

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

**2026**  
до 20  
января

---

*9 класс*

---

1. Астероид движется вокруг Солнца по круговой орбите с радиусом 4 а.е. Какую площадь в плоскости орбиты заметает радиус-вектор астероида за 200 земных суток? Ответ выразите в а.е.<sup>2</sup>.

**Решение:**

Для решения задачи нам пригодится понятие секториальной скорости — площади, которую радиус-вектор объекта прочерчивает за единицу времени. Эта величина, как гласит второй закон Кеплера, постоянна для данной орбиты. Мы можем оценить ее, разделив площадь области внутри орбиты на период обращения астероида.

Период обращения находим из третьего закона Кеплера в системе единиц «а.е. – год – масса Солнца»:

$$T^2 = a^3 \quad \Rightarrow \quad T = \sqrt{a^3} = \sqrt{4^3} = 8 \text{ лет.}$$

Площадь внутри орбиты равна  $S = \pi a^2 = \pi \cdot 4^2 \approx 50.3 \text{ а.е.}^2$ , откуда оценим заметаемую площадь с помощью пропорции:

$$S(200^d) = S \cdot \frac{\Delta T}{T} = 50.3 \cdot \frac{200^d}{8 \cdot 365^d \cdot 25} = 3.4 \text{ а.е.}^2$$

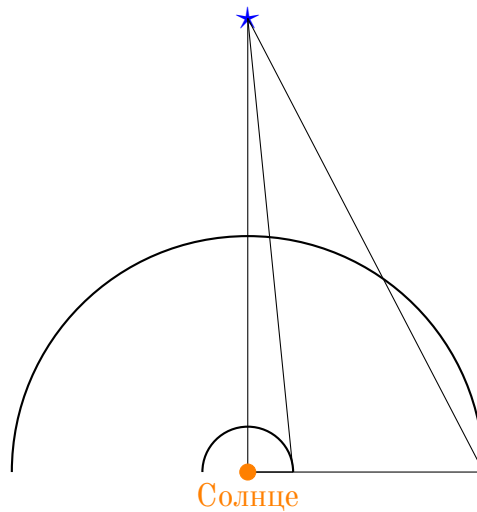
*А.В.Веселова*

2. С Земли наблюдается звезда с годичным параллаксом  $0''.10$ . Выберите верные утверждения.

- (a) Параллакс этой же звезды, измеренный с Юпитера, составит  $0''.52$ .
- (b) Параллакс этой же звезды, измеренный с Юпитера, составит  $0''.02$ .
- (c) Расстояние до звезды составляет  $32 \div 33$  световых года.
- (d) Свет от звезды до Юпитера идет более 52 лет.
- (e) Если бы звезда была вчетверо дальше от Солнца, измеренный с Земли параллакс составил бы  $0''.025$ .
- (f) Если бы звезда была впятеро ближе к Солнцу, измеренный с Земли параллакс составил бы  $0''.02$ .

**Решение:**

- (a) Да. Годичный параллакс связан не только с расстоянием до наблюдаемого объекта, но и с радиусом орбиты наблюдателя (см. рисунок). Чем больше радиус орбиты наблюдателя, тем больше видимое смещение наблюдаемой звезды на фоне далеких объектов, тем больше измеренный параллакс. При этом параллактическое смещение прямо пропорционально радиусу орбиты, то есть для юпитерианского наблюдателя, поскольку радиус орбиты Юпитера равен 5.2 а.е., составит  $0''.52$ .
- (b) Нет. См. предыдущий пункт.



- (с) Да. Расстояние до звезды в парсеках обратно параллаксу, выраженному в угловых секундах:  $r = 1/0''.1 = 10$  пк. В 1 парсеке примерно 3.26 светового года, тогда расстояние до звезды в световых годах составит 32.6 световых года.
- (d) Нет. Расстояние от звезды практически одинаково до всех объектов Солнечной системы. Поэтому расстояние от Юпитера до звезды также составит 32.6 световых года, и свет от звезды до Юпитера будет идти 32.6 года.
- (е) Да. При увеличении расстояния параллакс пропорционально уменьшается, то есть при увеличении расстояния в 4 раза параллакс уменьшится в 4 раза и окажется равным  $0''.025$ .
- (f) Нет. При уменьшении расстояния параллакс увеличивается, так что при меньшем в 5 раз расстоянии параллакс увеличился бы в 5 раз и оказался бы равным  $0''.5$ .

