

**XXXIII Санкт-Петербургская
Астрономическая олимпиада**
отборочный тур, решения

2026
до 20
января

10 класс

1. Звезда имеет массу $0.47 M_{\odot}$ при радиусе $0.64 R_{\odot}$. Наблюдаемая из Солнечной системы лучевая скорость вращения звезды на экваторе составляет 8 км/с. Считая, что собственная скорость вращения звезды на экваторе составляет 5% от круговой скорости, найдите угол наклона луча зрения наблюдателя к плоскости экватора звезды (в градусах).

Решение:

Круговая скорость на экваторе составит (если поставить значения констант в СИ)

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 0.47 \cdot 2 \cdot 10^{30}}{0.64 \cdot 7 \cdot 10^8}} = 3.74 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 3.74 \cdot 10^2 \text{ км/с}.$$

Тогда реальная скорость составит $v_e = 0.05 \cdot 374 \approx 19 \text{ км/с}$.

Пусть угол между лучом зрения и плоскостью экватора равен i , тогда наблюдаемая скорость вращения равна $v_e \cos i$. Отсюда получаем уравнение для $\cos i$:

$$19 \cos i = 8 \quad \Rightarrow \quad i = \arccos \frac{8}{19} \approx 65^\circ.$$

А.В.Веселова

2. Наблюдаются две звезды. Эффективная температура фотосферы первой звезды 3200 К, второй звезды 11000 К. Выберите верные утверждения.

- (a) Первая звезда имеет красный цвет, вторая — желтый.
- (b) При равных радиусах вторая звезда будет иметь большую светимость, чем первая звезда.
- (c) Если радиус первой звезды вдвое больше радиуса второй звезды, то светимость первой звезды будет в 1.2 раза выше светимости второй звезды.
- (d) Если обе звезды находятся на Главной последовательности и обладают похожим химическим составом, то радиус второй звезды на 30% меньше радиуса первой.
- (e) Если обе звезды находятся на Главной последовательности и обладают похожим химическим составом, то масса второй звезды больше массы первой.
- (f) Если обе звезды вышли одновременно на Главную последовательность, то первая звезда будет существовать на Главной последовательности дольше, чем вторая.

Решение:

- (a) Нет. Температура поверхности звезды действительно связана с ее цветом; с ростом температуры цвет переходит от красного к синему. Первая звезда имеет красноватый цвет, но вторая имеет бело-голубой цвет, а не желтый.

- (b) Да. Светимость звезды пропорциональна произведению площади ее поверхности и 4-й степени эффективной температуры, то есть $L \propto R^2 T^4$. При равных радиусах большей светимостью обладает звезда с большей температурой, поэтому большей светимостью обладает вторая звезда.
- (c) Нет. Запишем отношение светимостей первой и второй звезды:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1^2 T_1^4}{R_2^2 T_2^4} = \frac{(2R_2)^2 \cdot 3200^4}{R_2^2 \cdot 11000^4} = 0.03 \neq 1.2.$$

- (d) Нет. На Главной последовательности, то есть в основной стадии эволюции, звезды имеют тем больший радиус, чем больше их температура. Следовательно, радиус второй звезды не меньше радиуса первой.
- (e) Да. При одинаковом химическом составе температура звезды Главной последовательности определяется ее массой. Чем выше масса звезды, тем выше температура, причем верно и обратное утверждение. Таким образом, масса второй звезды больше.
- (f) Да. Чем меньше начальная масса звезды, тем медленнее звезда эволюционирует и тем дольше находится на Главной последовательности.

А.В.Веселова

3. Приповерхностный слой атмосферы некоторой внесолнечной планеты обладает следующими параметрами: давление равно 87 земным атмосферам, молярная масса равна 43 г/моль, температура равна 430°C. Определите плотность данного слоя, выразите ответ в кг/м³.

Решение:

Выразим температуру в кельвинах: $T = 430 + 273 = 703 \text{ К}$.

Для оценки плотности воспользуемся уравнением состояния идеального газа

$$p = \frac{\Re}{\mu} \rho T,$$

где p — давление, μ — молярная масса, T — абсолютная температура, $\Re$ — универсальная газовая постоянная.

