

**Всероссийская олимпиада школьников 2020 – 2021 учебный год**  
**Школьный этап**  
**Астрономия**  
**7 класс**

Продолжительность – 45 минут  
Максимальный балл – 16

**Задание 1. Две даты рождения (8 баллов).**

День рождения великого поэта А.С. Пушкина мы традиционно празднуем 6 июня. Какого числа праздновал свой день рождения сам поэт? (Учтите год рождения поэта – 1799). С каким фактом связано «наличие» двух дат рождения?

**Задание 2. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке. *Ответ обоснуйте.*

**Задание 3. Противостояния Земли и Марса (4 балла).**

Марс удобнее изучать во время противостояния, когда Земля находится между Марсом и Солнцем. Определите, через какой промежуток времени повторяются противостояния Земли и Марса. Марс совершает оборот вокруг Солнца за 687 земных дней, а Земля – за 365 дней.

**Всероссийская олимпиада школьников 2020 – 2021 учебный год**  
**Школьный этап**  
**Астрономия**  
**8 класс**

Продолжительность – 45 минут  
Максимальный балл – 16

**Задание 1. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке. *Ответ обоснуйте.*

**Задание 2. Противостояния Земли и Марса(4 балла).**

Марс удобнее изучать во время противостояния, когда Земля находится между Марсом и Солнцем. Определите, через какой промежуток времени повторяются противостояния Земли и Марса. Марс совершает оборот вокруг Солнца за 687 земных дней, а Земля – за 365 дней.

**Задание 3. Наблюдения (8 баллов).**

Как долго нужно смотреть невооруженным глазом на звездное небо, чтобы заметить, что оно вращается? Каковы должны быть условия наблюдения? Учтите, что разрешающая способность человеческого глаза около 1'.

**Всероссийская олимпиада школьников 2020 – 2021 учебный год**  
**Школьный этап**  
**Астрономия**  
**9 класс**

Продолжительность – 60 минут  
Максимальный балл – 20

**Задание 1. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке.  
*Ответ обоснуйте.*

**Задание 2. Восход и заход Солнца (8 баллов).**

В передаче московского телеканала прозвучала следующая фраза: «Сегодня в Москве Солнце взошло в 8 часов 48 минут, зайдет Солнце в 15 часов 58 минут». В тот же день в передаче Санкт–Петербургского телеканала прозвучала фраза: «Сегодня в Петербурге Солнце взошло в 9 часов 48 минут, заход Солнца в 15 часов 58 минут». Проведите приблизительную оценку времени года, для которого характерно указанное время восхода и захода Солнца. Получается, в разных городах моменты восхода различаются, а моменты захода совпадают. Нет ли здесь ошибки?

**Задание 3. Падения Луны (8 баллов).**

Определите, с какой силой Луна притягивается Землей и с какой силой Луна притягивается Солнцем. Поясните, исходя из полученных результатов, почему в реальности мы не наблюдаем падения Луны на Солнце. Общие сведения о небесных телах приведены в таблице:

Небесное тело	Масса, кг	Среднее расстояние, м	Период обращения вокруг оси
Солнце	$2 \cdot 10^{30}$	-	25,4 сут
Земля	$6 \cdot 10^{24}$	(Земля-Луна) $3,8 \cdot 10^8$	23 ч 56 мин 4 с
Луна	$7 \cdot 10^{22}$	(Луна-Солнце) $1,5 \cdot 10^{11}$	27 сут 7 ч 43 мин

**Всероссийская олимпиада школьников 2020 – 2021 учебный год**  
**Школьный этап**  
**Астрономия**  
**10 класс**

Продолжительность – 60 минут  
Максимальный балл – 24

**Задание 1. Экзопланеты (8 баллов).**

Еще 25 лет назад ученым не были известны планеты, обращающиеся вокруг других звезд, - экзопланеты. Только в 1992 году было объявлено об обнаружении планет, обращающихся вокруг радиопульсара – нейтронной звезды. Первая экзопланета была обнаружена спустя три года. Сейчас надежно обнаруженных планет уже сотни, а кандидатов в экзопланеты – тысячи. Предложите несколько известных вам способов обнаружения экзопланет, сопроводив их описанием условий применения.

**Задание 2. Солнце с Нептуна (8 баллов).**

Чем будет казаться Солнце космонавту, высадившемуся на Нептуне: точкой или диском? Вам известно только то, что период Обращения Нептуна вокруг Солнца составляет 164,8 года, а орбита его практически круговая.

