



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО АСТРОНОМИИ. 2020–2021 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 8–9 КЛАССЫ

Задача 1

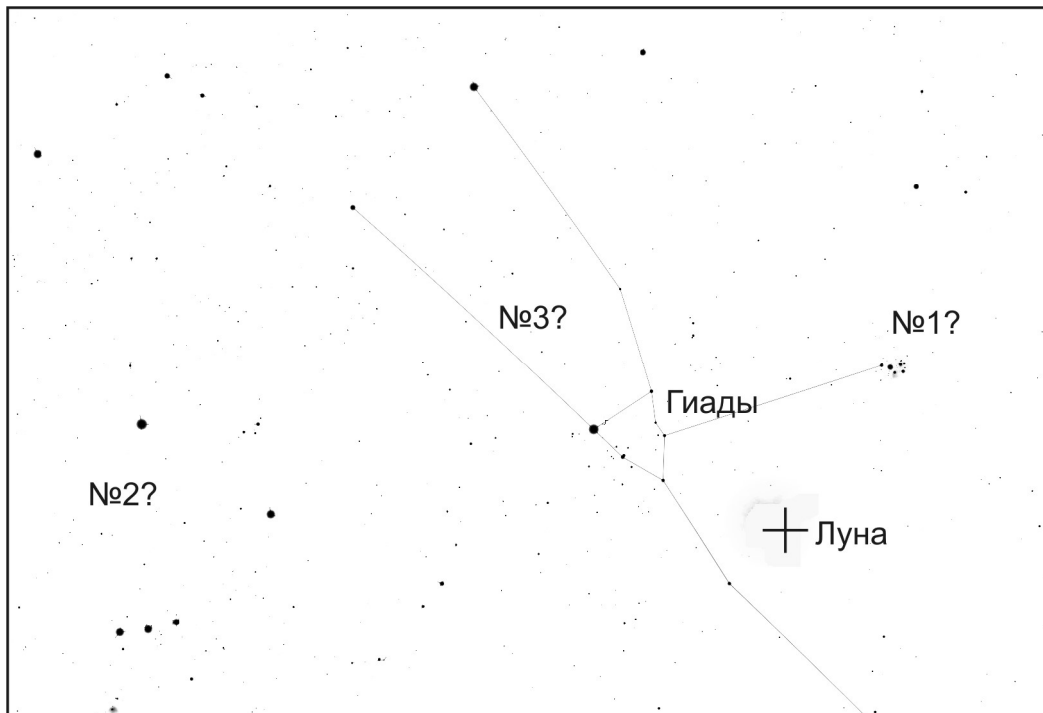
На рисунке показан фрагмент звёздной карты. Нижняя граница рисунка совпадает с западной частью горизонта в месте наблюдения в средних широтах Северного полушария Земли. Крестиком на рисунке отмечено положение молодой Луны.

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

Расставьте приведённые величины в порядке возрастания.

- 1) 0,001 светового года
- 2) 2,2 млрд км
- 3) 4,7 а.е.
- 4) 48000 а.е.
- 5) 0,001 пк

Ответ: 32154

Критерии оценивания:

- Верная последовательность **+8 баллов**.
 - В случае неверной последовательности за каждую требующуюся парную перестановку (замена местами двух цифр) снимается **3 балла**.
- Оценка не может быть отрицательной.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 3

В таблице приведены списки объектов каталога Мессье, их типов и созвездий. Сопоставьте три списка и приведите ответ в виде комбинации римской цифры (номер объекта в таблице), буквы (номер созвездия в таблице) и арабской цифры (тип объекта).

Объект каталога Мессье	Созвездие	Тип объекта
I) M57 («Кольцо»)	А) Телец	1) Планетарная туманность
II) M1 («Крабовидная туманность»)	Б) Лира	2) Остаток взрыва сверхновой
III) M31 («Туманность Андромеды»)	В) Геркулес	3) Галактика
IV) M45 («Плеяды»)	Г) Андромеда	4) Шаровое звёздное скопление
V) M13	Д) Малая Медведица	5) Рассеянное звёздное скопление
	Е) Южный крест	6) Карликовая планета

Ответ:

I	II	III	IV	V
Б	А	Г	А	В
1	2	3	5	4

Критерии оценивания:

- Полностью верная последовательность **+2 балла** (для получения полного балла за задачу достаточно верно указать 4 объекта).
 - Если целиком последовательность неверна, то
 - верная комбинация объекта и созвездия **+1/2 балла**;
 - верная комбинация объекта и типа **+1/2 балла**;
 - верная комбинация созвездия и типа объекта отдельно не оценивается.
- Окончательная оценка за задачу получается округлением к большему целому.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 4

Во сколько раз отличаются годичный и суточный параллакс некоторой очень далёкой карликовой планеты с большой полуосью A а.е.? Приведите решение.

Решение

Т. к. в условии сказано, что планета находится очень далеко и нам неизвестно её положение на орбите относительно Земли, будем считать, что расстояние от Земли до планеты также равно A . Вспомним определение суточного и годичного параллаксов.

Суточным параллаксом называется угол, под которым с тела виден радиус Земли (т.е. отрезок примерно в 6400 км): $\operatorname{tg} p = \frac{R_{\oplus}}{A}$. Т. к. угол p очень мал (планета очень далёкая по условию), то можно записать $p = \frac{R_{\oplus}}{A}$ (здесь угол p выражен в радианах).