*А.В.Веселова*

3. Современное расстояние до звезды составляет 3.3 пк, звезда движется по направлению к Солнцу со скоростью 47 км/с. Через сколько тысяч лет ее звездная величина уменьшится на  $2^m$ , если светимость звезды за это время не поменяется?

**Решение:**

Изменение видимой звездной величины на  $1^m$  соответствует изменению освещенности от звезды в  $\sqrt[5]{100} \approx 2.5$  раз. Поскольку звездная величина изменилась на  $2^m$ , то освещенность поменялась в  $2.5^2$  раз. Однако освещенность от звезды обратно пропорциональна квадрату расстояния до нее (конечно, при условии, что светимость звезды постоянна, но это следует из условия), поэтому за интересующий нас интервал времени звезда стала в 2.5 раза ближе к Солнцу.

Это означает, что за интересующее нас время звезда должна пройти

$$3.3 \cdot \left(1 - \frac{1}{2.5}\right) \approx 2.0 \text{ пк}$$

(заметим, что с большей точностью вычислять этот результат бессмысленно — современное расстояние нам известно с погрешностью 0.1 пк, дополнительные значащие цифры ничего полезного не дадут).

Звезда движется со скоростью 47 км/с, что с достаточной для нас точностью равно 10 а.е./год. Поскольку в 1 пк примерно  $2.06 \cdot 10^5$  а.е., то звезда должна пройти  $4.1 \cdot 10^5$  а.е., на что ей понадобится  $41 \cdot 10^3$  лет, т.е. 41 тысяча лет.

*П.А.Тараканов*

4. Астероид движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с большой полуосью 3 а.е. и эксцентриситетом 0.4 в плоскости эклиптики. Считая орбиты всех планет круговыми и лежащими в одной плоскости, выберите верные утверждения.

- (a) Астероид не пересекает орбиту ни Марса, ни Юпитера.
- (b) Минимальное расстояние от астероида до Солнца в 2.8 раза меньше максимального.
- (c) Орбитальная скорость астероида в перигелии не менее чем на 10 км/с превышает его орбитальную скорость в афелии.
- (d) Угловой диаметр Солнца для наблюдателя на астероиде не превышает 5'.
- (e) Видимая звездная величина Солнца для наблюдателя на астероиде может быть равна  $-24^m$ .
- (f) Астероид в нижнем соединении можно наблюдать с Земли.

**Решение:**

- (a) Да. Определим минимальное (перигелийное) и максимальное (афелийное) расстояния на орбите, сравним их с радиусами орбиты Марса (1.5 а.е.) и Юпитера (5.2 а.е.).

$$r_{\pi} = a(1 - e) = 3 \cdot (1 - 0.4) = 1.8 \text{ а.е.}, \quad r_{\alpha} = a(1 + e) = 3 \cdot (1 + 0.4) = 4.2 \text{ а.е.}$$

Заметим, что перигелийное расстояние превышает радиус орбиты Марса, а афелийное расстояние заметно меньше радиуса орбиты Юпитера. Следовательно, орбита астероида не пересекает орбиты указанных планет.

- (b) Нет. Разделим афелийное расстояние на перигелийное:

$$\frac{r_{\alpha}}{r_{\pi}} = \frac{4.2}{1.8} \approx 2.3 \neq 2.8.$$

- (c) Да. Выразим скорости в перигелии и афелии (подставив константы в системе СИ):

$$V_{\pi} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a} \cdot \frac{1+e}{1-e}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{3 \cdot 1.5 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{1+0.4}{1-0.4}} \approx 26 \text{ км/с},$$

$$V_{\alpha} = \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a} \cdot \frac{1-e}{1+e}} = \sqrt{\frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{3 \cdot 1.5 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{1-0.4}{1+0.4}} \approx 11 \text{ км/с}.$$

Разность скоростей действительно превышает 10 км/с.