**Задание 3. Человеческий глаз (8 баллов).**

Известно, что от звезды  $0^m$  за 1 секунду падает около  $10^{10}$  фотонов на  $1\text{ м}^2$  площади, перпендикулярной лучу зрения. Оцените, сколько фотонов в секунду попадает в человеческий глаз от полной Луны. Звездную величину полной Луны принять равной –  $12,5^m$ . Диаметр зрачка принять равным 6 мм.

**Всероссийская олимпиада школьников 2020 – 2021 учебный год**  
**Школьный этап**  
**Астрономия**  
**11 класс**

Продолжительность – 60 минут  
Максимальный балл – 24

**Задание 1. Человеческий глаз (8 баллов).**

Известно, что от звезды  $0^m$  за 1 секунду падает около  $10^{10}$  фотонов на  $1\text{ м}^2$  площади, перпендикулярной лучу зрения. Оцените, сколько фотонов в секунду попадает в человеческий глаз от полной Луны. Звездную величину полной Луны принять равной –  $12,5^m$ . Диаметр зрачка принять равным 6 мм.

**Задание 2. Пульсар (8 баллов).**

Пульсар, находящийся вблизи полюса эклиптики и имеющий массу в две массы Солнца ( $4 \cdot 10^{23}\text{ кг}$ ), излучает импульсы с периодом 1с. Точные измерения получаемых сигналов показали, что их период не строго постоянен и меняется с периодичностью 1 год с амплитудой  $10^{-8}$  с. Спутник какой массы, обращающийся вокруг пульсара по круговой орбите, может вызвать эти изменения?

**Задание 3. Изменение климата (8 баллов).**

Как и движение всех планет, движение Земли подчиняется первому закону Кеплера: каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Земная орбита отличается от круга настолько мало, что ее считают круговой (ее эксцентриситет составляет 0,017). Плутон, чья орбита самая вытянутая, имеет эксцентриситет 0,25. Вообразите, что орбита Земли заметно вытянута, и фокус делит ее большую полуось пополам (эксцентриситет 0,5). Какие изменения климата по сезонам года наблюдались бы на Земле?

**Ключи, критерии оценивания заданий  
школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
Астрономия  
7 класс  
Максимальный балл – 16**

**Задание 1. Две даты рождения (8 баллов)**

День рождения великого поэта А.С. Пушкина мы традиционно празднуем 6 июня. Какого числа праздновал свой день рождения сам поэт? (Учтите год рождения поэта – 1799). С каким фактом связано «наличие» двух дат рождения?

**Решение.**

До 14.02.18 г. Россия жила по юлианскому календарю (старый стиль), который отличался от нового тем, что каждый четвертый год считался високосным. Средняя продолжительность календарного года составляла 365,25 суток. В григорианском календаре средняя продолжительность календарного года близка к действительной продолжительности года и составляет 265,2425 средних солнечных суток. В странах Европы григорианский календарь был введен в конце XVI века. В XVIII в Москве действовал старый стиль, в котором, в отличие от нового стиля, считались високосными годы 1800-й и 1900-й. Следовательно, в 1799 г. Оба стиля различались не на 13 дней, как сейчас, а на 11 дней, и по старому стилю датой рождения поэта является 26 мая.

**Критерии оценивания**

Баллы	Элемент решения
2 балла	Сформулирована причина «существования» двух дат рождения
2 балла	Указана разница в датах рождения вследствие перехода к григорианскому календарю (новый стиль)
2 балла	Учтена разница в 2 суток с учетом года рождения поэта
2 балла	Верно определена дата рождения по старому стилю

**Задание 2. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке. Ответ обоснуйте.

**Решение.**

Лишнее в этом списке – созвездие Дракона, это единственное созвездие, не лежащее на эклиптике – видимом пути Солнца на небесной сфере в течение года.

Распространенное заблуждение, что Змееносец – не зодиакальное созвездие, основано на традиции, в соответствии с которой в качестве «знаков Зодиака» выбрано только 12 созвездий из 13, находящихся на эклиптике.

### Критерии оценивания

Баллы	Элемент решения
2 балла	Указано созвездие Дракона
2 балла	Обоснован выбор данного созвездия.

