

**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии
(2019 / 2020 учебный год)**

10-11 классы

Ответы и решения

Рекомендуется оценивать решение по 8-балльной системе (от 0 до 8). Оценка за каждую из задач должна выражаться целым числом баллов. При оценивании решения необходимо уделять внимание не столько ответу участника олимпиады и его соответствию правильному ответу, сколько ходу решения, степени понимания участником сути картины, описанной в условии задачи, правильности и обоснованности физических и логических рассуждений. При отсутствии понимания ситуации и логической связанности решения оценка не может превышать 2-3 баллов даже при формально правильном ответе. При этом члену жюри необходимо учитывать то, что некоторые из задач имеют несколько верных способов решения, обоснованно приводящих к правильному ответу, и использование иного способа, чем приведенный в решении, необходимо отличать от неверного решения. С другой стороны, арифметические ошибки, приводящие к неверному ответу, не должны быть основанием для снижения оценки более чем на 1-2 балла, если только ответ не получается заведомо неверный, абсурдный с точки зрения понимания физики явления и просто здравого смысла. В последнем случае оценка может быть существенно снижена в зависимости от абсурдности ответа, не замеченной участником олимпиады.

* * *

Задание 1. К заданию приложен участок «слепой» карты звездного неба. Найдите и отметьте на карте следующие звезды: Альдебаран, Бетельгейзе, Вега, Денеб, Капелла, Кастор, Поллукс, Полярная.

Решение. Звезды отмечены на карте к ответу на задание.

Система оценивания. За каждую правильно указанную звезду выставляется по 1 баллу.

Задание 2. В приведенном списке выберите те названия небесных объектов, которые относятся к Солнечной системе: Альбирео, Амальтея, Беллатрикс, Краб, Паллада, Проксима, Прочион, Тритон, Хирон, Цефей. Объекты какого типа скрываются за этими названиями (например, Луна – спутник и т.п.)?

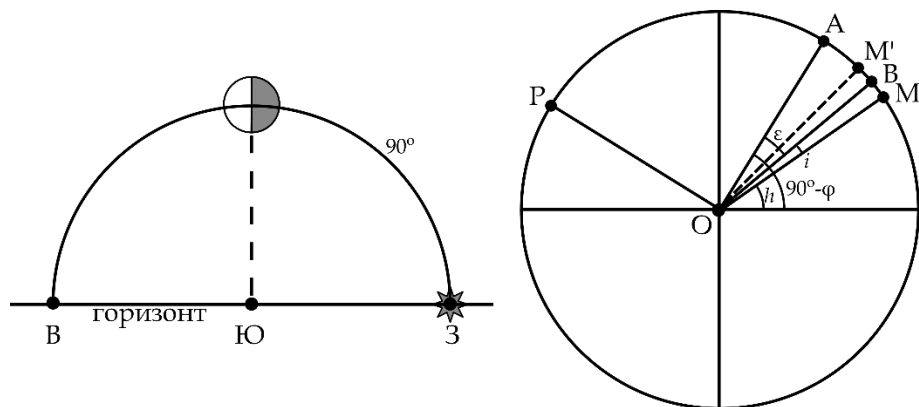
Решение. К Солнечной системе относятся: Амальтея (спутник), Паллада (астероид), Тритон (спутник), Хирон (астероид).

Система оценивания. За каждое правильное название выставляется по 1 баллу. За каждое указание типа объекта – по 1 баллу.

Задание 3. Луна наблюдается в Иркутске в форме полумесяца на юге, при этом терминатор (отрезок, разделяющий светлое и темное полушария) направлен вертикально, а освещенная часть обращена направо. Наблюдение производится осенью. На какой высоте над горизонтом расположена Луна? Параллаксом Луны можно пренебречь, географическая широта Иркутска составляет $\varphi = 52^{\circ}16'$.

Решение. Луна кульминирует и видна в фазе первая четверть, следовательно, расстояние между Луной и Солнцем на небе составляет 90° (рисунок слева). Солнце и Луна находятся на

небе на одном большом круге, проходящем перпендикулярно терминатору. Поскольку терминатор перпендикулярен горизонту, этот большой круг пересекает небесный меридиан под прямым углом. Следовательно, Солнце находится точно в точке запада. Такая ситуация возможна только в дни равноденствий. Поскольку в условии сказано, что дело происходит осенью, наблюдение производится в день осеннего равноденствия.



В день осеннего равноденствия, когда эклиптика проходит ниже небесного экватора (рисунок справа). Точка верхней кульминации экватора находится на высоте $90^\circ - \varphi$, точка верхней кульминации эклиптики – на высоте $90^\circ - \varphi - \varepsilon$, где $\varepsilon = 23^\circ 26'$ – угол наклона эклиптики к экватору. Луна может находиться в пределах угла $i = 5^\circ 09'$ от эклиптики, поэтому высота Луны над горизонтом составляет

$$90^\circ - \varphi - \varepsilon - i < h < 90^\circ - \varphi - \varepsilon + i.$$

Отсюда получаем окончательный ответ: от $9^\circ 08'$ до $19^\circ 27'$.

Система оценивания. За использование факта, что угловое расстояние между Луной и Солнцем на небе составляет 90° – 1 балл. За указание, что наблюдение производится в день осеннего равноденствия – 2 балла. За правильное вычисление точки верхней кульминации эклиптики – 2 балла. За правильный ответ в общем виде – 2 балла. За правильные вычисления – 1 балл.

