



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ. 2020–2021 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

Задача 1

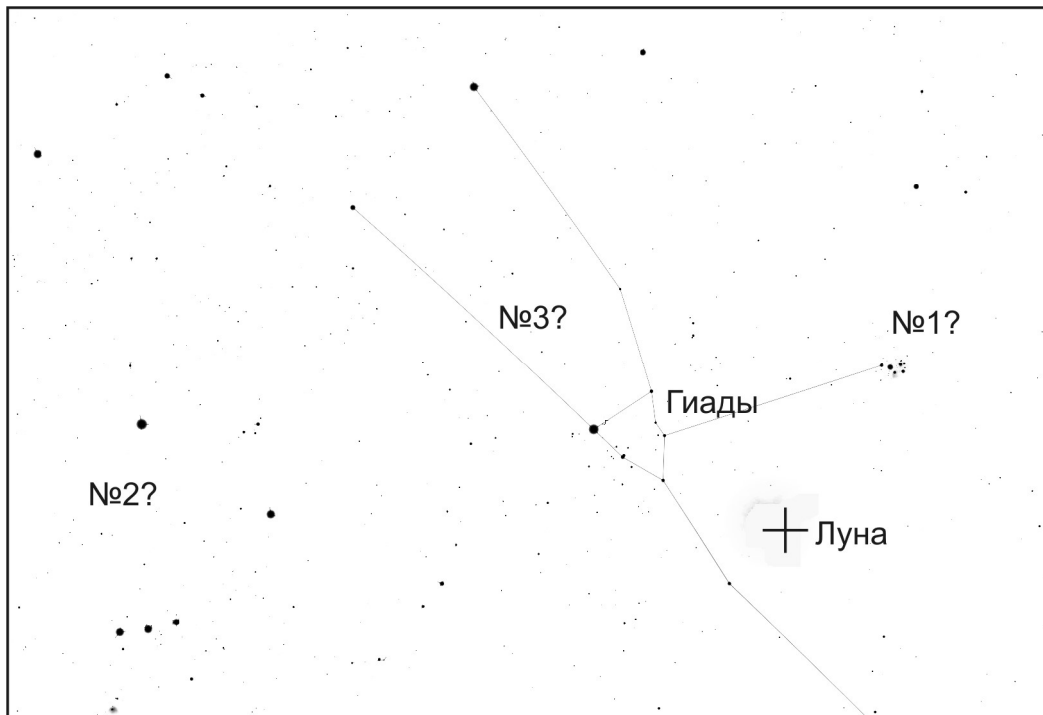
На рисунке показан фрагмент звёздной карты. Нижняя граница рисунка совпадает с западной частью горизонта в месте наблюдения в средних широтах Северного полушария Земли. Крестиком на рисунке отмечено положение молодой Луны.

Как Вы считаете, Луна в ближайшие дни уже была или ещё только будет в скоплении Гиады?

В какую сторону (к Гиадам или от них) направлены «рога» месяца?

Какой объект обозначен №1?

Какие созвездия обозначены №2 и №3?



Ответ: наблюдения ведутся в средних широтах Северного полушария Земли, при этом молодая Луна находится вблизи горизонта в его западной части. Это означает, что мы наблюдаем заход молодой Луны, а Солнце уже скрылось под горизонтом. Молодая Луна движется по небу от Солнца, а значит, она ещё не была в скоплении Гиады, но вскоре может в него вступить. «Рога» молодой Луны всегда направлены от Солнца, т.е. они «смотрят» в направлении Гиад. Значком №1 помечено рассеянное скопление Плеяды, №2 – созвездие Ориона, №3 – созвездие Тельца. *Объяснений ответов от участников не требуется (здесь оно дано в кратком виде для сведения проверяющих).*

Критерии оценивания:

- Верный ответ на вопрос о прохождении Гиад **+2 балла**.
- Верный ответ на вопрос о направлении «рогов» месяца относительно Гиад **+2 балла**.
- Полный верный ответ на вопрос об объекте №1 (наличие слов «Плеяды», «М45» и «скопление») **+2 балла** (по 1 баллу за название («Плеяды», М45) и тип (скопление)).
- Верное название созвездия №2 **+1 балл**.
- Верное название созвездия №3 **+1 балл**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 2

Выберите верные утверждения.