### Задание 3. Противостояния Земли и Марса (4 балла).

Марс удобнее изучать во время противостояния, когда Земля находится между Марсом и Солнцем. Определите, через какой промежуток времени повторяются противостояния Земли и Марса. Марс совершает оборот вокруг Солнца за 687 земных дней, а Земля – за 365 дней.

**Решение.** За промежуток времени  $T$  от одного противостояния до другого Марс совершает  $k$  оборотов, а Земля  $(k + 1)$  оборот ( $k$  не обязательно целое). Этот промежуток времени выражается через периоды обращения Земли и Марса вокруг Солнца  $T_z$  и  $T_m$  следующим образом:  $T = (k + 1)T_z = kT_m$ . Отсюда находим  $k = T_z/(T_m - T_z)$  и  $T = T_z T_m / (T_m - T_z)$ .

Подставляя численные значения  $T_z$  и  $T_m$ , получаем  $T = 779$  дней.

### Критерии оценивания

Баллы	Элемент решения
2 балла	Записано соотношение для определения величины синодического периода Марса
2 балла	Вычислена величина

**Ключи, критерии оценивания заданий  
школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
Астрономия  
8 класс  
Максимальный балл – 16**

**Задание 1. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке. Ответ обоснуйте.

**Решение.**

Лишнее в этом списке – созвездие Дракона, это единственное созвездие, не лежащее на эклиптике – видимом пути Солнца на небесной сфере в течение года.

Распространенное заблуждение, что Змееносец – незодиакальное созвездие, основано на традиции, в соответствии с которой в качестве «знаков Зодиака» выбрано только 12 созвездий из 13, находящихся на эклиптике.

**Критерии оценивания**

Баллы	Элемент решения
2 балла	Указано созвездие Дракона
2 балла	Обоснован выбор данного созвездия.

**Задание 2. Противостояния Земли и Марса (4 балла).**

Марс удобнее изучать во время противостояния, когда Земля находится между Марсом и Солнцем. Определите, через какой промежуток времени повторяются противостояния Земли и Марса. Марс совершает оборот вокруг Солнца за 687 земных дней, а Земля – за 365 дней.

**Решение.** За промежуток времени  $T$  от одного противостояния до другого Марс совершает  $k$  оборотов, а Земля  $(k+1)$  оборот ( $k$  не обязательно целое). Этот промежуток времени выражается через периоды обращения Земли и Марса вокруг Солнца  $T_z$  и  $T_m$  следующим образом:  $T = (k+1)T_z = kT_m$ . Отсюда находим  $k = T_z/(T_m - T_z)$  и  $T = T_z T_m / (T_m - T_z)$ .

Подставляя численные значения  $T_z$  и  $T_m$ , получаем  $T = 779$  дней.

**Критерии оценивания**

Баллы	Элемент решения
2 балла	Записано соотношение для определения величины синодического периода Марса
2 балла	Вычислена величина



### Задание 3. Наблюдения (8 баллов).

Как долго нужно смотреть невооруженным глазом на звездное небо, чтобы заметить, что оно вращается? Каковы должны быть условия наблюдения? Учтите, что разрешающая способность человеческого глаза около 1'.

**Решение.** В идеале достаточно дождаться, пока звездное небо повернется на угол, равный 1', и это уже можно заметить. Земля, а следовательно, и небо делают один оборот на  $360^\circ$  за сутки, или примерно за 24 ч. Тогда за один час Земля поворачивается на  $15^\circ$ , за одну минуту – на  $15'$ , а на угол в 1' Земля повернется за время в 15 раз меньшее, то есть за 4 секунды. Следовательно, достаточно посмотреть на звездное небо (на определенную звезду) в течение более чем 4 секунд, чтобы заметить, что оно вращается.

В качестве условий наблюдений необходимы следующие:

1. Необходимо определить, где наблюдатель находится и относительно чего «улавливает» изменения в 1'. Необходим опорный объект на Земле, относительно которого можно зарегистрировать изменение положения звезды. Чем дальше от наблюдателя находится выбранная точка, тем точнее будут наблюдения.
2. Человек всегда немного изменяет положение своего тела, что связано с особенностями работы мышц, поддерживающих вертикальное положение тела. Характерное движение составляет несколько миллиметров. В результате человек не сможет отличить колебание своего тела от движения звезды по небосклону. Следовательно, необходимо такое расположение наблюдателя, чтобы уменьшить эти колебания. Например, возможно положение сидя, откинувшись на фиксированную спинку кресла. Учитывая, что подобное условие реализовать не всегда можно, необходимо выбрать базовую точку, удаленную на значительное расстояние (порядка 1 км).
3. Недостаточная прозрачность атмосферы обычно не позволяет наблюдать звезды, находящиеся на высоте  $5-7^\circ$ . Следовательно, наблюдения должны проходить на высоте порядка  $7^\circ$ . В наибольшей степени отвечают данным требованиям условия горной местности.

