

## Ключи к заданиям 10 класса

**1. Условие.** Некая страна решила перейти с григорианского календаря на юлианский после 31 декабря 2023 г. (то есть последний день действия григорианского календаря – 31 декабря 2023 г.). Каким днем недели в этой стране будет 1 января 2024 г.? 1 ноября 2023 г. по григорианскому календарю – среда.

**1. Решение.** Если 01 ноября – среда, то 31 декабря – воскресенье. (2балла)

При переходе на юлианский календарь необходимо вычесть из григорианской даты 13 дней, (3балла)

т.е. 1 января 2024 г. (понедельник) по григорианскому календарю превратится в 19 декабря (понедельник) по юлианскому календарю, и через 13 дней (когда по юлианскому календарю будет 1 января 2024 г.) будет **воскресенье.** (3балла)

### 1. Критерии оценивания.

В этой задаче разбиение на этапы весьма условно. Задачу можно решить в другом порядке, не находя промежуточные ответы, найденные в авторском решении. При правильном и обоснованном решении задача оценивается полностью (8 баллов). Исключение – если правильный ответ указан без обоснования, тогда за задачу – **1 балл.**

При неправильном или неполном решении:

за правильное определение дней недели 31.12 или 01.01 по григорианскому стилю – 2 балла;

за указание (прямое или в расчетах), что при переходе на юлианский календарь надо вычесть 13 дней (или при переходе на григорианский – прибавить) – 3 балла; если указана разница между календарями (13 дней) без уточнения (прямого или в расчетах) на знак – минус или плюс, – **1 балл;**

если в правильном по смыслу решении допущены арифметические ошибки (в т.ч. неправильно определено количество дней в том или ином календарном месяце), за каждую вычитается 1-2 балла.

**2. Условие.** Определите солнечное, поясное и звездное время, когда Солнце в Новосибирске ( $55^\circ$  с.ш.,  $83^\circ$  в.д., UT+7) находится ниже всего под горизонтом. Уравнением времени пренебрегите.

**2. Решение.** Солнце ниже всего под горизонтом в солнечную полночь (т.е. **солнечное время 0 часов или 24 часа**) (1 балл) в зимнее солнцестояние (1 балл). Разница между поясным и средним солнечным временем:

$$(7 \cdot 15^\circ - 83^\circ) / 15 \frac{^\circ}{\text{час}} \approx 1,5 \text{ часа},$$

т.е. **поясное время  $\approx 1$  час 30 мин.** (3балла)

В зимнее солнцестояние прямое восхождение Солнца  $18^h$ , поэтому, когда оно в Новосибирске в нижней кульминации (т.е. в солнечную полночь), точка весеннего равноденствия (прямое восхождение  $0^h$ ) находится в точке запада, и часовой угол точки весеннего равноденствия – **звездное время** – равен **6 часам**.

(3балла)

## **2. Критерии оценивания.**

**1 этап (1 балл):** определено солнечное время. Два варианта ответа – 0 и 24 часа – принимаются как правильные. Также правильным считается ответ «полночь». Этот балл ставится и в случае, если дан правильный ответ без пояснений.

**2 этап (3 балла):** определено поясное время. Участник может дать более точный ответ (1 час 28 мин. или 1,47 часа), что, конечно, тоже оценивается 3 баллами. За указание минут в виде дроби от часа баллы не снимаются. За правильный ответ без пояснений – 1 балл.

**3 этап (4 балла):** определено звездное время. За правильный ответ без пояснений – 2 балла. За указание на зимнее солнцестояние (непосредственное или рисунком или фразами вроде «конец декабря», «20-е числа декабря» или в ходе дальнейшего решения) – 1 балл, за расчет времени (он может быть как похожим на авторское решение, так и основанным, например, на рисунке) – 3 балла.

**3. Условие.** Экзопланета вращается по круговой орбите радиуса 0,5 а.е. вокруг звезды с массой 2 солнечных массы. Звездные сутки экзопланеты – 10 земных солнечных суток. Определите длительность средних «солнечных» суток этой экзопланеты (в земных солнечных сутках).