Годичным параллаксом называется угол, под которым с тела виден радиус земной орбиты (т. е. отрезок в 150 млн. км): $\operatorname{tg} \pi = \frac{a}{A}$. Т. к. угол π очень мал (планета очень далёкая по условию, поэтому радиус её орбиты A гораздо больше радиуса орбиты Земли a), то можно записать $\pi = \frac{a}{A}$ (здесь угол π выражен в радианах).

Из записанных определений легко найти ответ:

$$\frac{\pi}{p} = \frac{a}{A} : \frac{R_{\oplus}}{A} = \frac{a}{R_{\oplus}} = \frac{150 \text{ млн. км}}{6400 \text{ км}} \approx 23440.$$

Как мы видим, ответ не зависит от расстояния A .

Ответ: годичный параллакс примерно в 23440 раз больше суточного (конкретное значение зависит от принятой величины радиуса Земли)

Критерии оценивания:

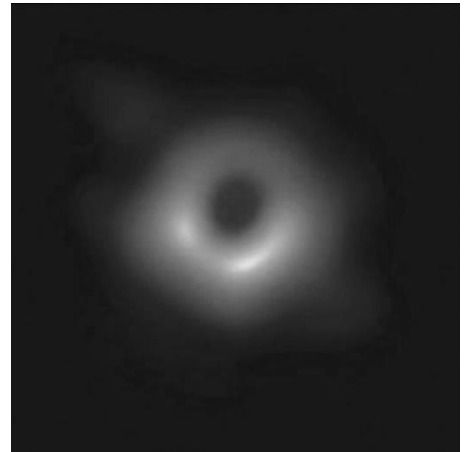
- Запись (в виде формулы или словами) определения суточного параллакса **+2 балла**.
- Запись (в виде формулы или словами) определения годичного параллакса (формулы для параллаксов могут быть записаны как с функцией tg , так и сразу в приближённом виде) **+2 балла**.
- Запись отношения суточного и годичного параллаксов (с arctg или без него) **+2 балла**.
- Получение числового ответа **+2 балла**.

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 5

В сообщениях о наблюдениях «тени» черной дыры в галактике M87 ($RA=12^h31^m$, $DEC=+12^\circ24'$) указаны команды следующих радиотелескопов телескопов–участников этой большой научной программы:

- 1) APEX и ALMA ($\varphi = 23^\circ$ ю.ш., $\lambda = 68^\circ$ з.д.)
- 2) SPT ($\varphi = 90^\circ$ ю.ш., $\lambda = 0^\circ$ в.д.)
- 3) SMA и JCMT ($\varphi = 20^\circ$ с.ш., $\lambda = 155^\circ$ з.д.)
- 4) LMT ($\varphi = 19^\circ$ с.ш., $\lambda = 97^\circ$ з.д.)
- 5) PV ($\varphi = 37^\circ$ с.ш., $\lambda = 3^\circ$ з.д.)
- 6) SMT ($\varphi = 32^\circ$ с.ш., $\lambda = 110^\circ$ з.д.)



Тем не менее, не все телескопы–участники программы могут в принципе увидеть указанную галактику. Какие телескопы могут наблюдать M87, а какие не могут? Какой телескоп мог наблюдать эту галактику выше всего над горизонтом? Ответ объясните.

Решение

Т. к. наблюдения велись в радиодиапазоне (а такие наблюдения могут проводиться и днём), то долготы телескопа не может влиять на видимость объекта – если в данной местности галактика восходит над горизонтом, то её можно наблюдать с радиотелескопом.

Склонение галактики указывает на то, что она находится недалеко (примерно в $12,5^\circ$) от небесного экватора в Северном полушарии неба. Таким образом, эту галактику можно наблюдать практически на всех широтах Земли, кроме областей, близких к Южному полюсу. Из приведённого списка лишь один телескоп находится в такой области (причём точно на Южном полюсе, поэтому можно даже не применять формулу для получения ответа) – телескоп SPT. Именно с ним невозможно наблюдать этот объект.

Сказанное выше можно получить и путём вычислений. Известно, что высота светила в верхней кульминации в Южном полушарии Земли (т. е. для отрицательной широты) вычисляется по формуле: $h = 90^\circ + \varphi - \delta$. Высота будет меньше 0 (кульминация под горизонтом – объект никогда не виден) при $\varphi < \delta - 90^\circ$, т. е. для галактики M87 при $\varphi < -77^\circ36'$. Этому условию удовлетворят лишь SPT телескоп.

Для ответа на вторую часть вопроса можно также выписать формулу для верхней кульминации для Северного полушария (т. к. объект Северного полушария неба, склонение положительно) и получить из неё ответ, а можно вспомнить, что в зените кульминируют звёзды со склонением, равным широте места. Т. е. M87 будет кульминировать в зените на широте примерно 12° с.ш. Ближе всего к этой широте расположен телескоп LMT.

Ответ: наблюдать галактику над горизонтом могут все телескопы, кроме SMT; выше всего галактику мог наблюдать LMT.

Критерии оценивания:

- Верный ответ на первый вопрос (достаточно указать либо телескопы, которые могут наблюдать, либо указать, что SPT не может наблюдать) **+2 балла.**
- Верный ответ на второй вопрос (LMT) **+2 балла.**
- Верное обоснование ответа на первый вопрос (сказать, что SPT наблюдать не может, т. к. для него галактика никогда не восходит, недостаточно для того, чтобы сразу отсеять все другие телескопы. Требуется проверить и видимость из других мест; использовать формулу при этом необязательно) **+2 балла.**
- Верное обоснование ответа на второй вопрос (использовать формулу необязательно) **+2 балла.**

Максимум за задачу 8 баллов.

Задача 6

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.

Всего за работу – 48 баллов.