#### Критерии оценивания

Баллы	Элемент решения
1 балл	Высказана идея о соотношении поворота Земли и возможности наблюдения
1 балл	Рассчитано время для поворота на один градус
1 балл	Обоснована необходимость выбора опорного объекта
1 балл	Высказана идея об удаленности опорного объекта
2 балла	Указана нестатичность наблюдателя и предложены варианты преодоления
1 балл	Обоснована необходимость прозрачности атмосферы
1 балл	Предложен вариант условий наиболее благоприятного наблюдения – в горах.

**Ключи, критерии оценивания заданий  
школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
Астрономия  
9 класс  
Максимальный балл – 20**

**Задание 1. Лишнее созвездие (4 балла).**

Козерог, Дракон, Рыбы, Лев, Змееносец, Рак. Найдите лишнее в этом списке. Ответ обоснуйте.

**Решение.**

Лишнее в этом списке - созвездие Дракона, это единственное созвездие, не лежащее на эклиптике – видимом пути Солнца на небесной сфере в течение года.

Распространенное заблуждение, что Змееносец – незодиакальное созвездие, основано на традиции, в соответствии с которой в качестве «знаков Зодиака» выбрано только 12 созвездий из 13, находящихся на эклиптике.

**Критерии оценивания:**

Баллы	Элемент решения
2 балла	Указано созвездие Дракона
2 балла	Обоснован выбор данного созвездия.

**Задание 2. Восход и заход Солнца (8 баллов).**

В передаче московского телеканала прозвучала следующая фраза: «Сегодня в Москве Солнце взошло в 8 часов 48 минут, зайдет Солнце в 15 часов 58 минут». В тот же день в передаче Санкт – Петербургского телеканала прозвучала фраза: «Сегодня в Петербурге Солнце взошло в 9 часов 48 минут, заход Солнца в 15 часов 58 минут». Проведите приблизительную оценку времени года, для которого характерно указанное время восхода и захода Солнца. Получается, в разных городах моменты восхода различаются, а моменты захода совпадают. Нет ли здесь ошибки?

**Решение.**

Судя по продолжительности дня как для Санкт-Петербурга, так и для Москвы, передачи звучали в эфире в начале декабря, так как продолжительность дня близка к минимальной.

Разная продолжительность светового дня в Петербурге и Москве объясняется тем, что эти города находятся на разных широтах. Петербург севернее Москвы, поэтому зимой продолжительность дня в Петербурге меньше. «Несимметричность» же уменьшения продолжительности светового дня обусловлена тем, что Петербург и Москва, хотя и находятся в одном часовом поясе, расположены на существенно разных долготах. Москва восточнее Петербурга, поэтому моменты восхода и захода в Москве при прочих равных условиях наступают раньше, чем в Петербурге. В итоге и первый, и второй факторы сдвигают время восхода в Москве по сравнению с Петербургом вперед (на более ранний момент времени), а время захода первый фактор сдвигает назад, а второй – вперед, и их влияние компенсируются.

**Критерии оценивания:**

Баллы	Элемент решения
2 балла	Проведена оценка времени – начало декабря
2 балла	Обоснована разная продолжительность светового дня
2 балла	Обоснована «несимметричность» уменьшения продолжительности светового дня ( два фактора)
2 балла	Сделан вывод, что влияние двух факторов компенсируются

**Задание 3. Падения Луны (8 баллов).**

Определите, с какой силой Луна притягивается Землей и с какой силой Луна притягивается Солнцем. Поясните, исходя из полученных результатов, почему в реальности мы не наблюдаем падения Луны на Солнце. Общие сведения о небесных телах приведены в таблице:

