

XXX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
теоретический тур, решения

2023
12
февраля

7–8 классы

1. Ясной декабрьской ночью близ полуночи начинающему петербургскому астроному Васе удалось увидеть активный метеорный поток. Вася заметил, что метеоры разлетались будто бы из точки, находящейся близ яркой белой звезды. Какой это мог быть поток — Геминиды или Сагиттариды? Около какой звезды мог находиться радиант метеоров?

Решение:

Сначала определим, каким созвездиям принадлежат потоки. Геминиды — метеорный поток из созвездия Близнецов (Gemini — латинское название созвездия), Сагиттариды — метеорный поток из созвездия Стрельца (Sagittarius — аналогично). Заметим, что созвездие Близнецов — зимнее, созвездие Стрельца — летнее, при этом высоко над горизонтом не поднимается. Поскольку наблюдения велись в январе, то наблюдались Геминиды. Данный поток, действительно, активный и более известный, существенно активнее Сагиттарид.

Определим, около какой звезды мог наблюдаться радиант потока. В созвездии Близнецов наиболее яркие звезды — Кастор и Поллукс. Кастор — звезда белого цвета, Поллукс — звезда оранжевого цвета, так что речь идет о Касторе, α Gem.

Комментарии:

3 балла за пояснение, почему это Геминиды, а не Сагиттариды.

1 балл за верный ответ — Геминиды.

2 балла за пояснение, как была выбрана звезда.

1 балл за верный ответ — Кастор.

1 балл за пояснение, почему это не Поллукс, а Кастор.

Была группа участников, которые писали, что звезда — это Солнце. В случае отсутствия решения, а наличия только ответа с верным потоком за это ставился 0, как за грубую ошибку.

Была группа участников, которые писали в ответе «Кастор или Поллукс». Это не засчитывалось за верный/частично верный ответ.

Также многие забывали пояснять, почему это именно Кастор, а не Поллукс. В случае верного решения за это ставилось 7 баллов из 8.

А.В.Веселова

2. Угловой диаметр симметричного остатка сверхновой СТВ 1 составляет $30'$, расстояние до него равно 10 тысяч световых лет. При взрыве сверхновой возникла нейтронная звезда, которая движется со скоростью 1000 км/с. Возникнув в месте, соответствующем центру остатка, нейтронная звезда в настоящее время наблюдается рядом с границей остатка. Оцените возраст нейтронной звезды в данный момент.

Решение:

В задаче нет никакой информации о том, в какую сторону летит нейтронная звезда, поэтому будем считать, что ее скорость перпендикулярна лучу зрения и звезда для земного наблюдателя все время летит от центра к краю остатка вдоль его радиуса, так что за время жизни она должна пройти радиус остатка. Известно, что диаметр остатка $30'$. Надо сосчитать, чему равен радиус в метрических единицах. Это можно сделать разными методами, с большим или меньшим количеством расчетов. Например, можно вспомнить, что Солнце, диаметром почти в $1/100$ а.е. на расстоянии 1 а.е. выглядит как диск с таким же диаметром $30'$. Расстояние до Солнца в световых единицах можно рассчитать, помня, чему равны скорость света и астрономическая единица, либо вспомнить, что от Земли до Солнца 8 световых минут. Также сначала можно привести все данные в задаче в одну систему единиц (например, в СИ), а потом сосчитать ответ.

Но, видимо, самый вычислительно простой способ оценки выглядит так. Известно, что катет, противолежащий углу в 30° , в 2 раза короче гипотенузы. Угол в $30'$ в 60 раз меньше угла в 30° , следовательно, катет, противолежащий ему будет примерно в 120 раз короче гипотенузы. Если за гипотенузу взять расстояние до остатка сверхновой, а за катет его диаметр, то можно сказать, что диаметр остатка в 120 раз короче расстояния до него. Следовательно, радиус остатка в 240 раз короче расстояния до него. Таким образом получаем, что радиус остатка равен примерно $2500/60$ св. лет. Скорость нейтронной звезды, равная 1000 км/с в 300 раз меньше скорости света, равной 300000 км/с. Следовательно, радиус остатка звезда пройдет за время, в 300 раз большее, чем свет. Осталось умножить радиус остатка в световых годах на 300 и получить $2500 \cdot 300/60 = 12.5$ тыс.лет.