- (d) Нет. Для наблюдателей на значительных расстояниях угловые размеры Солнца обратно пропорциональны расстоянию до него. Для земного наблюдателя угловой диаметр Солнца составляет в среднем 30'. Тогда даже при наблюдении из афелия орбиты астероида видимый диаметр Солнца составит не менее  $30'/4.2 \approx 7'$ .
- (e) Да. Определим, на каком расстоянии  $r$  от Солнца должен находиться наблюдатель, чтобы для него видимая звездная величина Солнца оказалась равной  $-24^m$ . Запишем формулу Погсона для освещенностей на 1 а.е. и  $r$  а.е.:

$$m(r) - m(1 \text{ а.е.}) = -2.5 \lg \frac{E_r}{E_1}, \quad (-24^m) - (-27^m) = -2.5 \lg \frac{L_{\odot}/4\pi r^2}{L_{\odot}/4\pi(1 \text{ а.е.})^2},$$

$$3 = 2.5 \lg \frac{r^2}{1^2} \Rightarrow r = 4 \text{ а.е.}$$

Астероид может удаляться на такое расстояние от Солнца. Более точная оценка видимой звездной величины Солнца на расстоянии 1 а.е. только усилит этот результат.

- (f) Нет. Нижнее соединение — конфигурация, в которой наблюдаемый объект находится между наблюдателем и Солнцем. Но даже в перигелии астероид находится дальше от Солнца, чем Земля. Следовательно, в нижнем соединении он не бывает.

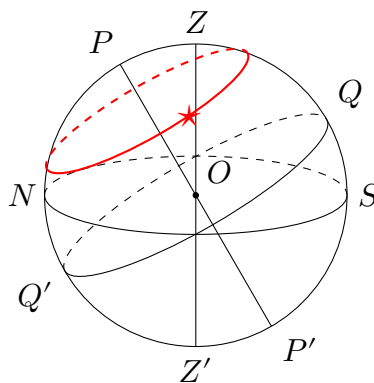
*А.В.Веселова*

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

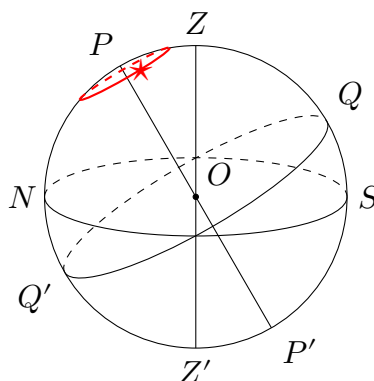
- (a) Красные звезды всегда меньше голубых по массе.
- (b) Если диапазон изменения азимута звезды меньше  $180^\circ$ , то ее верхняя кульминация происходит между полюсом мира и зенитом.
- (c) Астроном Шарль Мессье составил каталог открытых им комет, который сейчас мы называем каталогом Мессье.
- (d) Для жителя Австралии Орион — это летнее созвездие.
- (e) Рассеянные звездные скопления состоят в основном из красных карликов.
- (f) Планетарные туманности имеют примерно такие же линейные размеры, как и планеты.
- (g) Все спутники планет Солнечной системы слишком малы, чтобы обладать собственной атмосферой.
- (h) Земля — единственная планета Солнечной системы, чья атмосфера состоит в основном из кислорода.

**Решение:**

- (a) Нет. В качестве контрпримера можно привести Бетельгейзе (масса заведомо превышает  $10 M_\odot$ ) и любой белый карлик (масса не больше предела Чандрасекара,  $1.4 M_\odot$ ).
- (b) Да. Как видно из рисунка ниже (нарисованного для Северного полушария, впрочем, в Южном ситуация будет аналогичной), при верхней кульминации не со стороны полюса от зенита (в терминах Северного полушария «к югу от зенита») азимут объекта в течение суток принимает все возможные значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