- 1) Все звёзды-сверхгиганты красного цвета.
- 2) Самой длительной стадией эволюции звезды является термоядерное горение водорода в ядре.
- 3) Всякая большая планета Солнечной системы больше всякого спутника планеты.
- 4) В Москве Канопус можно наблюдать в марте.
- 5) За год на экваторе Земли можно увидеть любое созвездие.
- 6) Луна в фазе первой четверти в средних широтах Северного полушария Земли видна после полуночи.
- 7) Радиант никак не связан с измерением углов.
- 8) Юпитер в восточной квадратуре виден после захода Солнца.

Ответ: 2, 5, 7, 8

Критерии оценивания:

- Каждый правильный ответ **по + 2 балла**.
 - Каждый неправильный ответ **минус 2 балла**.
- Суммарная оценка не может быть отрицательной.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 3

Какие из перечисленных методов являются прямыми методами определения расстояния в астрономии?

- 1) радиолокация
- 2) лазерная локация
- 3) «стандартная свеча»
- 4) годичный параллакс
- 5) закон Хаббла

Ответ: 1, 2, 4

Критерии оценивания:

- Указание радиолокации и лазерной локации по **+2 балла** за каждый метод.
- Указание годичного параллакса **+4 балла**.
- Указание закона Хаббла или «стандартной свечи» снижает оценку на **2 балла** за каждый метод.

Суммарная оценка не может быть отрицательной.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 4

Известно, что звёзды образуются в гигантских молекулярных облаках, в которых концентрация частиц намного больше, чем в окружающей межзвёздной среде. В одном из таких облаков число молекул водорода в объёме, равном объёму земного шара, составляет $2.2 \cdot 10^{29}$. Радиус облака равен 20 пк. Чему равна концентрация молекул в нём? Считая, что облако полностью состоит из молекул водорода, определите его массу в массах Солнца. Радиус Земли $R_{\oplus} = 6378.2$ км, масса Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг, масса протона $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Решение

1) Концентрация частиц – это число частиц в единице объёма, например, в 1 см^3 . Для рассматриваемого случая:

$n = \frac{N_{\oplus}}{V_{\oplus}}$, где N_{\oplus} – число молекул водорода в объёме, равном объёму Земли V_{\oplus} .

$$n = \frac{N_{\oplus}}{V_{\oplus}} = \frac{N_{\oplus}}{\frac{4}{3}\pi R_{\oplus}^3} = \frac{3N_{\oplus}}{4\pi R_{\oplus}^3},$$

$$n \approx \frac{3 \cdot 2.2 \cdot 10^{29}}{4 \cdot 3.14 (6378.2 \cdot 10^3)^3 \text{ м}^3} \approx 2 \cdot 10^8 \frac{\text{частиц}}{\text{м}^3}.$$

2) Полное число молекул в облаке:

$$N = nV = n \cdot \frac{4}{3}\pi R^3, \text{ где } R \text{ – радиус облака.}$$

Вспомним, что $1 \text{ пк} = 3.086 \cdot 10^{13} \text{ км} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$. Можно помнить, что $1 \text{ пк} = 206265 \text{ а.е.}$ или получить ту же величину из определения парсека.

$$N \approx 2 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{м}^3} \cdot \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot (20 \cdot 3.086 \cdot 10^{16})^3 \text{ м}^3 \approx 2 \cdot 10^{62}.$$

3) Облако состоит из молекул водорода, масса каждой молекулы $m = 2m_p$ (массой электрона по сравнению с массой протона мы пренебрегаем).

Масса всего облака: $M = mN = 2m_p N$

$$M = 2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 2.0 \cdot 10^{62} \approx 6.68 \cdot 10^{35} \text{ кг}$$

В массах Солнца $\frac{M}{M_\odot} \approx \frac{6.68 \cdot 10^{35} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{30} \text{ кг}} \approx 3.3 \cdot 10^5$. Эта величина вполне типична для гигантского молекулярного облака.

Ответ: $n \approx 200 \frac{\text{частиц}}{\text{см}^3} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{частиц}}{\text{м}^3}$, $M \approx 3.3 \cdot 10^5 M_\odot$.

Критерии оценивания:

- Правильное вычисление концентрации молекул **+2 балла**.
- Вычисление полного числа молекул в облаке (допускаются отличия, вызванные округлениями либо явно указанными приближениями: например, можно написать, что будем считать облако кубическим по форме, и использовать вместо формулы для объёма шара формулу для объёма куба) **+3 балла**.
- Вычисление массы облака **+2 балла**, если участник забыл, что масса молекулы водорода равна двум массам протона, то за этот этап выставляется **1 балл**.
- Выражение массы облака в массах Солнца **+1 балл**.