Также надо учесть, что на расстоянии 10 тыс.св.лет мы видим звезду моложе на 10 тыс.лет. Так что истинный возраст нейтронной звезды можно оценить в 22.5 тыс.лет.

Понятно, что только оценка, т.к. нейтронная звезда могла лететь не перпендикулярно лучу зрения (тогда оценка возраста увеличилась бы), либо скорость движения могла уменьшиться за время жизни звезды (тогда оценка возраста была бы меньше).

Комментарии:

Многие участники создали себе большие вычислительные трудности, когда стали переводить все единицы измерения в СИ, хотя ясно было, что для этой задачи естественными единицами должны быть год, световой год и скорость света.

М.В.Костина

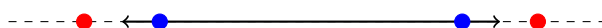
3. Вчера в 10^h05^m Луна наблюдалась на расстоянии $2^\circ.5$ от Спикки. Послезавтра в 22^h16^m Луну можно будет увидеть на расстоянии $1^\circ.4$ от Антареса. Определите по этим данным максимально возможное и минимально возможное угловое расстояние между Спикой и Антаресом.

Решение:

Луна движется вокруг Земли по вытянутой орбите, поэтому ее скорость в разные моменты времени несколько отличается, но за неимением соответствующих данных будем считать, что движение происходит равномерно.

Известно, что сидерический месяц (период, с которым Луна возвращается на то же место на небе относительно звезд) составляет около $27\frac{1}{3}$ суток или $27 \cdot 24 + 8 = 656$ часов. За это время Луна проходит на небе 360° , следовательно, движется со скоростью около $360/656 \approx 0^\circ.55$ в час. Между двумя указанными событиями прошло $3 \cdot 24 + 12 = 84$ часа с небольшим, за это время Луна должна была пройти примерно 46° .

Остается определиться с минимальным и максимальным значениями. Они получатся, если обе звезды окажутся на траектории движения Луны (см. рисунок), причем максимум будет соответствовать положениям звезд, отмеченным красным, а минимум— синим.



Рисунок, конечно, не в масштабе.

Таким образом, минимальное расстояние — это $46^\circ - 1^\circ.4 - 2^\circ.5 \approx 42^\circ$, максимальное — $46^\circ + 1^\circ.4 + 2^\circ.5 \approx 50^\circ$.

В реальности оба указанных момента соответствуют подходу Луны на минимальное расстояние к обоим звездам, причем в обоих случаях Луна севернее звезд. Поэтому реальное расстояние с очень хорошей точностью совпадает с полученным нами средним значением, 46° .

Комментарии:

- 1) Верно посчитана скорость передвижения Луны по небесной сфере — 3 балла. Скорость Луны посчитана неточно — 2 балла (очень часто делались ошибки в вычислениях или сильные округления). Если использован синодический период — 1 балл.
- 2) Верно посчитано расстояние между двумя положениями Луны — 2 балла. В вычислениях есть неточности — 1 балл (во многих работах участники неправильно находят промежуток времени, чаще всего пишут 2.5 сут, вместо 3.5).
- 3) Правильно понято, что значит минимально и максимально возможные расстояния между звездами. Верно посчитаны эти значения — 3 балла. Найдено только одно из расстояний — 1 балл.

П.А.Тараканов

4. В Млечном Пути молекулярный водород расположен в виде кольцеобразной структуры. Для простоты будем считать, что это кольцо имеет внутренний радиус 4 килопарсека и внешний радиус 8 килопарсек при толщине 50 парсек. Масса газа равна $3 \cdot 10^9$ массы Солнца. Оцените среднюю плотность газа в кольце. Масса Солнца равна $2 \cdot 10^{30}$ кг, один парсек равен $3 \cdot 10^{16}$ м.

