

XXIV Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
отборочный тур, решения

2017  
2 декабря  
16 января

---

11 класс

---

1. Источник гамма-всплеска GRB 060218, зарегистрированного на Земле в 2006 году, имеет красное смещение 0.0334. Какой геологический период был на Земле в тот момент, когда излучение гамма-всплеска было испущено источником?

**Решение (8 баллов):**

$Hr = cz$ , где  $r$  — расстояние до источника всплеска,  $H$  — постоянная Хаббла,  $c$  — скорость света,  $z$  — красное смещение. Подставляя данные и выражая результат в световых годах, получаем  $r \approx 4.8 \cdot 10^8$  св. лет, т.е. ордовикский период.

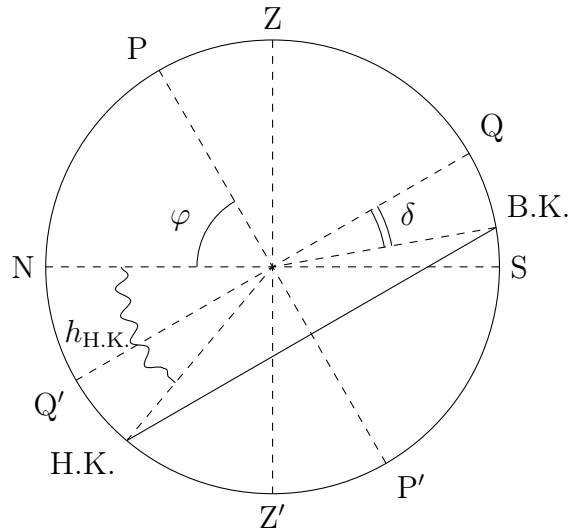
Следует отметить, что подобная оценка имеет право на существование постольку, поскольку красное смещение  $z \ll 1$ . В этом случае изменением постоянной Хаббла со временем можно пренебречь, а космологическое красное смещение оказывается очень похожим на смещение, связанное с классическим эффектом Доплера. Однако сходство только приближенное, поэтому использование в промежуточных выкладках «скорости удаления гамма-всплеска», вычисленной по формуле релятивистского эффекта Доплера (якобы для большей точности), является не только бессмысленным усложнением решения, но и принципиально ошибочно.

Заметим также, что полученный ответ зависит от принятого значения постоянной Хаббла (выше использовалось  $70$  км/с/Мпк), при использовании других современных оценок постоянной Хаббла можно получить также кембрийский период.

2. При наблюдении звезды в Пулковской обсерватории выяснилось, что ее высота в верхней кульминации в два раза меньше по абсолютному значению, чем в нижней кульминации. Каково склонение звезды?

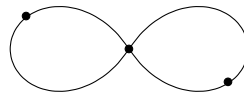
**Решение (8 баллов):**

Если и верхняя, и нижняя кульминации происходили над горизонтом, то высота верхней кульминации не может быть меньше, чем высота нижней. Если обе кульминации происходили под горизонтом, то условие на соотношение высот можно выполнить, но такую звезду невозможно наблюдать. Следовательно, остается один вариант: звезда в двух кульминациях находится по разные стороны горизонта. Тогда, так как речь идет об абсолютных величинах значения высоты, то высота звезды в нижней кульминации может быть по модулю больше, чем в верхней кульминации. При этом, чтобы выполнялось указанное условие, необходимо, чтобы склонение звезды было отрицательным. Зная, что широта Пулковской обсерватории  $\varphi = 60^\circ$ , и построив рисунок, можно легко увидеть, что склонение звезды  $\delta = -10^\circ$ .



Отметим, что использование более точных данных о широте Пулковской обсерватории лишено смысла. Безусловно, широту обсерватории можно указать с точностью по крайней мере до угловой минуты ( $59^{\circ}46'$ ), однако для вычисления с той же точностью наблюдаемой высоты звезды необходимо учитывать атмосферную рефракцию, данные о которой в условии задачи отсутствуют.

3. Астрономы открыли необычную тройную звездную систему, состоящую из трех одинаковых звезд, движущихся друг за другом по орбите, изображенной на рисунке. Чему равно максимально возможное изменение видимой звездной величины этой системы для внешнего наблюдателя?



**Решение (8 баллов):**

В тот момент, когда наблюдатель видит все три звезды, блеск системы, очевидно, будет максимальным. Но, в силу симметрии системы, все три звезды в ней могут находиться на одной прямой (этот случай как раз изображен на рисунке). Если наблюдатель окажется на той же прямой, он будет видеть только одну звезду. Следовательно, блеск может изменяться в три раза. Тогда  $E_1/E_2 = 3 \Rightarrow 3 = (2.512)^{\Delta m} \Rightarrow \Delta m \approx 1^m.2$

4. Спиральная галактика, видимая с ребра, излучает в радиодиапазоне в линии нейтрального водорода с длиной волны 21 см. Оцените ширину этой линии, если известно, что максимальная скорость вращения галактики составляет  $3 \cdot 10^2$  км/с.

**Решение (8 баллов):**

Водород вращается вместе с галактикой, поэтому по крайней мере некоторые излучающие области движутся с максимальной скоростью по отношению к центру галактики. Тогда, если излучение, приходящее из центральных областей галактики, имеет длину волны  $\lambda$ , то движущиеся со скоростью  $v$  области будут излучать на длине волны, отличающейся от  $\lambda$  на величину  $\Delta\lambda$  из-за эффекта Доплера. Скорости малы, поэтому можно воспользоваться формулой классического эффекта Доплера

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c},$$

где  $c$  — скорость света. Поскольку  $v/c = 10^{-3}$ , то  $\Delta\lambda = 10^{-3} \cdot 21 \text{ см} \approx 0.2 \text{ мм}$ . Смещение длины волны из-за вращения галактики должно происходить как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, поэтому общая ширина линии будет составлять  $2 \Delta\lambda = 0.4 \text{ мм}$ .

Заметим, что исходные данные в задаче (в первую очередь максимальная скорость вращения галактики) приведены с очень низкой точностью: подобная запись, как правило, означает, что скорость составляет  $(3 \pm 1) \cdot 10^2$  км/с. Отсюда очевидно следует, что и полученный результат имеет смысл получать с такой же характерной точностью — с одной, максимум, двумя значащими цифрами. Поэтому ответы вроде 0.420291 мм, хотя их и можно получить при вычислениях, бессмысленно-«точные», подобное неоправданное завышение точности является ошибкой.

5. У двойной звезды NGC 3603–A1 компоненты имеют примерно одинаковые массы и движутся по круговой орбите с периодом 3.77 дней и большой полуосью 0.283 а.е. Оценка суммы масс звезд при рождении равна  $\approx 260M_{\odot}$ . Возраст системы оценивается в 1.5 млн лет. Сколько массы (в массах Земли) в среднем теряют звезды за 1 с?

**Решение (8 баллов):**

Сумма масс (текущая) компонент оценивается из III закона Кеплера:

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{M_1 + M_2},$$

где орбитальный период  $P$  выражен в годах, большая полуось  $a$  — в а.е., а массы компонент  $M_1$  и  $M_2$  — в массах Солнца  $M_{\odot}$ . Отсюда  $M_1 + M_2 \approx 210M_{\odot}$ . За 1.5 млн лет звезды потеряли около  $50M_{\odot} = 5 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10^{30}$  кг =  $10^{32}$  кг. Темп потери массы составляет  $10^{32}/(1.5 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^7) = 2 \cdot 10^{18}$  кг/с =  $3 \cdot 10^{-7}$  масс Земли за секунду.