой) с гипотенузой, равной 5 а.е. и одним известным катетом (3 а.е.). Второй катет (искомое расстояние) находится по теореме Пифагора: 4 а.е. Треугольник с такими сторонами еще называют египетским.



*Оценивание.* Верное понимание условия задачи, изложенное в виде текста или в виде рисунка, оценивается в 6 баллов. Расчет расстояния (или просто утверждение, что в таком треугольнике катет равен 4) оценивается еще в 2 балла.

3. Современный радиус Солнца составляет примерно  $1/200$  а.е., а когда Солнце станет красным гигантом, его радиус достигнет 0.4 а.е. Во сколько раз при этом изменится средняя плотность Солнца по сравнению с нынешней? Если сейчас угловой диаметр диска Солнца для наблюдателя с Сатурна равен  $3'$ , каким он окажется, когда Солнце станет красным гигантом? Выразите результат в градусах.

*Решение.* Став красным гигантом, Солнце увеличит свой радиус в  $0.4 \cdot 200 = 80$  раз. Поскольку масса его при этом существенно не изменится, плотность уменьшится во столько же раз, во сколько увеличится объем, т.е. в  $80^3 \approx 500$  тысяч раз.

Угловой диаметр диска Солнца при наблюдении с Сатурна возрастет во столько же раз, во сколько возрастет линейный радиус Солнца, и составит  $3' \cdot 80 = 240' = 4^\circ$ .

*Оценивание.* Правильное вычисление отношения радиусов оценивается 2 баллами. Вывод о том, что плотность обратно пропорциональна кубу радиуса — 2 балла, получение правильного отношения плотностей — 1 балл. Вывод о том, что угловой размер диска пропорционален радиусу Солнца — 1 балл, вычисление углового размера в угловых минутах — 1 балл, правильный перевод результата в градусы — 1 балл.

## 10 класс — решения

1. Янус движется по окружности радиусом 150 тыс. км. вокруг Сатурна. Определите максимальное угловое расстояние между центром Сатурна и Янусом для земного наблюдателя в момент противостояния (противостояние — это такое положение планеты относительно Земли, при котором она оказывается в противоположной Солнцу точке неба). Радиус орбиты Сатурна равен 10 а.е., где 1 а.е. = 150 млн. км.

*Решение.* В момент противостояния расстояние между Землей и Сатурном составляет  $10 - 1 = 9$  а.е. Искомое угловое расстояние можно вычислить из треугольника Земля — Сатурн — Янус. Очевидно, этот угол будет очень мал, так что можно воспользоваться приближением  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$ , если  $\alpha$  выражен в радианах (расстояния подставляем в километрах):

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{150 \times 10^3}{9 \times 150 \times 10^6} \approx 10^{-4} \text{ радиан.}$$

Если вспомнить, что 1 радиан равен  $206265''$ , то искомый угол составляет  $20''$ .

*Оценивание.* Верное понимание геометрии ситуации оценивается 4 баллами. Вычисление угла между Сатурном и Янусом (любым способом) — еще 4 балла.

2. В некоторый момент Луна в фазе первой четверти оказалась в созвездии Ориона. Известно, что примерно через неделю после этого состоялось некое примечательное астрономическое явление. Какое? Свой ответ поясните.

*Решение.* Созвездие Ориона не находится на эклиптике, так что Луна, находясь в нем, находится максимально далеко от плоскости эклиптики. Следовательно, через неделю Луна окажется на эклиптике или очень близко к ней (вблизи узла своей орбиты). В то же время она примет фазу полнолуния. Тем самым создаются все необходимые условия для наступления лунного затмения. Очевидно, оно и произошло.

*Оценивание.* Вывод, что Луна в Орионе располагается максимально далеко от эклиптики, оценивается 2 баллами. Вывод, что через неделю она окажется вблизи узла — 2 баллами. Вывод, что через неделю наступит полнолуние — 2 баллами. И последние 2 балла выставляются за вывод о том, что произошло лунное затмение.

3. Труба 26-дюймового телескопа-рефрактора Пулковской обсерватории имеет длину 10.4 метра и вращается вокруг оси, проходящей через центр трубы. Во время наблюдений некоторой звезды телескоп поворачивается так, чтобы он все время оставался наведенным на эту звезду. Какими во время наблюдений будут минимально возможная и максимально возможная скорости движения конца трубы телескопа относительно оси?

*Решение.* Телескоп должен вращаться так, чтобы оставаться неподвижным относительно звезд, т.е. его вращение должно компенсировать вращение Земли. При этом минимальной возможной скоростью, очевидно, будет нулевая — если телескоп наведен точно на северный полюс мира, а максимальной — скорость, которая потребуется при наблюдении звезды на небесном экваторе. В последнем случае конец трубы телескопа движется по окружности радиусом  $R = 5.2$  м (половина длины трубы) и совершает один оборот за сутки (более точно — за звездные сутки, примерно за 23 часа 56 минут, однако разницей между солнечными и звездными сутками при решении можно пренебречь). Следовательно, скорость движения конца трубы составляет  $2\pi R/T = 2 \cdot 3.1 \cdot 5.2 \approx 32$  метра в сутки, т.е. примерно 1.3 м/час или 2.2 см в минуту.

