

**АСТРОНОМИЯ  
10 КЛАСС**

**Материалы для членов жюри (ключи, критерии оценивания)**

**Время выполнения заданий 120 минут**

**Максимальная оценка – 48 баллов.**

**Оценивание заданий проводится по обобщенной шкале:**

0 баллов – решение отсутствует, абсолютно некорректно, или в нем допущена грубая астрономическая или физическая ошибка;

1 балл – правильно угадан бинарный ответ («да» - «нет») без обоснования;

1-2 балла – попытка решения не принесла существенных продвижений, однако приведены содержательные астрономические или физические соображения, которые можно использовать при решении данного задания;

2-3 балла – правильно угадан сложный ответ без обоснования или с неверным обоснованием;

3-6 баллов – задание частично решено;

5-7 баллов – задание решено полностью с некоторыми недочетами;

8- задание решено полностью;

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

**Задание №1 (8 баллов).** При наблюдениях звездного неба звезды можно отличить от планет без телескопа. Видимая яркость звезд все время меняется, это явление называется мерцанием звезд. А свет от планет кажется более ровным и постоянным. Объясните, почему так происходит?

**Возможное решение.** 1. Мерцание звезд объясняется тем, что тонкий луч света, исходящий от точечного изображения звезды, проходит сквозь постоянно движущиеся слои земной атмосферы разной плотности, в результате чего он испытывает многократное преломление. Можно для наглядности сказать, что он то «фокусируется», то «расфокусируется», в результате видимая яркость постоянно изменяется - звезда «мерцает».

2. От более близких к нам планет, диаметры которых легко различаются даже в небольшой телескоп, свет распространяется в виде сравнительно широкого пучка, лучи которого исходят из разных точек планетных дисков. Кроме того, разные части этого пучка испытывают разное влияние атмосферы. Видимое глазом изображение планеты формируется при сложении этих лучей, яркость которых меняется случайным образом и независимо друг от друга, в результате происходит усреднение яркости или ослабление мерцания.

**Тематика:** § 1.1. Звездное небо. § 2.1. Солнце и планеты. § 2.2. Звезды и расстояния до них. § 4.1. Угловые измерения на небе. Смежные вопросы физики. Прямолинейное распространение света, понятие о преломлении света. **Классы:** 8-11

**АСТРОНОМИЯ**  
**10 КЛАСС**

**Задание №2 (8 баллов).** Наблюдая за движением Плутона можно выяснить: имеются ли ещё неизвестные крупные планеты в Солнечной системе. Объясните, как это можно сделать? Назовите наблюдаемое явление. Оцените - сколько времени нужно наблюдать за Плутоном?

**Возможное решение.** Плутон делает оборот вокруг Солнца за  $\approx 248$  земных лет. Если за Плутоном есть еще крупное тело (большая планета), то оно будет притягивать к себе Плутон, орбита которого будет искажаться. Это явление называется **возмущением** планетных орбит. Одним из проявлений может быть отклонение от периодичности, для обнаружения такого отклонения необходимо наблюдать Плутон в течении промежутка времени сравнимого с периодом обращения, т.е. десятки (20-50) лет.

**Тематика:** § 6.1. Закон всемирного тяготения, движение по круговой орбите. § 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит). § 5.2. Малые тела Солнечной системы (приближение круговых орбит). **Классы:** 9-11

**Задание №3 (8 баллов).** Как можно обнаружить и измерить вращение Солнца вокруг оси?

**Возможное решение.** Обнаружить вращение Солнца вокруг оси можно из регулярных наблюдений за солнечными пятнами. Исторически именно так было обнаружено это вращение.

Измерить скорость вращения можно двумя способами:

1) наблюдая за пятнами, определяя скорость их смещения, которая окажется разной на разных гелиографических широтах, метод неточный, поскольку пятна смещаются по широте, могут менять свой размер;

2) более точным является метод определения скорости движения по эффекту Доплера на краю солнечного диска, когда фраунгоферовы линии в спектре Солнца смещаются относительно своего исходного положения в одну или другую сторону из-за того, что на краю солнечного диска вещество движется на наблюдателя или от него, чтобы наглядно представить этот эффект, по данным орбитальных солнечных обсерваторий строится доплерограмма.

**Тематика.** § 2.1. Солнце и планеты. § 8.6. Солнце. § 8.7. Движение звезд.  
**Классы** 10-11

**Задание №4 (8 баллов).** 8 ноября 2022 года в Омске горожане обратили внимание на необычный восход Луны. В 17:30 вошла Луна буро-красного цвета. Примерно через полчаса вид Луны был как на представленном изображении, а рядом с диском Луны в телескоп можно было обнаружить Уран — через несколько минут произошло его покрытие Луной. Укажите фазы Луны и Урана. Объясните причину окрашивания Луны в буро-красный цвет.

**АСТРОНОМИЯ**  
**10 КЛАСС**



**Возможное решение.** Если провести геометрическое построение и соединить “рога” освещённой части лунного диска прямой линией, эта линия пройдёт не через центр лунного диска, следовательно, то, что наблюдали в этот день, не являлось фазой освещённости Луны, а являлось фазой лунного затмения. Из этого следует, что фаза Луны — полнолуние.