Отсюда, учитывая, что атмосферное давление на Земле равно 10^5 Па , получаем

$$\rho = \frac{p\mu}{\Re T} = \frac{87 \cdot 10^5 \cdot 0.043}{8.31 \cdot 703} \approx 64 \text{ кг/м}^3.$$

А.В.Веселова

4. Шаровое звездное скопление находится на расстоянии 3.2 кпк от наблюдателя и обладает видимым угловым диаметром 32'. Предположим для простоты, что скопление состоит из $2 \cdot 10^5$ звезд со светимостью $0.5 L_\odot$ каждая. Выберите верные утверждения.

- (a) Если пренебречь межзвездным поглощением, то видимая звездная величина скопления при наблюдении с Земли будет равна $+6^m.1$.
- (b) Скопление можно увидеть невооруженным глазом.
- (c) Линейный диаметр скопления равен 15 пк.
- (d) Среднее расстояние между звездами скопления равно 1.4 пк.
- (e) Возраст этого скопления не менее 1 миллиарда лет.
- (f) Масса скопления не превышает 0.5 миллиона масс Солнца.

Решение:

- (а) Нет. Общая светимость скопления составляет $2 \cdot 10^5 \cdot 0.5 L_{\odot} = 10^5 L_{\odot}$. Сравнив скопление с Солнцем по формуле Погсона, найдем абсолютную звездную величину:

$$M = M_{\odot} - 2.5 \lg L = 4.7 - 2.5 \lg 10^5 = -7^m.8.$$

Зная расстояние, находим видимую звездную величину:

$$m = M - 5 + 5 \lg r = -7.8 - 5 + 5 \lg 3200 = 4^m.7.$$

- (b) Да. Невооруженным глазом видны объекты до $+6^m$, то есть скопление можно было бы увидеть невооруженным глазом.
- (с) Нет. Линейный диаметр скопления равен

$$D = d [\text{рад}] \cdot r = \frac{32' \cdot 60}{206265} \cdot 3200 = 30 \text{ пк}.$$

- (d) Нет. Объем скопления равен

$$V = \frac{\pi}{6} D^3 = \frac{\pi}{6} \cdot 30^3 = 1.4 \cdot 10^4 \text{ пк}^3.$$

На каждую звезду в среднем приходится объем

$$V_0 = \frac{V}{N} = \frac{1.4 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^5} = 0.07 \text{ пк}^3.$$

Тогда среднее расстояние между звездами составит $\approx \sqrt[3]{0.07} = 0.4 \text{ пк}$, что заметно меньше указанного в условиях числа.

- (e) Да. Шаровые скопления — старые объекты Галактики, а их возраст сопоставим с возрастом Галактики, то есть составляет около 10 миллиардов лет.
- (f) Да. Светимость каждой звезды невысока, а само скопление — довольно старое. Это означает, что массивных звезд в скоплении уже нет. Светимость звезд ниже, чем у Солнца, но не на порядки, что означает принадлежность звезд к Главной последовательности и меньшую начальную массу звезд, чем у Солнца. Тогда общая масса скопления не превышает $2 \cdot 10^5$ масс Солнца, что меньше указанной в условии величины.

А.В.Веселова

- 5.** Вам предлагается несколько утверждений. Для каждого из них выберите, согласны Вы с ним («да») или нет («нет»), можно также выбрать вариант «не знаю».

- (а) Если перигелийные расстояния равны, то чем больше эксцентриситет орбиты, тем больше скорость в перигелии.
- (b) Если радиус орбиты любой экзопланеты равен 1 а.е., то ее период обращения вокруг звезды равен 1 году.
- (с) По мере приближения далекой кометы к Солнцу ее наблюдаемая с Земли яркость растет обратно пропорционально квадрату расстояния.
- (d) Большое Магелланово Облако — одна из крупнейших галактик. Ее размеры в несколько раз больше размеров Млечного Пути.
- (e) Межзвездная пыль излучает в основном в ультрафиолетовом диапазоне.
- (f) Кольца Сатурна вращаются как единое целое.
- (g) Арктур — ярчайшая звезда ночного неба для наблюдателя на Северном полюсе Земли.

- (h) Центр масс Солнечной системы не всегда находится внутри Солнца.

