

**Ключи к заданиям муниципального этапа  
Всероссийской олимпиады школьников по астрономии  
2022-2023 учебного года  
10 класс**

**1 задание (8 баллов).**

24 августа 2016 года было объявлено об открытии экзопланеты Проксима Центавра b. Эта планета находится в зоне обитания (области космического пространства вокруг звезды, где температуры лежат в пределах от 0 до 100 градусов Цельсия – достаточные, чтобы поддерживать воду в жидком агрегатном состоянии при нормальных атмосферных условиях) своей звезды – красного карлика на расстоянии 0.05 а. е.

Выразите в километрах аналог парсека, который могут использовать жители этой планеты и выразите расстояние между этими звёздами в аналоге парсека, если при наблюдении с Земли данная звезда имеет параллакс равный 769 миллисекунд дуги.

**Решение**

Парсек определяется как расстояние, на котором находится светило, тригонометрический параллакс которого равен 1". В случае Земли

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ а. е.}}{\tan 1''}$$

Для жителей Проксима Центавра b аналогом астрономической единицы является расстояние 0.05 а. е., таким образом

$$1 \text{ пк}_b = \frac{0.05 \text{ а. е.}}{\tan 1''} \approx 1.54 \cdot 10^{12} \text{ км}$$

Используя данные о параллаксе звезды, определим расстояние между Солнцем и Проксимой Центавра

$$d = 1 \text{ а. е.} / 0.769'' \approx 1.3 \text{ пк} \approx 26 \text{ пк}_b$$

## Критерии оценивания

Запись определения парсека в общем виде, либо применительно к рассматриваемому случаю	2 балла
Верный перевод аналога парсека в километры	3 балла
Вычисление расстояния между звёздами	3 балла

Альтернативные способы вычисления парсека, например, использование свойства малых углов, оцениваются в той же мере, что и приведённое решение.

**2 задание (8 баллов).**

При планировании наблюдений обычно стоит учитывать конструктивные особенности телескопа, которые зачастую не позволяют наблюдать объекты непосредственно на горизонте. Также необходимо избежать влияния Солнца при проведении радионаблюдений, поскольку Солнце является мощным радиоисточником.

Руководствуясь этими факторами, оцените, какими склонениями должны обладать объекты, чтобы их можно было непрерывно наблюдать в Екатеринбурге (широта  $56^{\circ}50'$ , долгота  $60^{\circ}35'$ ), в течение всех суток с 9 на 10 октября. Считать, что светила с высотами ниже  $15^{\circ}$  недоступны для наблюдения, а Солнце не будет оказывать влияния на наблюдения на угловом расстоянии  $3^{\circ}$  от границы диска. Склонение Солнца на дату принять равным  $-6^{\circ}18'$ , видимый диаметр светила принять равным  $31'$ . Рефракцией пренебречь.

## Решение

Объекты, видимые в течение всех суток, должны быть незаходящими.

Среди всех незаходящих светил необходимо отобрать те, что имеют высоту нижней кульминации не ниже  $15^\circ$ . Таким образом, для предельного случая,

$$h_n = 15^\circ = \delta - (90^\circ - \varphi) \Rightarrow \delta = +48^\circ 10'$$

Светила с большими склонениями будут незаходящими на данной широте.

Анализ данных о движении Солнца в эту дату показывает, что незаходящие светила могут с ним взаимодействовать. Это можно показать, например, вычислив высоту центра диска Солнца в верхней кульминации с учётом  $\delta < \varphi$ :

$$h_c = (90^\circ - \varphi) + \delta = +26^\circ 52'$$

При этом Солнце находится в данном положении в дневное время суток, а значит, возможно перекрытие Солнцем объекта. Таким образом, необходимо сделать условие более строгим, а именно

$$h_n = 26^\circ 52' + 31' + 3^\circ = 30^\circ 23' = \delta - (90^\circ - \varphi) \Rightarrow \delta = +63^\circ 33'$$

И возможные склонения объектов обязаны быть  $\delta \geq +63^\circ 33'$

#### Критерии оценивания

Первичное определение множества интересующих объектов	3 балла
Получение первичной оценки склонения	2 балла
Учёт влияния Солнца на итоговую границу по склонениям	3 балла

Альтернативные способы доказательства влияния/отсутствия онога на границу склонений Солнцем, например, рисунок с указанием суточных параллелей, оцениваются в той же мере, что и приведённое решение.

Если в решении не учтён размер светила и/или не введено избегание в  $3^\circ$ ,

на соответствующем этапе снимается по 1 баллу за каждую ошибку.