**3. Решение.** По 3-му закону Кеплера найдем период обращения экзопланеты вокруг звезды:

$$\sqrt{\frac{0,5^3}{2}} = 0,25 \text{ земного года} \approx 91 \text{ земных суток. (2 балла)}$$

Взаимосвязь орбитального периода, звездных суток и «солнечных» суток разная, в зависимости от того, в одну или разные стороны вращается экзопланета вокруг звезды и вокруг своей оси. (3 балла)

Продолжительность «солнечных» суток можно найти, например, с помощью формулы синодического периода:

вращение в одну сторону:

$$\frac{91 \cdot 10}{91 - 10} \approx 11 \text{ земных суток;}$$

вращение в разные стороны:

$$\frac{91 \cdot 10}{91 + 10} \approx 9 \text{ земных суток.}$$

(3 балла)

### 3. Критерии оценивания.

**1 этап (2 балла):** определен орбитальный период экзопланеты. Если он определен неправильно, и при этом он меньше 200 земных суток, то 2 балла за этап не ставятся, а последующие этапы оцениваются в полной мере. Если орбитальный период больше 200 суток, то 2 балла за этап не ставятся и **за всю задачу ставится не более 3 баллов.** (200 суток – немного меньше орбитального периода Венеры. Участника должно насторожить, что экзопланета, вращающаяся ближе Венеры вокруг звезды, более тяжелой, чем Солнце, имеет орбитальный период сравнимый или больший, чем у Венеры.)

**2 этап (3 балла):** указано на неоднозначность определения длительности «солнечных» суток, поскольку в условии задачи не даны направления орбитального и осевого вращений экзопланеты. Данное указание может быть либо явным, либо косвенным – в виде двух вариантов рисунка или расчета или ответа.

**3 этап (3 балла):** вычислена длительность «солнечных суток» – одна, если участник не учел этап 2, и две, если учел. Участник может определить длительность разными способами – например, используя то, что количество звездных и «солнечных» суток в году отличается на 1. Если ответ определен не в земных сутках, а в звездных сутках экзопланеты (т.е. ответы – 1,1 и/или 0,9), за этап ставится 2 балла. Если участник находил две длительности, но в одной из них ошибся (и при этом ошибка не связана с округлениями), за этап ставится 1 балл.

**4. Условие.** Экзопланета вращается по круговой орбите вокруг красного карлика с массой 0,2 массы Солнца и радиусом 0,15 радиуса Солнца, с орбитальным периодом 0,4 земного года. Красный карлик, в свою очередь, вращается по круговой орбите радиуса 1000 а.е. вокруг красного сверхгиганта. Температура фотосферы карлика – 2500К, сверхгиганта – 3600К. Орбиты находятся в одной плоскости. Каким должен быть радиус сверхгиганта, чтобы в моменты противостояния гиганта карлику, с точки зрения экзопланеты, «дневная» (повернутая к карлику) и «ночная» (повернутая к сверхгиганту) половины экзопланеты получали одинаковое количество световой энергии? Ответ дайте в радиусах Солнца.

**4. Решение.** По 3-му закону Кеплера находим радиус орбиты экзопланеты:

$$\sqrt[3]{0,2 \cdot 0,4^2} \approx 0,32 \text{ а. е. (2 балла)}$$

Равенство световой энергии в указанной конфигурации означает равенство потоков на экзопланете от красного карлика и от красного сверхгиганта.

(1 балл)

По закону Стефана-Больцмана это приводит к уравнению

$$2500^4 \cdot \frac{0,15^2}{0,32^2} = 3600^4 \cdot \frac{R^2}{1000^2}, \text{ где } R - \text{искомый радиус. (3 балла)}$$

Отсюда находим радиус сверхгиганта:

$R \approx 226$  радиусов Солнца. (2 балла)

#### 4. Критерии оценивания.

**1 этап (2 балла):** определение радиуса орбиты экзопланеты. Ошибка на этом этапе, смысловая или арифметическая (за исключением, конечно, округления), – 0 баллов за этап, но следующий этап оценивается в полной мере.

**2 этап (6 баллов):** применение закона Стефана-Больцмана и нахождение радиуса сверхгиганта. Участник, конечно, не обязан разбивать свое решение на действия, аналогичные действиям авторского решения. Однако, в случае неполного или неправильного решения, в авторском решении указаны баллы за те или иные правильные действия. Помимо этих действий, участник мог правильно записать закон Стефана-Больцмана (1 балл), правильно найти поток от красного карлика, в ваттах на квадратный метр или в солнечных постоянных (2 балла).

За арифметические ошибки при вычислении радиуса сверхгиганта соответствующие 2 балла не ставятся. За правильный ответ в «неправильных» единицах, например, в километрах, баллы в этой задаче **не** снижаются.