Решение:

- (a) Да. Поскольку в условии речь идет о перигелийных расстояниях, то имеются в виду орбиты вокруг Солнца. Запишем выражение для скорости в перигелии

$$v_{\pi} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a} \cdot \frac{1+e}{1-e}}$$

и учтем, что перигелийное расстояние $r_{\pi} = a(1 - e)$. Тогда перигелийная скорость

$$v_{\pi} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{r_{\pi}} \cdot (1+e)} = \text{const} \cdot \sqrt{1+e},$$

и она, очевидно, растет с ростом эксцентриситета.

- (b) Нет. Запишем третий закон Кеплера в звездноастрономических единицах («масса Солнца – астрономическая единица – год»)

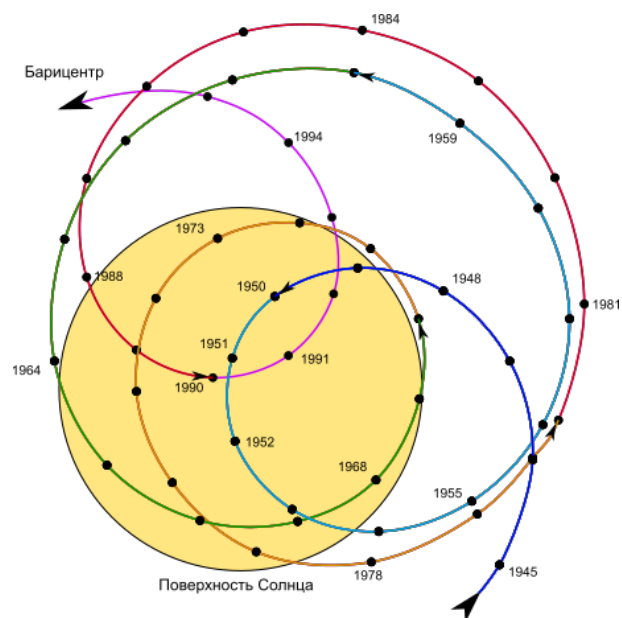
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{1}{M}$$

и обнаружим, что равенство будет выполнено только в том случае, если звезда имеет массу $M = 1$ массе Солнца, что бывает далеко не всегда.

- (c) Нет. Освещенность, создаваемая Солнцем на комете, обратно пропорциональна квадрату расстояния до нее от Солнца, поэтому светимость кометы в первом приближении также обратно пропорциональна квадрату расстояния от нее до Солнца. Однако и создаваемая на Земле кометой освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния от Земли до кометы. Поэтому, если комета далекая и расстояния от нее до Солнца и до Земли примерно совпадают, блеск кометы будет обратно пропорционален 4-й степени расстояния до нее.

В реальности по мере приближения к Солнцу ядро кометы начинает активнее испаряться, ее кома увеличивается в размерах, поэтому зависимость яркости от расстояния оказывается еще более сильной.

- (d) Нет. Большое Магелланово Облако — карликовая галактика, спутник Млечного Пути, ее размеры в несколько раз меньше размера Галактики.
- (e) Нет. Пыль излучает в основном тепловое излучение, и для того, чтобы она в основном светила в ультрафиолетовом диапазоне, ее температура должна была бы составлять $\sim 10^4$ К и более, а при такой температуре пылинки просто разрушились бы. В реальности температура не превышает 10^3 К, и максимум излучения пыли попадает в инфракрасный диапазон.
- (f) Нет. Частицы кольца движутся в поле тяготения Сатурна, поэтому (если пренебречь тем, что Сатурн не обладает идеальной сферической симметрией, и гравитационным влиянием его спутников) угловая скорость их движения соответствует обычной кеплеровской, $\omega \propto r^{-3/2}$. Для твердотельного вращения угловая скорость должна была бы от расстояния не зависеть.
- (g) Да. Три более яркие звезды (кроме Солнца, конечно) — Сириус, Канопус и Толиман — находятся в Южном полушарии небесной сферы и для наблюдателя на Северном полюсе всегда находятся под горизонтом.



- (h) Да. На рисунке ниже приведено расположение центра масс Солнечной системы в разные моменты времени по отношению к Солнцу (на рисунке подписаны годы). Видно, что центр масс не уходит далеко от центра Солнца, но за пределы Солнца все же периодически выходит.

М.И.Волобуева, П.А.Тараканов