

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.

Несмотря на то, что задачи общие для групп 4–7 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 результатах участников) 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.

4–7 классы — решения

1. Разделите восемь астрономических объектов на пары и обоснуйте свое решение: Альдебаран, Пояс астероидов, Венера, Млечный Путь, Туманность Андромеды, Уран, Канопус, Пояс Койпера.

Решение. Пары выглядят так:

- Альдебаран и Канопус — звезды;
- Венера и Уран — планеты;
- Млечный Путь и Туманность Андромеды — галактики;
- Пояс астероидов и Пояс Койпера — части Солнечной системы, состоящие из малых тел.

Оценивание. За каждую правильно указанную пару выставляется 1 балл. За каждое пояснение также 1 балл.

2. Во сколько раз больше проходит Земля за год по своей орбите радиусом 150 млн. км вокруг Солнца, чем человек, идущий непрерывно столько же времени?

Решение. Можно вспомнить орбитальную скорость Земли (30 км/с) и перевести ее в км/ч (получится 108 тыс. км/ч), а затем разделить

на скорость пешехода (5 км/ч). Получится ответ: примерно в 20000 раз. Второй возможный вариант — вычислить длину земной орбиты и разделить ее на количество часов в году, получив тем самым скорость Земли в км/ч, а затем найти отношение скоростей.

Оценивание. Вычисление скорости Земли в км/ч оценивается 5 баллами, из которых 3 ставятся за вычисление длины окружности орбиты (или за упоминание известного значения орбитальной скорости) и 2 — за вычисление продолжительности года в часах (или перевод уже известной скорости в км/ч). Разумная оценка скорости пешехода (не обязательно совпадающая с авторской) стоит 1 балл, еще 2 балла выставляется за получение окончательного ответа (также, возможно, несколько отличающегося от авторского). Если некоторое действие выполнено идейно правильно, но при вычислениях допущены арифметические ошибки, не делающие результат очевидно нелепым, оценка за это действие снижается на 1 балл.

3. В какие дни года высота Солнца в полдень наибольшая? Наименьшая? В какие дни года день равен ночи? Как называются все эти дни?

Решение. 22 июня — день летнего солнцестояния; 22 декабря — день зимнего солнцестояния; 21 марта и 23 сентября — дни весеннего и осеннего равноденствий.

Оценивание. За каждую правильно указанную дату и за каждый правильно названный день участник получает по 1 баллу. Даты, отличающиеся на ± 1 день от указанных, являются верным ответом.

8–9 классы — решения

1. Известно, что 2 июля 2019 года произойдет полное солнечное затмение. Оцените, какой будет фаза Луны в день зимнего солнцестояния в 2018 году.

Решение. Зимнее солнцестояние происходит 21 или 22 декабря, поэтому первое, что нужно сделать — определить примерное время в сутках, прошедшее между солнцестоянием и затмением. Можно аккуратно пересчитать дни по месяцам, можно заметить, что это примерно полгода и еще 10 суток, и получить результат — примерно 192 дня.

Поскольку синодический месяц (период смены фаз Луны) равен 29.5 суток, найдем, сколько синодических месяцев укладывается в этот интервал: $192/29.5 \approx 6.5$. Так как во время солнечного затмения Луна находится в новолунии, это означает, что во время зимнего солнцестояния 2018 года фаза Луны будет противоположной — она будет в полнолунии.

Оценивание. Указание даты зимнего солнцестояния (не обязательно точное, достаточно в виде «начало 20-х чисел декабря») оценивается 1 баллом. Вычисление интервала времени, прошедшего между солнцестоянием и затмением (с возможной погрешностью ± 2 суток) — 2 балла. Указание продолжительности синодического месяца (в пределах 29–30 суток) — 2 балла. Указание, что во время солнечного затмения Луна находится в новолунии — 2 балла. Формулировка окончательного ответа — 1 балл.

Если участник в качестве продолжительности синодического месяца использует 30 или 31 сутки без обоснования, 2 балла за продолжительность месяца не выставляются.

2. На какое угловое расстояние от Солнца может удалиться Земля для наблюдателя на Марсе, если радиус орбиты Марса равен 1.5 а.е.?