В решении промежуточные вычисления могут быть вполне опущены, в таком случае объединённый этап оценивается суммой баллов за те этапы, которые были в него включены. В этом случае при большом отклонении итогового ответа ставится **0 баллов** за один «самый дорогой» этап.

В случае арифметической ошибки, не приведшей к физически (или астрономически) некорректному результату – **минус 1 балл** за каждую; если ошибка привела к конечному отклонению ответа на несколько порядков величины, то за соответствующий этап вычислений ставится **0 баллов**, но следующие этапы решения за эту ошибку не наказываются.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 5

Как известно, Солнце в какой-то момент своей эволюции станет красным гигантом. При этом его радиус увеличится в 100 раз, а температура уменьшится в 2 раза от текущих значений. На какое расстояние нашим далёким потомкам надо отодвинуть Землю от Солнца, чтобы температурные условия на её поверхности не изменились? Приведите решение.

Решение

Для того чтобы условия на Земле не изменились, требуется, чтобы не менялась освещённость, создаваемая Солнцем на Земле (т. е. количество энергии, падающее на единицу площади за единицу времени). Освещённость пропорциональна отношению $\frac{L}{a^2}$ (где L – светимость звезды, а a – расстояние от звезды до планеты), а расстояние $a \sim \sqrt{L}$.

Светимость звезды выражается через её радиус R и температуру T_* : $L = 4\pi R^2 \sigma T_*^4$. Т. е. $L \sim R^2 T_*^4$.

Для описываемого в условии случая светимость Солнца возрастет от нынешнего значения в $\frac{100^2}{2^4} = 625$ раз. Значит, для сохранения освещённости на прежнем уровне расстояние должно увеличиться в 25 раз. Т. е. надо отодвинуть Землю на расстояние 25 а.е. от центра Солнца (или переместить её орбиту на 24 а.е. от текущего положения).

Ответ: на расстояние 25 а.е. от центра Солнца

Критерии оценивания:

- Вывод или запись в готовом виде (в полном или в сокращённом, например, $\frac{L}{a^2}$ или $a \sim \sqrt{L}$) формулы зависимости расстояния до планеты от светимости (или радиуса и температуры) звезды **+4 балла** (если в решении приводится вывод формулы, то 2 балла ставится за запись формулы для светимости абсолютно чёрного тела и 2 балла – за сам вывод).
- Получение верного численного ответа **+4 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 6

Среднее поглощение света в Галактике в видимом диапазоне длин волн характеризуется величиной $0,002^m/\text{пк}$, т. е. свет ослабляется примерно на 0,2% за каждый парсек пути. В плоскости Млечного пути с расстояния 8 кпк наблюдается некая звезда с видимым блеском 18,5 звёздной величины. В каком случае эта звезда казалось бы более яркой – при наблюдении её с расстояния 4 кпк или с прежнего расстояния, но при отсутствии поглощения света? Приведите решение.

Решение

Найдём сначала блеск звезды в отсутствие поглощения в Галактике m_0 . Полное поглощение $A = 0,002 \cdot 8000 = 16^m$. Т. е. из-за поглощения блеск ослаблен на 16 звёздных величин. Отсюда $m_0 = 18,5 - 16 = 2,5$.

Найдём блеск этой звезды с расстояния $d_4=4$ кпк в отсутствие поглощения (m_4). Запишем формулу Погсона:

$$m_4 - m_0 = 2,5 \lg \left(\frac{d_4}{d_0} \right)^2 = 2,5 \lg \left(\frac{4000}{8000} \right)^2 \approx -1,5$$

Т. е. $m_4 = 1^m$. Вычислим поглощение на расстоянии 4 кпк: $A = 0,002 \cdot 4000 = 8^m$ и найдём наблюдаемую звёздную величину звезды с учётом поглощения с расстояния 4 кпк: $m = 9^m$.

Как мы видим, она больше, чем m_0 , а значит, звезда с расстояния 4 кпк будет выглядеть слабее.

Ответ: более яркой будет выглядеть звезда с прежнего расстояния в отсутствие поглощения в Галактике

Критерии оценивания:

- Запись формулы Погсона **+1 балл**.
- Определение полного поглощения в звёздных величинах (или в «разах» – примерно 2,5 млн раз) для расстояния 8 кпк **+2 балла**.
- Вычисление звёздной величины для 8 кпк в отсутствие поглощения **+1 балл**.
- Вычисление звёздной величины для 4 кпк при наличии поглощения **+2 балла**.
- Запись верного ответа (даже при отсутствии решения) **+2 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Всего за работу – 48 баллов.