Задание 4. Карликовая планета Плутон движется по орбите с большой полуосью $a=39,5$ астрономических единиц и эксцентриситетом $e=0,25$. Радиус Плутона составляет $R=1187$ км. Каким должен быть диаметр объектива телескопа, чтобы с Земли можно было различить диск Плутона? Наклоном орбиты Плутона к плоскости эклиптики можно пренебречь, орбиту Земли считать круговой.

Решение. Минимальное расстояние Плутона от Солнца составляет $r = a(1 - e) = 29,6$ а.е. Поскольку плоскости орбит Плутона и Земли совпадают, то минимальное расстояние от Земли составляет $\Delta r = r - 1 = 28,6$ а.е. Максимальный угловой диаметр при наблюдении с Земли равен

$$\delta = \frac{2R}{\Delta r} \cdot 206265'' = 0,11''.$$

Чтобы диск такого углового диаметра можно было различить в телескоп, должно выполняться условие $\delta > d$, где d – дифракционный предел телескопа, вычисляемый по формуле

$$d = 14''/D,$$

где величина d вычисляется в секундах дуги, диаметр объектива D – в сантиметрах. Отсюда находим, что диаметр объектива должен удовлетворять условию

$$D > 14''/\delta,$$

то есть диаметр телескопа должен превышать 127 см. Это и есть окончательный ответ на вопрос задачи.

Система оценивания. За вычисление минимального расстояния Плутона от Солнца (в общем виде) – 1 балл. За вычисление минимального расстояния Плутона от Земли (в общем виде) – 1 балл. За вычисление максимального углового диаметра Плутона с Земли (в общем виде) – 1 балл. За указание, что угловой диаметр должен превышать дифракционный предел телескопа – 1 балл. За вычисление дифракционного предела телескопа (в общем виде) – 2 балла. За правильный ответ – 2 балла.

Задание 5. Спутник совершает один оборот вокруг Земли ровно за 24 часа. Орбита спутника лежит в плоскости экватора. Как часто можно наблюдать этот спутник в зените в данном пункте земной поверхности?

Решение. Для решения задачи достаточно заметить, что 24 часа – это средние солнечные сутки, которые отличаются от звездных суток (23 часа 56 минут 4 секунды) из-за вращения Земли вокруг Солнца с периодом в один звездный год. Это и есть правильный ответ на вопрос задачи.

Но можно пойти и более формальным путем. Для этого необходимо записать синодическую формулу

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{P},$$

где синодический период S отождествляется с искомым промежутком времени, период T – с периодом вращения Земли вокруг оси (звездными сутками), и период P – с периодом обращения спутника вокруг Земли. Вычисления дают тот же ответ – один звездный год.

Система оценивания. Если ученик пошел по первому пути, то он получает 8 баллов, но если он не указал, что искомая величина равна именно звездному году, то один балл снимается. Если он пошел по второму пути, то 2 балла дается за запись синодической формулы, 5 баллов – за правильное указание значений величин в этой формуле, и еще 1 балл – за правильные вычисления.

Задание 6. Звезда – белый карлик Процион В имеет годичный параллакс $0,285''$, видимую звездную величину $10,7^m$ и температуру поверхности 7740 К. С какого расстояния можно разглядеть диск этой звезды при наблюдениях невооруженным глазом? Разрешающую способность человеческого глаза примите равной $1'$.

Решение. Сначала вычислим расстояние до звезды по формуле

$$r = 1/p,$$

где p – годичный параллакс в секундах. В результате получим $r=3,5$ пк. Далее найдем абсолютную звездную величину звезды по формуле

$$M = m + 5 - 5 \lg r.$$

В результате получим $M=13,0$. Зная абсолютную звездную величину, можно найти светимость звезды:

$$L = 10^{-0,4(M-M_0)} L_0,$$

где L_0 и $M_0=4,8$ – светимость и абсолютная звездная величина Солнца. В результате получим $L = 0,0005 L_0$. Радиус звезды, ее светимость и температура связаны между собой по закону Стефана-Больцмана:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

Применяя эту формулу к звезде и Солнцу, находим радиус белого карлика:

$$R = \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \sqrt{\frac{L}{L_0}} R_0.$$

Здесь R_0 и T_0 – радиус и температура Солнца ($T_0=5800$ К). Отсюда находим $R = 0,012 R_0$. Угловой диаметр звезды на расстоянии r находится по формуле

$$d = 2R/r.$$

Эта величина должна превосходить разрешение глаза ($1'$). Вычисления можно производить следующим образом. На расстоянии 1 а.е. угловой диаметр Солнца составляет примерно $30'$. Следовательно, на расстоянии 30 а.е. он будет равен угловому разрешению глаза. Чтобы найти предельное расстояние для Проциона В, эту величину нужно умножить на отношение радиусов Проциона и Солнца, то есть $r = 30 \cdot 0,012 = 0,36$ а.е. Это и есть окончательный ответ на вопрос задачи.

Система оценивания. За вычисление расстояния – 1 балл. За вычисление светимости через звездную величину и расстояние – 2 балла. За вычисление радиуса по формуле Стефана-Больцмана – 3 балла. За формулировку условия наблюдения диска – 1 балл. За окончательный ответ – 1 балл.