Небесное тело	Масса, кг	Среднее расстояние, м	Период обращения вокруг оси
Солнце	$2 \cdot 10^{30}$	-	25,4 сут
Земля	$6 \cdot 10^{24}$	(Земля-Луна) $3,8 \cdot 10^8$	23 ч 56 мин 4 с
Луна	$7 \cdot 10^{22}$	(Луна-Солнце) $1,5 \cdot 10^{11}$	27 сут 7 ч 43 мин

**Решение.**

Используя закон всемирного тяготения, можно записать:  $F = \frac{GMm}{r^2}$ ,  $M$ ,  $m$  – массы взаимодействующих тел,  $r$  – расстояние между их центрами. Тогда для силы притяжения Солнцем Луны:  $F_{сл} = 4,2 \cdot 10^{19}$  Н. Для силы притяжения Землей Луны:  $F_{зл} = 2 \cdot 10^{19}$  Н.

Расчеты показывают, что сила притяжения Луны к Солнцу вдвое больше, чем сила притяжения Луны к Земле. Однако в реальности мы не наблюдаем обрушения Луны на Солнце. Это происходит по той же причине, по какой не падает на Солнце и Земля. Луна обращается вокруг Солнца вместе с Землей по типу двойной планеты. Точнее, к Солнцу притягивается общий центр тяжести системы Земля-Луна. Этот центр, называемый барицентром, и обращается вокруг Солнца под действием солнечного притяжения. Он находится на расстоянии  $2/3$  земного радиуса от центра Земли по направлению к Луне. Луна и центр Земли обращаются вокруг барицентра, совершая один оборот в течение месяца.

**Критерии оценивания:**

Баллы	Элементы решения
2 балла	Определена сила притяжения Солнцем Луны
2 балла	Определена сила притяжения Землей Луны
1 балл	Сделан вывод о превышении силы притяжения со стороны Солнца
3 балла	Даны верные пояснения наблюдаемой картины взаимодействия тел

**Ключи, критерии оценивания заданий  
школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
Астрономия  
10 класс  
Максимальный балл – 24**

**Задание 1. Экзопланеты (8 баллов).**

Еще 25 лет назад ученым не были известны планеты, обращающиеся вокруг других звезд, - экзопланеты. Только в 1992 году было объявлено об обнаружении планет, обращающихся вокруг радиопульсара – нейтронной звезды. Первая экзопланета была обнаружена спустя три года. Сейчас надежно обнаруженных планет уже сотни, а кандидатов в экзопланеты – тысячи. Предложите несколько известных вам способов обнаружения экзопланет, сопроводив их описанием условий применения.

**Решение.**

Сегодня существует пять способов обнаружения экзопланет:

1 – получить изображение планеты в видимом диапазоне (большинство из обнаруженных данным способом планет – планеты-гиганты, вращающиеся не слишком близко от своих звезд);

2 – наблюдать прохождение планеты между Землей и звездой, подобно наблюдению прохождения Венеры или Меркурия по диску Солнца. При этом саму черную точку на ярком диске не разглядеть, но можно заметить, что блеск звезды упал (обычно это величина порядка одной сотой процента). Чем больше радиус планеты и чем чаще она пересекает звездный диск, тем проще ее заметить;

3- косвенное обнаружение планеты по изменению вращения звезды. Так, звезда, вращаясь вокруг центра масс системы «звезда-планета», то приближается к нам, то удаляется (данный способ, которым были открыты первые экзопланеты, больше подходит для массивных планет, которые вращаются не слишком далеко от звезды);

4 – косвенное обнаружение планеты по изменению времени наблюдения периодических событий (например, радиопульсации в определенные моменты ускоряются, а затем запаздывают);

5 – косвенное обнаружение планеты по изменению блеска звезды: если мы наблюдаем далекую звезду и между нами и звездой пролетает массивное тело, то блеск звезды увеличивается. Если пролетает звезда с планетой, то изменение блеска звезды будет иметь характерный вид с двумя пиками (данный способ позволяет открывать легкие планеты вдали от звезды).

**Критерии оценивания:**

Баллы	Элемент решения
1-5 баллов	Указание на каждый способ обнаружения экзопланет оценивается в 1 балл
1-3 балла	Наличие описание условий применения каждого из способов оценивается в зависимости от полноты от 1 до 3 баллов для всех предложенных способов.

### Задание 2. Солнце с Нептуна (8 баллов).

Чем будет казаться Солнце космонавту, высадившемуся на Нептуне: точкой или диском? Вам известно только то, что период Обращения Нептуна вокруг Солнца составляет 164,8 года, а орбита его практически круговая.

