

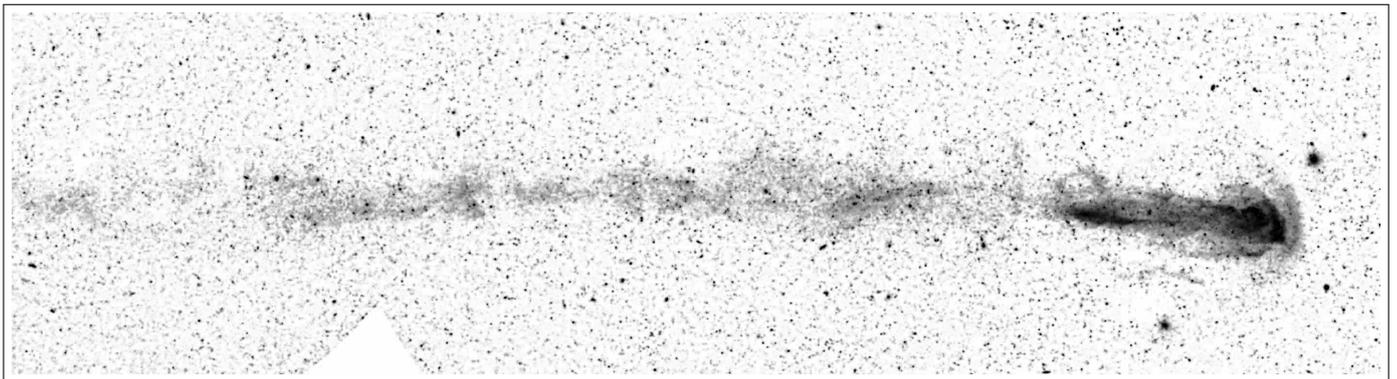
XXIX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
практический тур, решения

2022
13
марта

10 класс

Вам дано изображение некоторой звезды (и ее «хвоста» из выброшенного вещества), полученное телескопом GALEX в ультрафиолетовом диапазоне. Полный размер снимка по горизонтали составляет 2° . В таблице приведены разные данные о звезде (экваториальные координаты, компоненты собственного движения, расстояние, лучевая скорость, масса звезды, темп потери массы). Определите, когда были сброшены самые ранние видимые клочки вещества звезды, пространственную длину хвоста, полную наблюдаемую массу хвоста, плотность неподвижного межзвездного газа, считая, что звезда двигалась прямолинейно и равномерно. Что это за звезда?

α	δ	μ_α "/год	μ_δ "/год	r , пк	v_r , км/с	M , M_\odot	\dot{M} , $M_\odot/\text{год}$
$2^h 20^m$	-3°	0.009	-0.24	130	64	1.3	3×10^{-7}



Давление p набегающего со скоростью v потока газа плотности ρ вычисляется как $p = \frac{\rho v^2}{2}$.

Решение:

Заметим, что полное собственное движение $\mu = \sqrt{(\mu_\alpha)^2 + (\mu_\delta \cos \delta)^2} \approx 0''.24/\text{год}$ (очевидно, что и собственным движением по прямому восхождению, и склонением звезды можно пренебречь).

Воспользовавшись заданным масштабом изображения, определяем угловую длину хвоста (получая $1^\circ.8$) и, считая полное собственное движение постоянным и равномерным, находим время истечения вещества: около 27 тысяч лет.

С учетом расстояния до звезды находим тангенциальную скорость:

$$v_\tau = 0''.24 \times 130 \text{ пк} \times 4.7 \text{ км/с} \approx 150 \text{ км/с}.$$

На основании лучевой скорости найдем полную скорость $V = \sqrt{64^2 + 150^2} \approx 160 \text{ км/с}$. Зная время истечения вещества, находим полную пространственную длину хвоста:

$$160 \text{ км/с} \times 27000 \times 3 \times 10^7 \text{ с} = 1.3 \times 10^{14} \text{ км} = 4.3 \text{ пк}.$$

