

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по астрономии
Московская область, 2018/2019 учебный год

11 класс

Задача №1. В школьном астрономическом календаре на 2018/2019 гг. стр.75, есть такая запись: «В 532 г. до н.э. весной около звезды μ Водолея появилась «звезда-гостья», свидетельствует Чжу шу цзи нянь – один из важных письменных источников по истории Древнего Китая». Что это могло быть за астрономическое явление? Сколько лет назад произошло наблюдение этого события?

Ответ: Звёздами-гостями называли появлявшиеся на небе «новые» светила, которые в реальности являлись вспышками новых или сверхновых звёзд. Событие произошло $532+2018-1=2549$ лет (и несколько месяцев) назад. Число -1 корректирует пропуск в счете лет 0 г.н.э.

Критерии оценивания:

Полный ответ на первый вопрос оценивается в **4 балла**:

- За упоминание «сверхновые звёзды» или «новые звёзды» ставится по 2 балла за каждое
- Упоминание вспыхивающих звёзд без уточнения типа 3 балла.
- Упоминание других типов возможных астрономических явлений не оценивается.

Верное вычисление прошедшего времени оценивается в **4 балла**:

- Ответ в 2549 лет или ответ 2549 с долями года (или месяцами) или ответ 2550 лет, но полученный округлением верного ответа (с явным учетом -1) оценивается в 4 балла
- Ответ «примерно 2550 лет» или 2550 лет (с долями/месяцами или без них, но если он получен сложением 532 и 2018) оценивается в 1 балл

Итого за задачу: не более 8 баллов

Задача №2. Планеты в Солнечной системе принято разбивать на две группы – планеты-гиганты и планеты земной группы. Перечислите планеты, относящиеся к каждой из этих групп. Перечислите, чем именно характеризуется каждая из этих групп?

Ответ: К планетам земной группы относятся – Меркурий, Венера, Земля и Марс. К планетам гигантам относятся: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

Планеты земной группы:

- имеют твердую поверхность
- состоят в основном из плотных пород (силикатов и металлов)
- находятся во внутренней части Солнечной системы
- отсутствие или малое число спутников (и колец)

Планеты гиганты:

- Не имеют твердой поверхности
- Состоят в основном из водорода и гелия
- Имеют низкую среднюю плотность
- Имеют быстрое вращение вокруг оси
- Имеют большое число спутников и кольца

Критерии оценивания:

- Верные критерии принадлежности к группе планет **по 1 баллу** за каждый критерий, но не более 4 баллов за этот этап.
- Верное перечисление планет по типам **4 балла**.
- Снижает оценку на 1 балл отсутствие планеты в списках (за каждую), ошибочное соотнесение планеты и типа (за каждую), указание Плутона в списках.

Итого за задачу: не более 8 баллов (оценка не может быть отрицательной).

Задача №3. Для открытия экзопланет можно использовать метод, в котором регистрируется изменение блеска звезды из-за прохождения по её диску (транзита) планеты, обращающейся вокруг этой звезды. Почему первые экзопланеты, открытые этим методом, оказались теми, которые называют «горячими Юпитерами»?

Ответ: Такое название «горячие Юпитеры» эти планеты получили из-за того, что их размеры схожи с размерами Юпитера, а температуры очень высоки (сотни и даже тысячи градусов по шкале Цельсия). Такие высокие температуры означают, что расстояние от звезды до планеты невелико. Чтобы в нашей системе планета имела такую температуру её надо поместить внутрь орбиты Меркурия.

Большой размер планеты увеличивает глубину затмения, наблюдаемого при транзите, и вероятность того, что затмение вообще состоится (т.е. вероятность того, что планета частично закроет диск звезды при наблюдении с Земли). Чем больше изменение блеска, тем легче его зарегистрировать.

Близость планеты к центральной звезде увеличивает вероятность того, что с Земли будет наблюдаться затмение. Чем ближе планета к звезде (при прочих равных условиях), тем больше угол, из которого она проецируется на звёздный диск.

