



Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по астрономии
Ленинградская область

2025
2
декабря

11 класс

Максимальный балл за всю работу равен 40

1. Для земного наблюдателя звезда γ Vir за 25 лет сдвинулась по небу на $15''$, находясь при этом на расстоянии 12 пк от Солнца. Определите полную скорость звезды в км/с, если вдоль луча зрения она движется со скоростью 19 км/с в сторону Солнца.

Решение (8 баллов):

Из условия задачи сразу делаем вывод о необходимости рассмотрения двух компонент скорости: вдоль луча зрения (дана в условии) и перпендикулярно лучу зрения (связана с видимым смещением звезды по небу). Определим, какое расстояние перпендикулярно лучу зрения прошла звезда. $1''$ на расстоянии 1 пк по определению парсека соответствует смещению на 1 а.е. Следовательно, $15''$ на расстоянии 1 пк соответствуют 15 а.е., а на расстоянии 12 пк соответствуют $12 \cdot 15 = 180$ а.е. В километрах эта величина составляет $180 \cdot 1.5 \cdot 10^8 = 2.7 \cdot 10^{10}$ км.

Далее, оценим скорость перпендикулярно лучу зрения, поделив расстояние на время, выраженное в секундах:

$$v_{\tau} = \frac{s}{t} = \frac{2.7 \cdot 10^{10}}{25 \cdot 365.25 \cdot 86400} \approx 34 \text{ км/с.}$$

Полную скорость оценим по теореме Пифагора:

$$v = \sqrt{v_{\tau}^2 + v_r^2} = \sqrt{34^2 + 19^2} \approx 39 \text{ км/с.}$$

Оценивание:

- Вычисление расстояния, пройденного звездой перпендикулярно лучу зрения за 25 лет 3
- Перевод 25 лет в секунды 1
- Вычисление тангенциальной скорости звезды 2
- Вычисление итогового ответа 2

Участник может также вычислить тангенциальную скорость в а.е./год, а затем перевести ее в км/с (1 а.е./год ≈ 4.74 км/с. В этом случае схема оценивания выглядит так:

- Вычисление расстояния, пройденного звездой перпендикулярно лучу зрения за 25 лет 2
- Вычисление тангенциальной скорости звезды в а.е./год 2
- Перевод значения тангенциальной скорости звезды в км/с 2
- Вычисление итогового ответа 2

2. Спиральная галактика на земном небе выглядит как эллипс с отношением осей 3 : 2 и обладает площадью $4.7 \cdot 10^2$ квадратных угловых секунд. Считая радиус галактики равным 7 кпк, определите расстояние до нее.

Решение (8 баллов):

Спиральная галактика — диск, выглядящий как эллипс из-за того, что плоскость диска наклонена к лучу зрения. Однако при этом большая полуось эллипса будет равняться угловому радиусу диска, если бы он был расположен перпендикулярно лучу зрения.

Пусть a, b — большая и малая полуоси эллипса. Тогда площадь эллипса равна $S = \pi ab$. По условию, $a = \frac{3}{2}b$, тогда $S = 1.5\pi b^2$. Отсюда находим малую и большую полуоси:

$$b = \sqrt{\frac{S}{1.5\pi}} = 10'' \Rightarrow a = 15''.$$

Далее определим расстояние, с которого радиус 7 кпк виден под углом $15''$. Угловой размер объекта обратно пропорционален расстоянию d до него. При выражении углов в радианной мере можно записать равенство

$$\frac{15''}{206265''/\text{рад.}} = \frac{7 \text{ кпк}}{d} \Rightarrow d \approx 10^5 \text{ кпк} = 10^8 \text{ пк.}$$

Оценивание:

- Явно сделанный или неявно используемый вывод, что угловой размер большой полуоси галактики совпадает с угловым размером ее радиуса **1**
- Известное или полученное участником выражение для площади эллипса **2**
- Вычисление большой полуоси эллипса **2**
- Вычисление (с использованием перехода от угловых секунд к радианам или через тригонометрические соотношения) расстояния до галактики) **2**
- Правильный итоговый ответ **1**

3. Красный гигант имеет видимую звездную величину в полосе V, равную $m_V = 6^m.5$. Болометрическая поправка для таких звезд $BC = -2^m.1$. Годи́чный параллакс звезды $\pi = 0''.005$. Определите болометрическую светимость звезды в светимостях Солнца, если известно, что абсолютная болометрическая величина Солнца равна $+4^m.7$.

