

**XXI Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада**  
районный тур, решения

**2013**  
**2**  
**декабря**

---

*11 класс*

---

1. Видимая невооруженным глазом звезда в Петербурге в течение суток изменяет свою высоту над горизонтом от  $59^\circ$  до  $61^\circ$ . Что это за звезда?

**Решение:**

Известно, что высота полюса мира над горизонтом равна широте места наблюдения. Так что в Петербурге она равна  $60^\circ$ . Видно, что высота искомой звезды равна  $60^\circ \pm 1^\circ$ . Такая амплитуда изменения высоты звезды над горизонтом означает, что эта звезда за сутки описывает вокруг полюса мира круг радиусом  $1^\circ$ . Следовательно, она отстоит от полюса на  $1^\circ$ . Настолько близко к полюсу расположена только одна видимая невооруженным глазом звезда — Полярная.

2. Одной из проблем, которые могли бы возникнуть при путешествиях во времени, является то, что путешественник попадает точно в ту же точку пространства, из которой и отправлялся. Оцените, насколько далеко путешественник во времени может оказаться от станции отправки на Земле, если он совершает временной прыжок на 10 минут назад.

**Решение:**

Из условия следует, что при временном прыжке путешественник оказывается в той же точке пространства, а станция, находящаяся на движущейся Земле, нет.

Станция принимает участие в следующих движениях:

- Вращение Земли вокруг оси. Линейная скорость движения станции при этом может находиться в пределах от 0 (на полюсах Земли) до 0.5 км/с (на экваторе).
- Движение Земли вокруг Солнца. Скорость движения составляет около 30 км/с.
- Движение Солнечной системы вокруг центра Галактики. Скорость — около 220 км/с.
- Движение Галактики в целом относительно реликтового фона. Скорость — около 600 км/с.

Очевидно, что две первых скорости малы по сравнению с двумя другими. Соответственно, их можно не учитывать. Предполагая, что угол между направлениями движения относительно центра Галактики и относительно реликтового фона может быть произвольным (путешествия во времени — это все-таки фантастика, поэтому проблема может возникнуть и в далеком будущем), получаем, что скорость путешественника относительно Земли может меняться примерно от 400 км/с до примерно 800 км/с, и смещение за 10 минут составит 200–500 тыс.км, что сравнимо с расстоянием от Земли до Луны.

3. Средневековый арабский астролог Али бен Ридван наблюдал Сверхновую 1006 года. Он отметил, что в максимуме блеска «по “размерам” звезда превосходила Венеру в 2–3 раза». Считая, что под разницей “размеров” бен Ридван понимал разницу в освещенностях, создаваемых Сверхновой и Венерой, оцените расстояние до Сверхновой.

**Решение:**

Как известно, отношению освещенностей примерно в 2.5 раза соответствует разница в одну звездную величину ( $1^m$ ). Если Сверхновая по блеску превосходила Венеру в 2–3 раза, то можно считать, что разница в звездных величинах между ними была равна  $1^m$ . Блеск Венеры достигает примерно  $-4^m$ , следовательно, видимая звездная величина Сверхновой в максимуме блеска была примерно  $m = -5^m$ . Оценим абсолютную звездную величину сверхновой как  $M = -17^m$ . Тогда расстояние в парсеках можно оценить по известной формуле:

$$m = M - 5 + 5 \lg r \implies \lg r = \frac{1}{5}(m - M + 5) = \frac{1}{5}(-5 + 17 + 5) = 3.4.$$

Отсюда

$$r = 10^3 \cdot 10^{0.4} \approx 2.5 \cdot 10^3 \text{ пк.}$$

*Примечание*

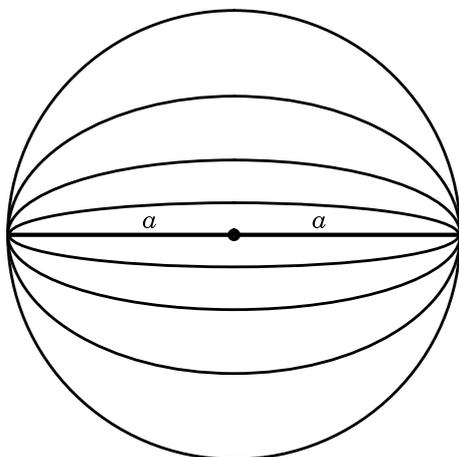
- 1) Полученный ответ сильно зависит от принятых значений звездных величин. Любые разумные оценки можно считать правильными.
- 2) Абсолютную звездную величину Сверхновой можно оценить, например, следующим образом. Известно, что видимый блеск сверхновых в максимуме близок к видимому блеску тех галактик, в которых они вспыхивают. Следовательно, в эти моменты их абсолютные величины также совпадают, т.к. сверхновая и ее «родительская» галактика находятся от нас на одинаковых расстояниях. Типичная (не гигантская и не карликовая) галактика состоит из примерно  $10^{10}$  звезд. Типичная звезда в любой галактике слабее Солнца, но есть и приличное число звезд ярче Солнца, так что для оценки