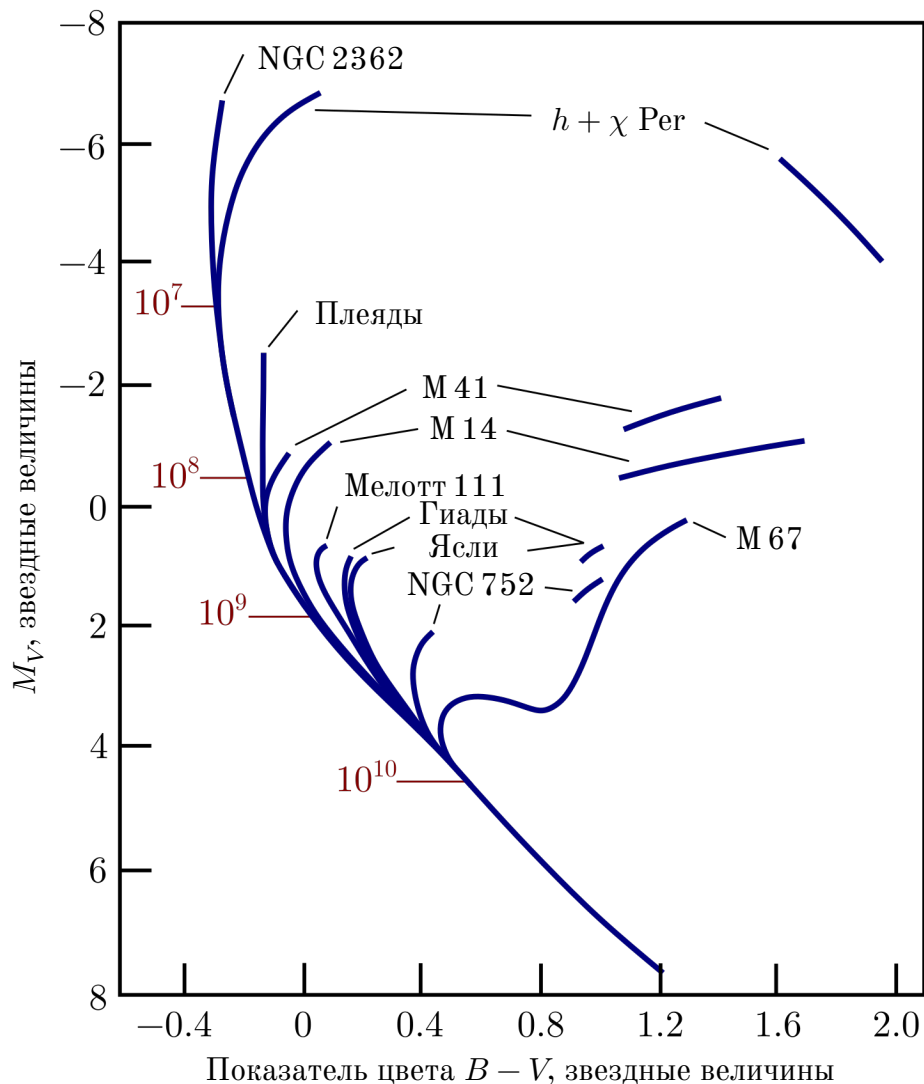


Если же кульминация происходит между полюсом и зенитом («к северу от зенита»), то суточная параллель объекта выглядит так:



Очевидно, что в южной полусфере звезда не оказывается никогда, а это означает, что ее азимут не отклоняется от  $180^\circ$  более чем на  $90^\circ$ .

- (с) Нет. Шарль Мессье действительно занимался открытием комет, и именно поэтому составил каталог «туманных объектов» на небе, которые на первый взгляд были похожи на кометы, но не перемещались на фоне звезд со временем — чтобы не путать их с кометами. Этот каталог содержит звездные скопления, планетарные и диффузные туманности, галактики, остаток вспышки сверхновой... но не кометы.
- (d) Да. Прямое восхождение Ориона — это  $5^h \div 6^h$ , Солнце имеет такое прямое восхождение примерно в июне, а в диаметрально противоположном направлении на небе (когда условия для наблюдения Ориона оказываются максимально благоприятными) оказывается в декабре. Однако в Южном полушарии Земли декабрь — летний месяц.
- (e) Нет. В состав рассеянных звездных скоплений могут входить и звезды Главной последовательности ранних спектральных классов, и красные гиганты, в чем легко убедиться, посмотрев на диаграмму Герцшпрунга–Рассела для различных рассеянных скоплений (коричневым отмечен возраст скоплений в годах):



- (f) Нет. Характерные размеры планетарных туманностей — доли парсека (в качестве удобной оценки диаметра можно использовать 1 световой год). Планеты, естественно, на несколько порядков меньше.
- (g) Нет. Например, у Титана есть мощная атмосфера (давление которой у поверхности превышает атмосферное давление на Земле).
- (h) Нет. Таких объектов в Солнечной системе просто нет, и Земля к ним тоже не относится — ее атмосфера на 76% по массе состоит из азота.

*М.И.Волобуева, П.А.Тараканов*