*Оценивание.* Вывод о том, что вращение телескопа — компенсация вращения Земли, оценивается 3 баллами (эти баллы выставляются и в том случае, если вывод явно не сформулирован, но используется в дальнейшем решении). Понимание того, что максимальная скорость будет достигнута при наблюдении звезды на небесном экваторе (формулировки могут быть разными: участник может, например, написать, что максимальная угловая скорость вращения равна угловой скорости вращения Земли) — 2 балла. Вычисление максимальной скорости — 2 балла (при арифметических ошибках — 1 балл), утверждение, что минимальная скорость равна нулю — 1 балл.

## 11 класс — решения

1. Некоторая звезда имела видимую звездную величину  $4^m$ . Через несколько миллионов лет на прямой между звездой и наблюдателем оказалось плотное газопылевое облако, из-за чего к наблюдателю стала приходить лишь  $1/100$  прежнего излучения от звезды. Предположив, что глаз наблюдателя устроен так же, как и человеческий, определите, будет ли звезда доступна для наблюдения невооруженным глазом.

*Решение.* Звезда стала выглядеть слабее в 100 раз. Уменьшение блеска в 100 раз соответствует увеличению звездной величины на  $5^m$ , тогда звезда будет иметь видимую звездную величину

$$m = m_0 + 5 = 9^m.$$

Человеческий глаз видит звезды до  $5^m \div 6^m$ , то есть первоначально не очень заметная звезда стала из-за поглощения света совсем недоступной для наблюдения без телескопа.

*Оценивание.* Понимание того, что блеск звезды ослабнет в 100 раз, оценивается 2 баллами. Понимание того, что при этом ее звездная величина увеличится на  $5^m$ , стоит 2 балла. Вычисление новой видимой звездной величины — 1 балл. Знание того, что невооруженному глазу доступны звезды 6 величины, стоит 2 балла. За формулировку окончательного ответа выставляется еще 1 балл.

2. Какое тело (Земля или Солнце) сильнее «тащит» Луну в момент полного солнечного затмения и во сколько раз? Расстояние от Солнца до Земли  $r \approx 1$  а.е. (астрономическая единица). Масса Солнца  $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$  г. Масса Земли  $M_\oplus = 6 \cdot 10^{27}$  г. Расстояние от Земли до Луны  $R \approx 1/400$  а.е.

*Решение.* В этот момент три тела находятся практически на одной прямой.

Сила, с которой «тащит» Солнце, равна

$$F_\odot = \frac{GM_\odot m_\zeta}{(r - R)^2},$$

Земля —

$$F_\oplus = \frac{GM_\oplus m_\zeta}{R^2}$$

Отношение сил:

$$\frac{F_\odot}{F_\oplus} = \frac{M_\odot \cdot R^2}{(r - R)^2 \cdot M_\oplus} \approx \frac{M_\odot}{M_\oplus} \cdot \frac{R^2}{r^2} \approx \frac{2 \cdot 10^{33}}{6 \cdot 10^{27}} \cdot \left(\frac{1}{400}\right)^2 \approx 2.$$

Следовательно, Солнце «тащит» примерно в 2 раза сильнее.

*Оценивание.* Понимание геометрии ситуации стоит 1 балл. Запись выражения для силы, с которой Луну притягивает Солнце, оценивается 2 баллами, Земля — также 2 баллами. Вычисления стоят 2 балла. За формулировку окончательного ответа («Солнце, в 2 раза») выставляется еще 1 балл.

3. Планета Нептун обращается вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 30 а.е. Комета Гершель–Риголе обращается вокруг Солнца с тем же периодом, что и Нептун, но иногда оказывается ближе к Солнцу, чем Земля. Оцените максимальное расстояние от Солнца, на котором может оказаться комета Гершель–Риголе?

*Решение.* Поскольку периоды обращения Нептуна и кометы одинаковы, то это означает, что большие полуоси орбит у них также одинаковы (по III закону Кеплера). Однако, поскольку минимальное расстояние от кометы до Солнца мало (из условия следует, что оно меньше 1 а.е.), то это означает, что орбита кометы очень сильно вытянута и представляет собой практически отрезок с длиной, равной большой оси, в одном из концов которого находится Солнце. Следовательно, максимальное расстояние от кометы до Солнца составляет около 60 а.е.

*Оценивание.* Вывод о равенстве больших полуосей орбит кометы и Нептуна — 4 балла. Вывод о том, что орбита кометы сильно вытянута и Солнце находится рядом с одним из ее «концов» (или указание, что большая ось орбиты равна сумме расстояний в перигелии и в афелии) — 3 балла. Итоговый ответ — 1 балл.