можно считать, что все звезды в галактике примерно похожи на Солнце. Абсолютная звездная величина Солнца равна  $5^m$ . Типичная галактика ярче Солнца на  $25^m$  (разность в 5 величин соответствует отношению в  $10^2$ , следовательно, отношение в  $10^{10}$  раз соответствует разности  $5 \cdot 5 = 25$ ), т.е. имеет  $-20^m$ , что и можно принять за оценку абсолютной звездной величины сверхновой. Ответ при этом получится другим, но такое решение также может быть засчитано.

4. Рассмотрим семейство эллиптических орбит вокруг Солнца, движение по которым происходит с одинаковым периодом. При каком значении эксцентриситета орбиты средняя скорость движения по ней будет минимальной?

**Решение:**

Поскольку период обращения по всем орбитам одинаков, то из III закона Кеплера следует, что и большие полуоси орбит одинаковы. Изобразим различные орбиты рассматриваемого семейства таким образом, чтобы их большие оси совпадали:



Окружность — это орбита с нулевым эксцентриситетом  $e$ , отрезок, совпадающий с большой осью — предельный случай эллиптической орбиты при  $e \rightarrow 1$ , в остальных случаях  $0 < e < 1$ .

Поскольку средняя скорость движения по орбите — это отношение длины орбиты к периоду обращения по ней, а все периоды одинаковы, то нам необходимо найти орбиту с минимальной длиной. Очевидно, что такой орбитой будет предельная орбита при стремящемся к единице значении эксцентриситета, поскольку отрезок прямой, соединяющей две точки, всегда короче, чем любая кривая, соединяющая те же две точки.

5. Оцените максимальное расстояние, которое еще можно измерить методом тригонометрического параллакса, если использовать для наблюдений радиоинтерферометр со сверхдлинной базой (РСДБ), охватывающий весь земной шар.

**Решение:**

Очевидно, что в данной задаче речь идет о годовом, а не о суточном параллаксе, так как требуется оценить максимальное расстояние. Известно, что

годовой тригонометрический параллакс  $\pi$ , измеренный в угловых секундах ( $''$ ), связан с расстоянием до объекта  $r$ , выраженным в парсеках (пк), следующим образом:

$$\pi = \frac{1}{r}$$

Ясно, что минимальный угол (соответствующий максимальному расстоянию), который можно будет измерить, примерно совпадает с наилучшей разрешающей способностью  $\beta$  РСДБ. Наилучшее разрешение получится при максимальной базе интерферометра  $D$  и минимальной длине волны  $\lambda$ . Максимальная база интерферометра определяется размерами Земли, для оценки можно считать, что она составляет 10 тыс. км (что несколько меньше диаметра Земли — маловероятно, что какие-то две антенны интерферометра удастся расположить в двух диаметрально противоположных точках планеты, да и наблюдать таким антеннам пришлось бы объект, находящийся для них точно на горизонте). Минимальная длина волны, еще относящаяся к радиодиапазону — 1 мм. Современные РСДБ-системы обычно наблюдают на более длинных волнах (минимум 7 — 8 мм, поскольку на меньших длинах волн прозрачность земной атмосферы зависит от погодных условий), но для оценки разрешения можно взять любую длину волны в диапазоне от 1 мм до 1 см.

Оценим параллакс, который можно будет измерить:

$$\pi \approx \beta \approx \frac{\lambda}{D} = \frac{1 \text{ см}}{10^9 \text{ см}} = 10^{-9}.$$

Переводя результат из радиан в угловые секунды ( $10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^{-4}$ ) и вычисляя соответствующее расстояние, получаем:

$$r = \frac{1}{\pi} \approx 5 \cdot 10^3 \text{ пак} = 5 \text{ кпк}.$$