Покрывание полной Луной Урана происходит, когда Уран находится в противостоянии, то есть тоже освещён на 100%.

Затмение Луны представляет собой пересечение Луной конуса земной тени — той области пространства, куда не попадает солнечный свет. Однако, из-за наличия у Земли атмосферы, часть солнечных лучей всё же попадает в область геометрической тени за счёт преломления в атмосфере. Но также из-за свойства атмосферы наиболее эффективно рассеивать коротковолновую часть видимой области спектра в область геометрической тени попадает преимущественно свет длинноволнового диапазона (красный), за счёт чего Луна окрашивается в бурый, красный, оранжевый цвет.

**Тематика.** § 1.3. Луна, ее свойства и движение. § 2.1. Солнце и планеты. § 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит). § 5.3. Движение Луны и спутников планет (приближение круговых орбит). **Классы 8-11**

**АСТРОНОМИЯ**  
**10 КЛАСС**

**Задание №5 (8 баллов).** Во время полного лунного затмения 8 ноября 2022 года наблюдалось покрытие Луной Урана. Видимая звёздная величина планеты составила  $5,6^m$ . Найдите наименьший возможный блеск Урана, наблюдаемый с Земли.

**Возможное решение.** Покрытие Урана Луной в затмении означает, что Уран находится в противостоянии с Землёй, в это время он ближе всего к земному наблюдателю, расстояние до него равно  $a_U - 1$  а.е., где  $a_U$  — радиус орбиты Урана. Необходимо найти блеск Урана в наиболее удалённой от Земли противоположной точке его орбиты, когда расстояние до него будет равно  $a_U + 1$  а.е.. Используем формулу Погсона, где  $m$  — звёздная величина,  $L$  — светимость, обратно пропорциональная квадрату расстояния  $r$ , индексом «0» обозначено значение на момент покрытия:

$$m - m_0 = 2,5 \lg \frac{L_0}{L} = 5 \lg \frac{r}{r_0} = \lg \left( \frac{r}{r_0} \right)^5 = \lg \left( \frac{a_U + 1}{a_U - 1} \right)^5 = \lg \left( \frac{20}{18} \right)^5 \approx 0,2$$

Таким образом, минимальный блеск Урана для земного наблюдателя составляет  $5,6^m + 0,2^m = 5,8^m$ .

**Тематика.** § 2.1. Солнце и планеты. § 5.1. Кинематика планет в Солнечной системе (приближение круговых орбит). § 8.2. Шкала звездных величин. § 8.3. Зависимость звездной величины от расстояния. **Классы** 10-11

**Задание №6 (8 баллов).** Внимательно изучая астрономические фотографии, сделанные любителями астрономии без использования узкополосных фильтров, можно заметить, что отражательные туманности в областях звездообразования светятся белым или голубоватым светом. Часто звезду, свет которой отражает туманность, видно на снимке, и это действительно белая или голубоватая звезда. Неужели красные звёзды не рождаются вовсе? Аргументируйте свой ответ расчётами.

**Возможное решение.** Согласно диаграмме Герцшпрунга-Рассела, построенной аппаратом GAIA, на главной последовательности, действительно, голубых звёзд меньше всего, основную часть звёздного населения составляют маломассивные звёзды главной последовательности, а, учитывая время их жизни, это должны быть преимущественно красные карлики. Чтобы понять причину кажущегося несоответствия этого вывода и наблюдаемой картины, определим, как бы мы видели две звезды разной массы, сформировавшиеся в одной и той же области пространства и оценим разницу их светимостей для одного наблюдателя.

Светимость  $L$  определяется как:

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

где  $R$  — радиус звезды,  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана,  $T$  — температура фотосферы звезды. Сравним светимости **голубой** звезды главной последовательности и **красного** карлика:

**АСТРОНОМИЯ**  
**10 КЛАСС**

$$\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{К}}} = \frac{R_{\Gamma}^2 \times T_{\Gamma}^4}{R_{\text{К}}^2 \times T_{\text{К}}^4} = \left(\frac{R_{\Gamma}}{R_{\text{К}}}\right)^2 \times \left(\frac{T_{\Gamma}}{T_{\text{К}}}\right)^4$$

Радиус голубой звезды главной последовательности приблизительно в 10 раз превышает радиус Солнца, радиус красного карлика в 10 раз меньше солнечного. Температура этих звезд имеет порядок  $10^4$  и  $10^3$ , соответственно. Это грубое упрощение, однако, оно позволяет оценить разницу светимостей этих звезд.

$$\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{К}}} \approx (100)^2 \times (10)^4 = 10^8$$

Уже на этом этапе сравнения можно сделать вывод о том, что светимость голубых звезд много выше, поэтому именно они хорошо заметны в областях звездообразования. Красные карлики, которые формируются в этих же облаках, остаются попросту незамеченными.

Можно пойти дальше и оценить разницу звездных величин этих звезд. Отличие светимостей в 100 раз даёт разницу в 5 звездных величин. Отличие светимостей в  $10^8$  раз соответствует разнице в 20 звездных величин — красные карлики “тонут” в сиянии голубых гигантов.

**Тематика.** § 2.2. Звезды и расстояния до них. § 8.5. Излучение абсолютно черного тела. **Классы** 10-11