Решение (8 баллов):

Определим расстояние до звезды:

$$r = \frac{1}{\pi} = \frac{1}{0.005} = 200 \text{ пк.}$$

Теперь можно вычислить абсолютную звездную величину в полосе V. Для любой пары видимой и абсолютной звездных величин (и в полосе V, и болометрической) верно

$$m - M = 5 \lg r - 5 = 5 \lg 200 - 5 = 5 \times 2.301 - 5 = 11.505 - 5 \approx 6^m.5,$$

откуда

$$M_V = m_V - (m - M) = 6.5 - 6.5 \approx 0^m.0.$$

У холодных звезд основная часть энергии излучается в инфракрасном диапазоне, поэтому абсолютная болометрическая звездная величина меньше, чем M_V :

$$M = M_V + BC = 0.0 + (-2.1) = -2^m.1.$$

Учитывая, что

$$M - M_{\odot} = -2.1 - 4.7 = -6^m.8,$$

получаем, что отношение

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 10^{-0.4 \times (-6.8)} = 10^{2.72} \approx 520.$$

Таким образом, светимость звезды составляет около 520 светимостей Солнца.

Оценивание:

- Определение расстояния по параллаксу **2**
- Определение M_V **2**

- Правильный учет болометрической поправки 2
- Итоговое вычисление светимости 2

4. Двойная звезда состоит из компонент с массами $4 \mathfrak{M}_{\odot}$ и $2 \mathfrak{M}_{\odot}$ (где $\mathfrak{M}_{\odot}$ — масса Солнца), движущихся вокруг общего центра масс по круговым орбитам с периодом 6 лет. Найдите расстояние между компонентами.

Решение (8 баллов):

Если массы компонент системы $\mathfrak{M}_1$ и $\mathfrak{M}_2$ выражены в массах Солнца, орбитальный период P — в годах, а большая полуось a — в астрономических единицах, то III закон Кеплера имеет вид

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2}.$$

Отсюда сразу же следует, что большая полуось системы (она же — расстояние между компонентами, поскольку орбиты круговые) равна 6 а.е.

Оценивание:

Если решение следует авторскому:

- Формулировка III закона Кеплера 4
- Вычисление итогового ответа 4

Если участник использует метрические единицы:

- Формулировка III закона Кеплера в общем виде $\left(\frac{P^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)}\right)$ 2
- Знание или вычисление массы Солнца 2
- Знание величины гравитационной постоянной 1
- Перевод периода в секунды 1
- Вычисление итогового ответа 2

5. Радиointерферометр со сверхдлинной базой состоит из телескопов, разнесенных на расстояние 8000 км. На каких частотах должны вестись наблюдения, чтобы в центре Галактики (расстояние до которого составляет 8 кпк) принципиально можно было разрешить детали размером 10 а.е.?

Решение (8 баллов):

Вычислим требуемое угловое разрешение в радианах. Оно составляет

$$\theta = \frac{10}{8 \cdot 10^3 \times 206265} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ радиан.}$$

Угловое разрешение (также в радианах) радиointерферометра размера D , наблюдающего на длине волны λ и соответствующей ей частоте $\nu = c/\lambda$, можно оценить как

$$\beta \approx \frac{\lambda}{D} = \frac{c}{D\nu}.$$

Для того, чтобы детали нужного размера можно было разрешить, необходимо, чтобы $\beta \lesssim \theta$, откуда

$$\nu \gtrsim \frac{c}{D\theta}.$$

Поскольку скорость света $c = 3 \cdot 10^5$ км/с, получаем, что

$$\nu \gtrsim \frac{3 \cdot 10^5}{8 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-9}} \approx 6 \cdot 10^9 \text{ Гц}$$

или 6 ГГц, наблюдения требуется вести на этой или большей частоте.

Оценивание:

- Вычисление углового размера наблюдаемых деталей 2
- Запись связи длины волны наблюдения и частоты 1
- Вычисление углового разрешения радиоинтерферометра 2
Участник может считать, что $\beta \approx 1.22\lambda/D$, что несколько изменит итоговый ответ, но оценивается в полной мере.
- Вычисление граничного значения частоты 2
- Явное (или в виде неравенства в ответе) указание на то, что это минимально необходимая частота 1