### 3 задание (8 баллов).

Один из самых продуктивных методов регистрации и исследования экзопланет, метод лучевых скоростей, основан на движении звезды и обращающихся вокруг неё планет вокруг общего центра масс. Оцените скорость такого движения Солнца, если оно вызывается Юпитером, пренебрегая влиянием оставшихся тел Солнечной системы, сравните результат с единицами см/с, наивысшей точностью измерения скорости спектрографами, достигнутой на данный момент (например, HIRES Кекк) и сделайте выводы о возможности регистрации Юпитера при наблюдении извне Солнечной системы данным методом. Орбиты считать круговыми.

#### Решение

Движение объектов вокруг общего центра масс характеризуется его неподвижностью, а значит,  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$ , где индекс 1 соответствует Солнцу, 2 – Юпитеру. Среднее расстояние между объектами равно  $a_0 = a_1 + a_2$  и подчиняется третьему закону Кеплера

$$\frac{a_0^3}{T^2} = const,$$

где  $T$  – орбитальный период.

$$T = \frac{2\pi a_2}{v_2}$$

в силу формы орбиты, в то время как  $v_2 = \sqrt{Gm_1/a_2}$  по той же причине.

Можно заметить, что

$$T = \frac{2\pi a_2}{v_2} = \frac{2\pi a_1}{v_1},$$

откуда  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{a_1}{a_2}$ , а из условия неподвижности центра масс можно получить

соотношения между скоростями и массами объектов

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow v_1 = v_2 \frac{m_2}{m_1} = \sqrt{\frac{G}{a_2 m_1}} \cdot m_2 = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11}}{5.2 \cdot 149.6 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{30}}} \cdot 2 \cdot 10^{27}$$

$$\approx 13.09 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Такие значения скорости в настоящее время могут быть зарегистрированы на современных спектрографах, но это, тем не менее, остаётся весьма сложной задачей. Спектрограф HIRES, используемый в обсерватории Кекк, способен обнаружить планету с орбитальными и физическими характеристиками похожими на Юпитер в окрестностях солнцеподобной звезды.

#### Критерии оценивания

Связь скорости на круговой орбите с массой и размерами орбиты	2 балла
Применение третьего закона Кеплера или аналогичного ему физического закона	3 балла
Вычисление скорости движения Солнца	2 балла
Выводы о возможности регистрации подобных планет современными приборами	1 балл

Альтернативные способы решения, например, базирующиеся на втором законе Ньютона, оцениваются в той же мере, что и приведённое решение.

В ходе решения допускаются промежуточные вычисления, задача

оценивается в той же мере, что и приведённое решение, при ошибке в вычислениях баллы снимаются только на данном этапе, остальное решение оценивается в полной мере, если не приводит к изменению ответа на поставленный в последнем пункте вопрос.

#### 4 задание (8 баллов).

Традиционно считается, что в Солнечной системе кольцами обладают лишь планеты-гиганты, однако в 2013 году у астероида (10199) Харикло методом покрытий была открыта система из двух колец. В ходе орбитального движения астероид прошёл по видимому диску звезды, видимая яркость которого значительно уменьшилась сначала на 0.2 секунды, затем вернулась к первоначальному значению на 0.1 секунды, и снова уменьшилась на 0.4 секунды. После этих кратковременных событий яркость звезды восстановилась, и после продолжительного покрытия астероидом, повторилась в обратном порядке.

Считая орбиту объекта круговой и имеющей радиус 15.8 а. е., оцените толщины колец, если наклон колец к экватору астероида составляет  $60^\circ$  и наблюдатель смотрит строго на полюс астероида. Собственное движение фоновой звезды не учитывать.

#### Решение

Поскольку мы считаем фоновую звезду неподвижной, продолжительности промежутков падения яркости определяются скоростью орбитального движения астероида и толщиной его колец. Круговую скорость можно определить с помощью выражения

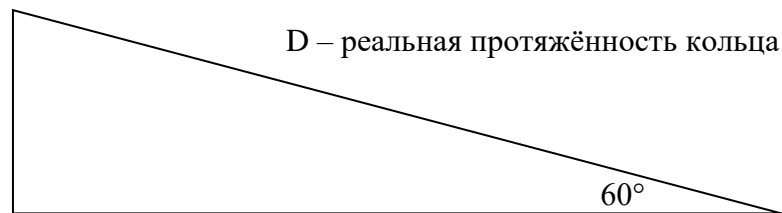
$$v = \sqrt{\frac{GM}{a}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{15.8 \cdot 149.6 \cdot 10^9}} \approx 7.5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Тогда считая, что за приведённые интервалы времени длина дуги окружности мало отличается от длины стягивающей её хорды можно получить толщины дисков как

$$d_1 = v \cdot t_1 = 7.5 \cdot 0.2 = 1.5 \text{ км}$$

$$d_2 = v \cdot t_2 = 7.5 \cdot 0.4 = 3 \text{ км}$$

Толщины, которые мы получили, спроецированы на плоскость, перпендикулярную лучу зрения, чтобы получить физические размеры, нужно воспользоваться результатами моделирования явления покрытия, а именно, ориентацией колец относительно наблюдателя



$d$  – проекция на плоскость, перпендикулярную лучу зрения

Рисунок 1. Иллюстрация к эффекту проекции колец астероида на плоскость, перпендикулярную лучу зрения

$$D_1 = d_1 / \cos 60^\circ = 3 \text{ км}$$

$$D_2 = d_2 / \cos 60^\circ = 6 \text{ км}$$

Современные оценки размеров колец отличаются главным образом из-за учёта эллиптичности орбиты.