Решение:

Плотность газа равна массе, деленной на объем:

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Объем структуры равен разности объемов двух цилиндров — с внутренним и внешним радиусом:

$$V = \pi R_2^2 h - \pi R_1^2 h = \pi(R_2^2 - R_1^2)h = \pi \left((8 \cdot 10^3)^2 - (4 \cdot 10^3)^2 \right) \cdot 50 = \pi \cdot 48 \cdot 10^6 \cdot 50 = 7.5 \cdot 10^9 \text{ пк}^3.$$

Переведем кубические парсеки в кубические метры: $7.5 \cdot 10^9 \cdot (3 \cdot 10^{16})^3 = 2 \cdot 10^{59} \text{ м}^3$. Далее переведем массу облака из масс Солнца в килограммы, затем оценим плотность:

$$\rho = \frac{3 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{2 \cdot 10^{59}} = 3 \cdot 10^{-20} \text{ кг/м}^3.$$

Комментарии:

Формула для плотности как отношения массы к объему — 2 балла.

Формула для объема кольцевой структуры как разность объемов цилиндров — 3 балла.

Подстановка данных, перевод в систему СИ — 2 балла.

Ответ — 1 балл.

Общие замечания: в случаях использования странных геометрических «тел» вместо цилиндров выставлялось 0–1 балл в зависимости от адекватности приближения.

А.В.Веселова

5. Начинаящий петербургский астроном Вася изучает внесолнечные планеты и хочет понять, на каких планетах возможна жизнь, хотя бы отчасти похожая на земную. Среди других экзопланет Вася нашел четыре, особо заинтересовавшие его. В таблице даны радиусы и массы планет, светимости звезд (энергия, выделяемая за секунду), вокруг которых планеты обращаются, а также радиусы орбит планет. На каких из этих планет более вероятна жизнь и почему? Величины со значком \odot относятся к Солнцу, со значком \oplus — к Земле, J — к Юпитеру.

Название планеты	Радиус планеты	Масса планеты	Светимость звезды	Радиус орбиты планеты
CoRoT-2 b	$1.4R_{\text{J}}$	$3.3M_{\text{J}}$	$0.4L_{\odot}$	0.03 а.е.
Kepler-442 b	$1.3R_{\oplus}$	$2.3M_{\oplus}$	$0.1L_{\odot}$	0.4 а.е.
Kepler-62 e	$1.6R_{\oplus}$	$2.5M_{\oplus}$	$0.25L_{\odot}$	0.43 а.е.
ϵ Эридана b	неизвестен	$1.5M_{\text{J}}$	$0.28L_{\odot}$	3.4 а.е.

Решение:

Обсудим каждую планету в отдельности. CoRoT-2 b по размерам и массе превосходит Юпитер, что позволяет считать эту планету больше похожей на Юпитер, чем на Землю. Также планета находится более чем в 30 раз ближе к своей звезде, чем Земля к Солнцу. Хотя звезда и слабее Солнца, но эффект близости к звезде заметно сильнее, следовательно, температура на поверхности планеты будет существенно выше, чем на Земле. Kepler-442 b по размерам и массе близка к Земле, она находится ближе к звезде, но и звезда более слабая, поэтому можно предположить, что планета пригодна для жизни. То же можно сказать и о Kepler-62 e. ϵ Эридана b, как и CoRoT-2 b, крупнее Юпитера, при этом объект находится заметно дальше от своей звезды, чем Земля от Солнца, также звезда более слабая, поэтому температура на поверхности планеты будет гораздо ниже, чем на Земле.

Комментарии:

По 2 балла за каждую планету, для которой четко объяснено, возможна на ней жизнь или нет. 1 балл ставится на каждую планету, для которой объяснение есть, но очень расплывчатое.

Из общей суммы снимается 2 балла, если сравниваются величины отношения светимости звезды к расстоянию до планеты, вместо формулы освещенности. (А формулу освещенности забыла примерно треть участников).

А.В.Веселова