#### Решение.

Используя третий закон Кеплера, получим величину большой полуоси орбиты Нептуна:

$(T_{\text{Н}}/T_{\text{З}})^2 = (a_{\text{Н}}/a_{\text{З}})^3$ , откуда  $a_{\text{Н}} = 164,8^{2/3}$  а.е. = 30 а.е. Исходя из величины большой полуоси орбиты Нептуна, можно сделать вывод, что планета находится в 30 раз дальше от Солнца, чем Земля, и угловой диаметр нашего светила, видимый с Нептуна, будет примерно в 30 раз меньше, чем мы видим его с Земли, то есть около одного. Это чуть больше предела разрешения человеческого глаза. Теоретически можно увидеть, что Солнце - не точечный объект, но только через темный светофильтр. Без светофильтра на диск Солнца с Нептуна смотреть нельзя так же, как и с Земли, - очень велика его яркость.

#### Критерии оценивания:

Баллы	Элемент решения
2 балла	Использован третий закон Кеплера
2 балла	Рассчитана величина большой полуоси орбиты Нептуна
3 балла	Обосновано наблюдение Солнца с Нептуна как точки
1 балл	Указано на высокий уровень яркости Солнца

### Задание 3. Человеческий глаз (8 баллов).

Известно, что от звезды  $0^{\text{m}}$  за 1 секунду падает около  $10^{10}$  фотонов на  $1\text{ м}^2$  площади, перпендикулярной лучу зрения. Оцените, сколько фотонов в секунду попадает в человеческий глаз от полной Луны. Звездную величину полной Луны принять равной  $-12,5^{\text{m}}$ . Диаметр зрачка принять равным 6 мм.

#### Решение.

Известно, что поток света уменьшается в 100 раз при увеличении звездной величины на 5 и, соответственно, в 10 раз при увеличении на 2,5. Применительно к нашему случаю это означает, что поток света от полной Луны в  $100 \cdot 100 \cdot 10 = 10^5$  раз больше, чем от звезды  $0^{\text{m}}$  ( $\Delta m = -12,5^{\text{m}} = -5^{\text{m}} - 5^{\text{m}} - 2,5^{\text{m}}$ ), то есть составляет  $10^{15}$  фотонов в секунду на квадратный метр. Зрачок человеческого глаза имеет ночью диаметр около 6 мм и площадь приблизительно  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Таким образом, за 1 секунду в человеческий глаз попадает от полной Луны около  $10^{15} \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^{10}$  фотонов.

#### Критерии оценивания:

Баллы	Элемент решения
3 балла	Указаны соотношения между световым потоком и звездной величиной
2 балла	Определен поток света от полной Луны
1 балл	Определено количество фотонов на квадратный метр
1 балл	Определена площадь зрачка
1 балл	Определено количество фотонов

**Ключи, критерии оценивания заданий  
школьного этапа Всероссийской олимпиады школьников  
2020-2021 учебный год  
Астрономия  
11 класс  
Максимальный балл – 24**

**Задание 1. Человеческий глаз (8 баллов).**

Известно, что от звезды  $0^m$  за 1 секунду падает около  $10^{10}$  фотонов на  $1\text{ м}^2$  площади, перпендикулярной лучу зрения. Оцените, сколько фотонов в секунду попадает в человеческий глаз от полной Луны. Звездную величину полной Луны принять равной –  $12,5^m$ . Диаметр зрачка принять равным 6 мм.

**Решение.**

Известно, что поток света уменьшается в 100 раз при увеличении звездной величины на 5 и, соответственно, в 10 раз при увеличении на 2,5. Применительно к нашему случаю это означает, что поток света от полной Луны в  $100 \cdot 100 \cdot 10 = 10^5$  раз больше, чем от звезды  $0^m$  ( $\Delta m = -12,5^m = -5^m - 5^m - 2,5^m$ ), то есть составляет  $10^{15}$  фотонов в секунду на квадратный метр. Зрачок человеческого глаза имеет ночью диаметр около 6 мм и площадь приблизительно  $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Таким образом, за 1 секунду в человеческий глаз попадает от полной Луны около  $10^{15} \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^{10}$  фотонов.