**5. Условие.** Сверхмассивная черная дыра в центре галактики М87 имеет радиус Шварцшильда около 20 миллиардов километров. Радиус «тени» этой черной дыры примерно в 2,6 раза больше радиуса Шварцшильда. Расстояние до М87 около 55 миллионов световых лет. Каким должен быть диаметр гипотетического радиотелескопа, чтобы с его помощью мы имели шанс различить (разрешить) «тень» этой черной дыры? Наблюдения ведутся на частоте 231 ГГц. Влиянием атмосферы пренебрегите.

**5. Решение.** Из условия понятно, что в данном случае разрешающую способность ограничивает дифракционный предел:

$$\delta \approx \frac{\lambda}{D} = \frac{c}{D \cdot \nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{D \cdot 231 \cdot 10^9}, \text{ где } D - \text{искомый диаметр, м (3 балла)}$$

Угловой диаметр «тени» черной дыры:

$$\alpha = \frac{2,6 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^9}{55 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 300000} \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ рад} \approx 41 \text{ микросекунда}$$

(3балла)

Считаем, что дифракционный предел должен не превышать угловой размер и приравниваем их, откуда получаем искомый диаметр радиотелескопа:

$$D = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-10} \cdot 231 \cdot 10^9} \approx 6,5 \cdot 10^6 \text{ м} = 6,5 \cdot 10^3 \text{ км. (2балла)}$$

*Этот диаметр соответствует примерно реальному размеру Телескопа горизонта событий, состоящего из 8 радиотелескопов, расположенных в разных частях Земли, который «сфотографировал» – получил информацию о виде «тени» и аккреционного диска черных дыр в центре галактики M87 и нашей Галактики.*

## 5. Критерии оценивания.

**1 этап (3 балла):** использование формулы дифракционного предела.

Факт правильной записи формулы (отдельно или в ходе вычислений, в общем виде или с подставленными числами) – 2 балла. Возможное использование множителя 1,22 **не** считать ошибкой, в т.ч. при оценивании следующих этапов.

Правильный перевод частоты в длину волны – 1 балл.

**2 этап (3 балла):** нахождение углового диаметра «тени» черной дыры.

Нахождение радиуса вместо диаметра – минус 1 балл за этап.

Использование радиуса Шварцшильда вместо радиуса «тени» (игнорирование множителя 2,6) – минус 1 балл за этап.

**3 этап (2 балла):** нахождение диаметра радиотелескопа. Участник может применить другие разумные критерии, отличные от авторского. Например, равенство дифракционного предела половине углового размера «тени» (но не больше углового размера «тени»!). Тогда ответ увеличится в соответствующее число раз. При правильных вычислениях такие подходы считаются правильными. Если на предыдущих этапах допущены ошибки (арифметические или смысловые), приводящие к неправильному ответу, то за этот этап ставится не более 1 балла (за разумный критерий).

**6. Условие.** На звёздной карте (см. второй лист) примерно отмечены четыре точки, являющихся радиантами метеорных потоков. Напишите названия созвездий (на русском или сокращениями по Байеру), в которых расположены эти точки. Перечислите названия этих потоков в порядке приведённой нумерации.

**6. Решение.** На карте легко находится ковш Большой Медведицы, а по нему известным способом определяется Полярная звезда и Малая Медведица, где и отмечен первый радиант.

Между Большой и Малой Медведицами расположено созвездие Дракона — второй радиант. Далее, по летне-осеннему треугольнику, или по характерной форме, либо другим способом, определяется созвездие Лиры — третий радиант.

Четвёртый радиант, расположенный в созвездии Персея, определить можно, заметив, что рядом находится характерная буква W — созвездие Кассиопеи.

Итого — радианты потоков отмечены в созвездиях Малая Медведица (1), Дракон (2), Лира (3) и Персей (4). Соответственно, названия потоков можно определить (или угадать), даже не зная их изначально — по известным латинским названиям этих созвездий: Урсиды (1), Драконида (2), Лириды (3) и Персеиды (4).

**6. Критерии оценивания.** Поскольку способов ориентации на звёздном небе очень много, в данной задаче от участников не требуется обоснований полученных ответов.

За каждое верно определённое созвездие — +1 балл, за каждое верно написанное название потока — +1 балл. За отсутствие ответа или за неверный ответ баллы не снимаются.

Созвездия могут быть записаны или русскими названиями, как в решении выше, либо каталожными обозначениями (UMi, Dra, Lyr, Per). Описки и погрешности в именовании, позволяющие, тем не менее, однозначно определить (верное) созвездие, не штрафуются.

За ответ «Медведица» без указания, к какому именно из двух созвездий он относится, балл не ставится.

Названия потоков должны быть достаточно точные, то есть, например, ответ «метеорный поток в Лире» правильным не считается.

Карта звёздного неба к задаче № 6.