#### Критерии оценивания

Вычисление скорости движения астероида	2 балла
Связь толщины кольца со скоростью	2 балла

движения и продолжительностью покрытия	
Вычисление протяжённости кольца с использованием ориентации системы колец	4 балла

Альтернативные способы вычисления скорости оцениваются в той же мере, что и приведённое решение.

Рисунок не является обязательным.

### **5 задание (8 баллов).**

При наблюдении звёздных скоплений, в силу плотности звёздного населения, многие инструменты не способны разрешить близко расположенные звёзды в тесных двойных системах. Это искажает фотометрические данные, что в свою очередь ведёт к ошибкам в определении параметров как самих звёзд, так и скоплений, которым они принадлежат.

Пусть мы наблюдаем неразрешённую тесную двойную систему звёзд в Плеядах на расстоянии 134.4 пк, каждый из компонентов которой в точности совпадает с Солнцем. Определите на сколько величин будут отличаться видимая и абсолютная звёздные величины неразрешённой системы по сравнению с одиночной звездой. Межзвёздное поглощение не учитывать.

### **Решение**

Две одинаковые звезды, находящиеся в составе двойной системы находятся на достаточно близких расстояниях по сравнению с расстоянием до наблюдателя, чтобы пренебречь изменением яркости в ходе орбитального



движения. Искомое приращение звёздной величины можно вычислить, воспользовавшись формулой Погсона

$$\Delta m = m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \lg \frac{E_1}{2E_1} = 0.75$$

где  $E$  – освещённость, создаваемая звездой. В формуле учтено, что две одинаковые неразрешённые звезды будут создавать удвоенную освещённость. Объект с индексом 2 на 0.75 величины ярче объекта с индексом 1.

Абсолютная звёздная величина неразрешённого объекта будет изменяться на ту же величину  $\Delta m$ .

Для доказательства этого факта может потребоваться знание абсолютной звёздной величины наблюдаемого объекта (в неразрешённом случае наблюдатель не знает, что объект не одиночный)

$$M = (m_s - \Delta m) + 5 - 5 \lg r = 4.07$$

где  $m_s = M_s - 5 + 5 \lg r = 10.47$  – видимая величина Солнца на расстоянии 134.4 пк.

Доказательство завершается путём сравнения полученного значения с абсолютной звёздной величиной Солнца.

#### Критерии оценивания

Нахождение разности между видимыми звёздными величинами одиночного и неразрешённого случая	4 балла
Нахождение разности между абсолютными звёздными величинами одиночного и неразрешённого случая	4 балла

Вычисление абсолютной звёздной величины объекта с помощью внесения поправки величиной  $\Delta m$  в абсолютную звёздную величину Солнца не

считается ошибкой.

В ходе решения допускаются промежуточные вычисления, задача оценивается в той же мере, что и приведённое решение, при ошибке в вычислениях баллы снимаются только на данном этапе, остальное решение оценивается в полной мере.

### 6 задание (8 баллов).

Даже лучшие обзорные инструменты мира могут иметь на кадрах неразрешённые двойные системы звёзд. Один из таких обзоров, UKIDSS, выполнялся на телескопе UKIRT с диаметром зеркала 3.8 метров на длине волны 1.6 микрометров. Поле зрения камеры составляет 0.21 кв. градуса. Определите апертуру оптического телескопа, с помощью которого можно будет добиться такого же дифракционного разрешения.

#### Решение

Дифракционное разрешение телескопа в радианах определяется, в соответствии с пределом Релея,

$$\rho_{UKIRT} = 1.22 \frac{\lambda}{D} = 1.22 \cdot 206265 \cdot \frac{1.6 \cdot 10^{-6}}{3.8} = 0.1''$$

Для определения апертуры телескопа для визуальных наблюдений снова стоит воспользоваться пределом Релея, длину волны при этом можно считать равной 555 нм.

$$\rho_V = 1.22 \cdot 206265 \cdot \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D = 1.22 \cdot 206265 \cdot \frac{555 \cdot 10^{-9}}{0.1''} = 1.4 \text{ м}$$

#### Критерии оценивания

Вычисление дифракционного предела	4 балла
-----------------------------------	---------

телескопа UKIRT	
Вычисление апертуры оптического телескопа	4 балла

Использование любой длины волны из видимого диапазона оценивается тем же количеством баллов, что и приведённое решение.