**Критерии оценивания**

Баллы	Элемент решения
3 балла	Указаны соотношения между световым потоком и звездной величиной
2 балла	Определен поток света от полной Луны
1 балл	Определено количество фотонов на квадратный метр
1 балл	Определена площадь зрачка
1 балл	Определено количество фотонов

**Задание 2. Пульсар (8 баллов).**

Пульсар, находящийся вблизи полюса эклиптики и имеющий массу в две массы Солнца ( $4 \cdot 10^{23} \text{ кг}$ ), излучает импульсы с периодом 1с. Точные измерения получаемых сигналов показали, что их период не строго постоянен и меняется с периодичностью 1 год с амплитудой  $10^{-8}$  с. Спутник какой массы, обращающийся вокруг пульсара по круговой орбите, может вызвать эти изменения?

**Решение.**

Пусть пульсар и его спутник обращается с периодом 1 год вокруг общего центра масс, расположенного вблизи центра пульсара. Обозначим массу пульсара через  $M$ , массу спутника через  $m$  и примем, что  $m < M$ . Пусть  $v$  -

скорость пульсара,  $v_c$  – скорость спутника, а  $r$ ,  $r_c$  – радиусы их круговых орбит вокруг центра масс. Тогда орбитальная скорость пульсара, определенная по эффекту Доплера, составит  $v = c\Delta T_{\text{п}} / T_{\text{п}} = 3$  м/с. В системе отсчета, связанной с центром масс, суммарный вектор импульса спутника и пульсара равен нулю, поэтому  $mv_c = Mv$ ,  $m = Mv/v_c$ . Скорость спутника по круговой орбите равна  $v_c = \sqrt{\frac{GM}{r_c}}$ . Находим:  $T = \frac{2\pi r_c}{v_c}$ , или  $v_c = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{T}}$ . Окончательно получаем для массы  $m = 3,2 \cdot 10^{26}$  кг, что составляет 53 массы Земли.

### Критерии оценивания

Баллы	Элемент решения
2 балла	Определена орбитальная скорость пульсара
1 балл	Использован закон сохранения импульса
2 балла	Определена скорость спутника на круговой орбите
1 балл	Определено соотношение для периода обращения
1 балл	Записана формула для вычисления массы спутника
1 балл	Проведен верный расчет

### Задание 3. Изменение климата(8 баллов).

Как и движение всех планет, движение Земли подчиняется первому закону Кеплера: каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Земная орбита отличается от круга настолько мало, что ее считают круговой (ее эксцентриситет составляет 0,017). Плутон, чья орбита самая вытянутая, имеет эксцентриситет 0,25. Вообразите, что орбита Земли заметно вытянута, и фокус делит ее большую полуось пополам (эксцентриситет 0,5). Какие изменения климата по сезонам года наблюдались бы на Земле?

#### Решение.

Используя законы Кеплера, можно предположить, что Земля по-прежнему была бы в январе в точке, ближайшей к Солнцу, а 1 июля в точке наиболее удаленной. В январе Солнце было бы ближе в несколько раз, чем в июле, а количество посылаемого тепла в январе (обратно пропорционально квадрату расстояния) больше, чем в июле. На севере Солнце стояло бы низко на небе и дни были бы короткие, а ночи длинные. Большая близость Солнца компенсировала невыгодные условия освещения. Согласно второму закону Кеплера, в декабре – феврале, когда Земля значительно ближе к Солнцу, планета двигалась бы по своей орбите быстрее, чем в июне-августе: в Северном полушарии зима «пробегала» бы быстро, а лето должно было бы тянуться долго. Для Южного полушария зима стала бы значительно более суровой и долгой, лето же, напротив, было бы невыносимо знойным, хотя и коротким. Изменения коснулись бы и времени наступления весеннего и осеннего равноденствий. Весеннее должно было бы наступать ближе к февралю, а день

осеннего равноденствия сместился бы к ноябрю. Еще одно следствие – значительные расхождения между моментами среднего и истинного полудня, которое достигало бы несколько часов. Жить по среднему солнечному времени, как мы живем, было бы неудобно.

### **Критерии оценивания**

Баллы	Элементы решения
2 балла	Указаны изменения в потоке тепла в течение года
2 балла	Проведен отдельный анализ для Северного и Южного полушарий
1 балл	Проанализирована длина светового дня
1 балл	Учтены изменения для осеннего и весеннего равноденствий
1 балл	Проанализированы сезонные изменения
1 балл	Учтены расхождения среднего и истинного полудня