Критерии оценивания:

- **1 балл** указание на то, что «горячий Юпитер» - это значит большая планета
- **1 балл** указание на то, что «горячий Юпитер» - это значит близкая к звезде планета
- **3 балла** за указание на то, что близость планеты к звезде увеличивает вероятность затмения
- **2 балла** за указание на то, что большой размер планеты увеличивает глубину затмения (или величину изменения блеска), что облегчает регистрацию транзита
- **1 балл** за указание на то, что большой размер планеты увеличивает вероятность затмения (транзита)

Итого за задачу: не более 8 баллов.

Задача №4. Составьте корректные пары «спутник - планета»:

Деймос	Меркурий
Ганимед	Венера
Фобос	Земля
Луна	Марс
Тритон	Юпитер
Титан	Сатурн
Каллисто	Уран
Европа	Нептун

Ответ:

Деймос – Марс
 Ганимед – Юпитер
 Фобос – Марс
 Луна – Земля
 Тритон – Нептун

Титан – Сатурн
Каллисто – Юпитер
Европа – Юпитер

Критерии оценивания:

За каждую верную пару ставится 1 балл

За каждую пару с Меркурием и Венерой вычитается по 1 баллу

Итого за задачу: не более 8 баллов (оценка не может быть отрицательной).

Задача №5. Известно, что звезда Вега (α Лиры, координаты $\alpha = 18^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$, $\delta = +38^{\circ}47'$) в некоторый день прошла через зенит ровно в местную полночь. Определите дату наблюдений и широту места наблюдения.

Решение: Нам дано, что Вега проходит через зенит. Это означает, что в момент верхней кульминации Вега находится в зените. Следовательно, взяв формулу верхней кульминации:

$$h_B = (90^{\circ} - \varphi) + \delta = 90^{\circ}$$

мы увидим, что для этого случая:

$$\varphi = \delta = 38^{\circ}47' \text{ с. ш.}$$

Теперь определим время наблюдений. В условии речь идет о местной полночи. В этот момент Солнце находится в своей нижней кульминации. Это означает, что Вега и Солнце лежат на одном большом круге небесной сферы и их прямые восхождения отличаются на 12ч (или 180°). Т.е. прямое восхождение Солнца будет: $\alpha = 18^{\text{ч}} 37^{\text{м}} - 12^{\text{ч}} 00^{\text{м}} = 6^{\text{ч}} 37^{\text{м}}$. Это на 37 минут к востоку от точки летнего солнцестояния, которое Солнце проходит 22 июня. Осталось посчитать за сколько дней Солнце пройдет по эклипке угол в 37 минут (несмотря на то, что прямое восхождение отсчитывается по небесному экватору, а не по эклипке, мы будем считать, что отличие в этих углах невелико). Наше светило проходит по эклипке:

$$\omega_{\odot} = \frac{360^{\circ}}{365,2426 \text{ дня}} \approx 0,99^{\circ} \text{ в день}$$

Переведем 37 минут в градусы $37/4 = 9,25^{\circ}$, так как в одном градусе 4 временных минуты. И второй важный фактор – вблизи солнцестояний Солнце движется параллельно небесному экватору, поэтому наклон эклипке к небесному экватору можно не учитывать. Следовательно, пройдет $9,25/0,99 \approx 9,3$ дня. И мы получаем дату – 1 июля или самое начало 2 июля (22 июня + 9,3).

Ответ: широта $\varphi = 38^{\circ}47' \text{ с. ш.}$; дата 1-2 июля.

Критерии оценивания:

- Определение широты места наблюдения 3 балла
- Определение прямого восхождения Солнца 1 балл
- Вывод о близости к точке летнего солнцестояния 1 балл
- Расчет времени, прошедшего со дня солнцестояния, 2 балла
- Правильный итоговый ответ 1 или 2 июля 1 балл

Итого за задачу: не более 8 баллов.

Задача №6. Зная температуру фотосферы Солнца (5800 К) и альбедо Луны (11%), найдите температуру поверхности Луны в подсолнечной точке. При решении можно воспользоваться справочными данными, приведёнными ниже. Орбиты Земли и Луны считать круговыми.

Решение.