Решение. Поскольку 1 а.е. — это радиус орбиты Земли, то максимальное угловое расстояние — это угол в прямоугольном треугольнике, в котором гипотенуза имеет длину 1.5, а противолежащий катет — 1 а.е. Тем самым требуется найти $\arcsin \frac{2}{3} \approx 40^\circ$. Это можно сделать с помощью калькулятора или считая угол достаточно малым для того, чтобы его синус равнялся ему самому в радианах, а также просто путем измерения угла транспортиром на чертеже (или иной его оценки по чертежу).

Оценивание. Утверждение, что радиус орбиты Земли равен 1 а.е. (или неявное использование этого факта) оценивается 2 баллами. Словесное описание взаимного положения Солнца, Земли и Марса в требуемой ситуации (или построение чертежа) — 3 балла. Получение угла любым возможным способом — 3 балла, при этом в случае использования приближенных вычислений или оценки по чертежу погрешность в $5^\circ - 10^\circ$ считается допустимой.

3. Среднее расстояние от Луны до Земли равно 384 тыс.км, а от спутника Диона до планеты Сатурн — 377 тыс. км. У какого из спутников период обращения вокруг планеты больше и почему?

Решение: Луна и Диона обращаются по орбитам вокруг центральных тел с существенно разной массой, поэтому для решения задачи нужно воспользоваться III обобщенным законом Кеплера. Поскольку средние расстояния спутников от планет практически одинаковы, а масса Сатурна намного (в 10^2 раз) больше массы Земли, из этого закона следует, что период обращения Дионы должен быть существенно меньше, чем период обращения Луны (примерно в 10 раз).

Оценивание. Использование III закона Кеплера (можно в виде пропорциональности) или решение задачи о связи периода движения по окружности с массой центрального тела оценивается 4 баллами.

Утверждение, что масса Сатурна существенно превышает массу Земли — 3 балла. Формулировка окончательного ответа — 1 балл.

10 класс — решения

1. Во время гамма-всплеска GRB 090429B выделилась энергия 3.5×10^{52} эрг. Светимость Солнца составляет 3.8×10^{33} эрг/с. Сможет ли Солнце за время своего существования высветить столько же энергии?

Решение. Оценим время высвечивания такой энергии Солнцем: $3.5 \times 10^{52} / 3.8 \times 10^{33} = 9.2 \cdot 10^{18}$ с. Переведем в годы: $9.2 \cdot 10^{18} / 3.16 \cdot 10^7 = 2.9 \cdot 10^{11}$ лет или 290 млрд лет. Время жизни звезд типа Солнца составляет около 10 млрд лет, т.е. не сможет.

Оценивание. Оценка времени высвечивания в секундах оценивается 2 баллами. Перевод из секунд в годы — 2 балла. Правильная оценка времени существования Солнца (в пределах от 5 до 20 млрд лет) — 3 балла, формулировка окончательного ответа — 1 балл. Действия по переводу эргов в джоули не требуются и сами по себе не оцениваются.

2. Оцените газовое давление в фотосфере Солнца и выразите его в атмосферах, если известно, что температура газа составляет $6 \cdot 10^3$ К, а плотность газа составляет 10^{-7} г/см³.

Решение. Требуется воспользоваться уравнением состояния идеального газа в каком-либо виде, например $p = \frac{R}{\mu} \rho T$ и учесть, что фотосфера Солнца в основном состоит из атомарного водорода, т.е. $\mu \approx 1$ г/моль. Отсюда $p = 5 \cdot 10^3$ Па. Поскольку давление на поверхности Земли составляет 10^5 Па, то $p = 0.05$ атм.

Оценивание. Запись уравнения состояния идеального газа — 1 балл, правильная оценка молярной массы вещества фотосферы — 3 балла (если участник использует величину 2 г/моль, за этот этап решения ставится 2 балла). Правильное вычисление давления в фотосфере в паскалях (или динах на квадратный сантиметр и т.п.) — 2 балла. Знание (или вычисление) атмосферного давления — 1 балл, окончательный ответ — 1 балл.

3. Перигелий орбиты короткопериодической кометы находится на расстоянии 1 а.е. от Солнца, а афелий — на расстоянии 7 а.е. от Солнца. Чему равен период обращения кометы вокруг Солнца?