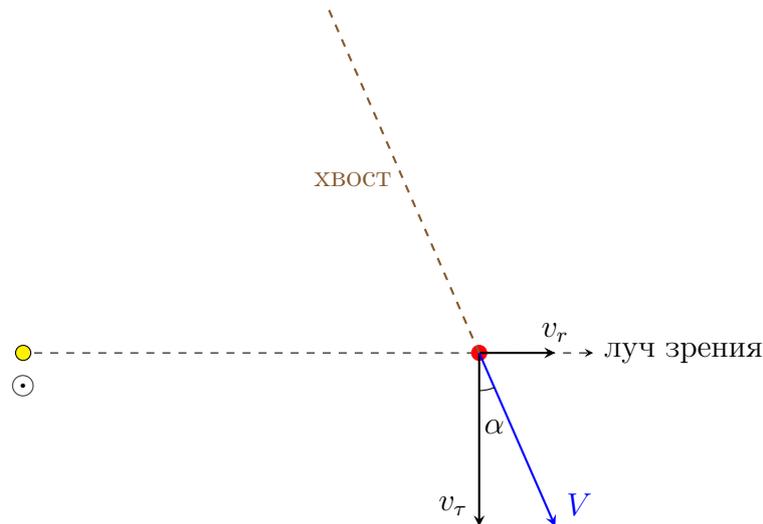
Полную массу хвоста оцениваем, исходя из того, что звезда непрерывно сбрасывала оболочку с постоянным темпом:

$$3 \cdot 10^{-7} \times 27 \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$$

Самая сложная задача — оценить плотность МЗС ρ_0 . Перейдем в систему отсчета, связанную со звездой. В этой системе отсчета звездный ветер летит со скоростью убегания $v(r) = \sqrt{2GM/r}$. Межзвездная среда движется навстречу звезде со скоростью V . Два давления набегающего потока газа (звездный ветер и МЗС) уравниваются друг друга на расстоянии r (которое необходимо измерить). Если считать, что потеря массы сферически симметрична, то есть $4\pi r^2 \rho(r) v(r) = \dot{M}$, то верно:

$$\rho(r) v^2(r) = \rho_0 V^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{\dot{M}}{4\pi r^2} \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \rho_0 V^2 \quad \Rightarrow \quad \rho_0 = \frac{\dot{M} \sqrt{2GM}}{4\pi V^2 r^{5/2}}$$

Величину r найдем так: головная ударная волна (в англоязычной литературе именуемая bow shock — действительно выглядит как дуга) отстоит от своего «центра» примерно на $150''$ — это определяется при помощи измерения линейкой при известном масштабе изображения. Это соответствует $150'' \times 130 \text{ пк} = 19500 \text{ а.е.}$ Однако это лишь проекция искомого расстояния r на картинную плоскость. Пусть α — угол между полной и тангенциальной скоростями, тогда его косинус: $\cos \alpha = 150/160 = 0.94$.



С учетом $\cos \alpha$ получаем $r = 19500 / \cos \alpha \approx 21000 \text{ а.е.} \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ км.}$

Вычисляем ρ_0 , подставляя все величины в СИ:

$$\rho_0 = \frac{3 \times 10^{-7} \cdot 2 \times 10^{30} \sqrt{2 \cdot 7 \times 10^{-11} \cdot 2 \times 10^{30}}}{3 \times 10^7 \cdot 4\pi \cdot (1.6 \times 10^5)^2 \cdot (3 \times 10^{15})^{5/2}} = 2 \times 10^{-24} \text{ кг/м}^3$$

Полученное значение хорошо согласуется с плотностью межоблачной среды или теплыми областями HI. Газовое давление такой среды примерно на пять порядков меньше давления набегающего потока газа, поэтому его можно не учитывать при расчетах.

Осталось назвать звезду. Можно обратить внимание на довольно большой темп потери массы, который означает, что это гигант. Однако для звезд Вольфа-Райе он все же маловат, так что звезда должна быть красным гигантом. Если учесть координаты и относительно небольшое расстояние, можно догадаться, что это Мира Кита.

В.В. Григорьев