Падающее на Луну излучение Солнце частично отражается от её поверхности (11% падающего излучения), а оставшаяся часть (89%) идёт на нагрев Луны.

Т.к. теплопроводность лунного грунта не бесконечно велика, то температура не одинакова по всей поверхности Луны и зависит от положения Солнца над горизонтом. Однако, можно считать, что для каждой конкретной точки поверхности в каждый момент времени устанавливается некоторое равновесие – сколько энергии поглощается (в основном в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра), столько потом излучается (в инфракрасном диапазоне).

Известно, что на 1 кв. м поверхности безатмосферного тела на расстоянии Земли от Солнца (а это как раз Луна) падает 1380 Вт солнечной энергии. Это так называемая солнечная постоянная. Эту величину можно помнить, а можно вычислить:

освещенность, создаваемая Солнцем на Луне (где a – расстояние от Солнца до Земли, т.к. расстояние от Солнца до Луны все время меняется, но этим изменением можно пренебречь):

$$E_{\text{Луны}} = \frac{L}{4\pi a^2} \approx 1380 \text{ Вт/м}^2$$

L — светимость Солнца (дана в справочных материалах (можно её помнить))

Из этой энергии 11% отражается, а энергия $(1-0,11) \cdot E_{\text{Луны}} = 1228$ Вт идёт на нагрев поверхности площадью 1 м^2 в подсолнечной точке поверхности Луны.

Известно, что 1 м^2 абсолютно черного тела (а нагретые твёрдые тела излучают почти как АЧТ) излучает в соответствии с законом Стефана-Больцмана, и мощность излучения при этом равна:

$$E_{\text{АЧТ}} = \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, а T – искомая температура.

Приравняв эти две величины ($E_{\text{Луны}}$ и $E_{\text{АЧТ}}$), получим:

$$\frac{L}{4\pi a^2} = \sigma T^4$$

Откуда:

$$T = \sqrt[4]{1380 \cdot \frac{1 - 0,11}{\sigma}} \approx 380 \text{ К}$$

Таким образом, температура подсолнечной точки на Луне получается достаточно высокой – примерно 380 К или почти 100° С .

Ответ: примерно 380 К или примерно 100° С

Критерии оценивания:

- Правильная модель происходящего явления (она может быть сформулирована словами, а может быть записана в виде формул) – понимание того, что теплопроводность ограничена, поэтому надо рассматривать (при определении температуры подсолнечной точки) локальное равновесие «нагрев-охлаждение» – оценивается в **2 балла**. Если в расчётах сравнивалась вся энергия, падающая на всю освещённую полусферу Луны, с энергией, изучаемой всей поверхностью Луны с конечным ответом в $\sim 270 \text{ К}$, то эти 2 балла не выставляются.
- Верная запись закона Стефана-Больцмана – оценивается в **1 балл**
- Запись готового значения или вычисление солнечной постоянной – оценивается в **2 балл**

- Правильный учёт альbedo (в формуле или в вычислениях) – оценивается в **1 балл**
- Вычисление искомой температуры – оценивается в **1 балл**
- Арифметическая ошибка штрафует одним (1) баллом за этап, в котором она была совершена. Последующие этапы оцениваются в полной мере
- В случае не верно выбранной в начале модели явления и вычисления не температуры подсолнечной точки, а равновесной температуры Луны (с верным ответом примерно 270 К) – критерий, связанный с солнечной постоянной, можно заменить на «вычисление или запись формулы для полной энергии, падающей на всю освещённую поверхность Луны». Остальные критерии применимы и для этого случая, но максимальная оценка не может превышать 6 баллов
- При физически ошибочном ответе (например, температура > температуры Солнца) оценка не может превышать 4 баллов

Итого за задачу: не более 8 баллов

Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6.672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$

Скорость света в вакууме $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Постоянная Больцмана $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$

Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$

Постоянная Планка $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

Масса протона $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Масса электрона $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Парсек 1 пк = 206265 а.е. = $3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Постоянная Хаббла $H = 70 \text{ (км/с)/Мпк}$

Светимость Солнца $L = 3.9 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$