Решение: Большая полуось орбиты $a = \frac{r_{\pi} + r_{\alpha}}{2} = 4$ а.е. Воспользовавшись III законом Кеплера в простой форме $P^2 = a^3$, где период выражен в годах, а большая полуось — в а.е., получим, что период $P = 8$ лет.

Оценивание. Получение большой полуоси орбиты — 3 балла. Запись III закона Кеплера (или аналогичного утверждения, полученного для круговых орбит) — 2 балла. Вычисление периода — 3 балла. Перевод промежуточных и окончательного результатов в метрические единицы сам по себе не оценивается, однако при появлении при этом арифметических ошибок за соответствующий этап снимаются баллы (от 1 — в случае, если допущенная ошибка привела к получению неверного, но правдоподобного ответа, до 3 — если в результате ответ стал явно нелепым).

11 класс — решения

1. В двойном пульсаре массы компонентов равны и составляют 1.3 массы Солнца каждая, а орбитальный период системы равен 2.6 часа. Найдите большую полуось системы.

Решение. Если массы компонент системы \mathfrak{M}_1 и \mathfrak{M}_2 выражены в массах Солнца, орбитальный период P — в годах, а большая полуось a — в астрономических единицах, то III закон Кеплера имеет вид

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2}.$$

Переведем 2.6 часа в годы, получим $P = \frac{2.6}{365.25 \cdot 24} = 3 \cdot 10^{-4}$ года. Отсюда

$$a = \sqrt[3]{2.6 \cdot (3 \cdot 10^{-4})^2} = \sqrt[3]{234 \cdot 10^{-9}} \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ а.е.}$$

Оценивание. Схема оценивания задачи различается в зависимости от того, какие единицы измерения использует участник. В том случае, если решение следует авторскому, 3 балла выставляется за формулировку III закона Кеплера, 2 балла — за перевод орбитального периода в годы, 3 балла — за вычисление итогового ответа.

Если же участник использует метрические единицы, то 3 баллами оценивается формулировка III закона Кеплера в общем виде ($\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)}$), 2 балла — за знание (или вычисление) массы Солнца, 3 балла — за вычисление итогового ответа ($9 \cdot 10^8$ м).

2. Две одинаковых галактики имеют интегральные звездные величины $m_1 = +8^m$ и $m_2 = +18^m$. Какая из галактик находится дальше от нас? Во сколько раз одна из галактик дальше другой?

Решение. Чем больше видимая звездная величина, тем слабее объект, и, поскольку галактики одинаковые, дальше находится вторая галактика (у которой звездная величина больше). Известно, что изменение на 5^m

соответствует изменению освещенности, создаваемой объектом, в 10^2 раз, т.е. освещенность от второй галактики в 10^4 раз меньше, чем от первой. Поскольку освещенность от одинаковых объектов обратно пропорциональна квадрату расстояния до них, вторая галактика в 10^2 раз дальше, чем первая.

Оценивание. Обоснованный ответ на вопрос, какая из галактик дальше — 2 балла. Переход от видимых звездных величин к освещенностям (как в авторском решении или с использованием формул) — 2 балла. Утверждение о том, что освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния — 2 балла. Вычисление ответа на второй вопрос — 2 балла.

3. Звезда удаляется от Солнца со скоростью 300 км/с. На какой длине волны будет видна в спектре звезды линия, имеющая лабораторную длину волны 656.3 нм?

Решение:

Воспользуемся формулой эффекта Доплера

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}.$$

Поскольку скорость удаления в 10^3 раз меньше скорости света, $\Delta\lambda \approx 0.65$ нм и наблюдаемая длина волны увеличивается по сравнению с лабораторной, $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda = 657.0$ нм.

Оценивание.

Запись формулы эффекта Доплера — 3 балла. Знание (или неявное использование) величины скорости света — 1 балл. Указание (или неявное использование), что при удалении источника наблюдаемая длина волны увеличивается — 2 балла. Вычисление итогового результата — 2 балла (эти баллы выставляются и в том случае, если участник перепутал красное и фиолетовое смещение).