

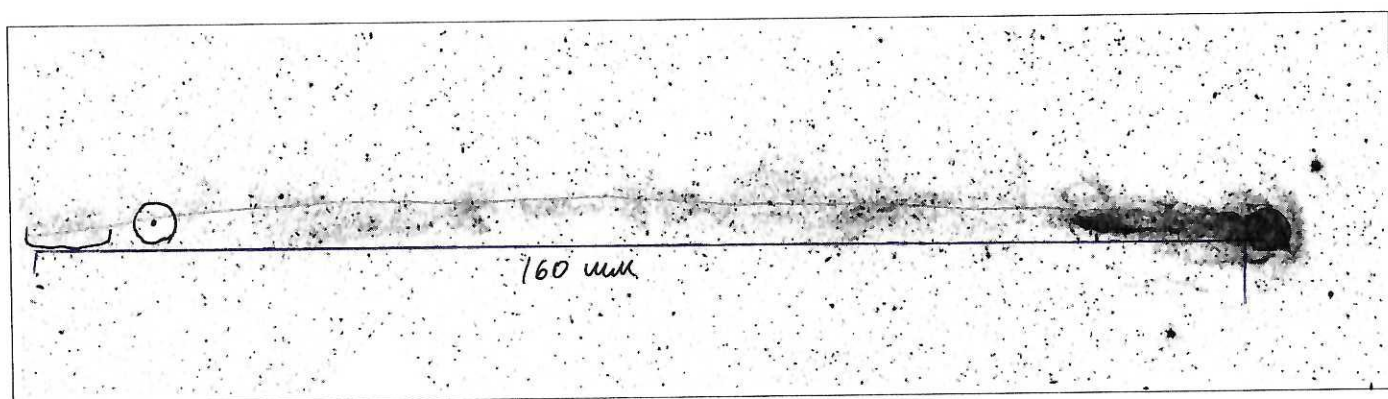
XXIX Санкт-Петербургская
астрономическая олимпиада
практический тур

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 (экуаториальные 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 $p = \frac{\rho v^2}{2}$.

Решения задач и результаты олимпиады будут размещены на сайте

<http://school.astro.spbu.ru>

1) Для начала определим радиус звезды:

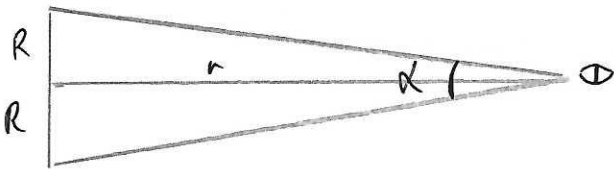
а) найдем ее ~~угловой~~ ~~размер~~:

~~угловой~~ размер: полная длина шимма по горизонтальной ~~длине~~ (около 130 мм) — это 2° , тогда размер звезды (около 5 мм)

$$\frac{130}{5} = \frac{2^\circ}{x}$$

$$\frac{2^\circ}{x} = 36 ; x = \frac{2^\circ}{36} = \frac{1^\circ}{18}$$

Заметим, что звезда имеет не совсем сферическую форму (из-за сброса ионов вещества), поэтому скорее радиус ее частей.



$$\kappa = \frac{1}{1080} \text{ рад} \approx 0,001 \text{ рад}$$

$$\frac{\kappa}{2} = 0,0005 \text{ рад}$$

$$\text{tg} \frac{\kappa}{2} = 0,0005 = 5 \cdot 10^{-4}$$

$$R = r \cdot \text{tg} \frac{\kappa}{2} = 130 \cdot 3,24 \cdot 10^{17} \cdot 5 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{17} = 10^{16} \text{ (м)}. \text{ Очевидно, эта звезда не на нашей}$$

поисковой области, а крошечная планета.

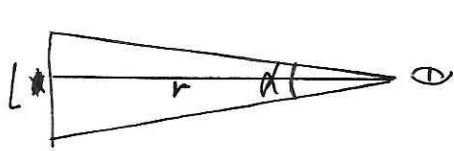
2) Зная лучевую скорость звезды, мы можем определить, когда она сбросила самое раннее видимое ионное вещество:

"хвост" начинается где-то около 1 мм от левого края шимма, рядом с ионом чуть справа находится светлая область. Очевидно, что в момент сброса оболочки звезда находилась там (обведено иском в условии). Измерим расстояние между центрами "белого чужа" — места, где была звезда в момент первого сброса, и ~~звезды~~ звезды: 148 мм. Переведем это в угловое расстояние:

$$\frac{148}{130} = \frac{x'}{120} ; \frac{148}{130} = \frac{37}{45} \approx \frac{7}{9} ; \frac{x}{120} = \frac{7}{9} ; x \approx 93,1'$$

$$\alpha \approx 93,1'$$

Теперь найдем реальное расстояние, которое прошла звезда: СНО-135



$$\frac{L}{2} : r = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$\alpha = 93,1' \approx \frac{1}{40} \text{ рад}$$

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{80} \text{ рад}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}; \sin \alpha = \alpha, \cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} \approx 1, \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$$

$$\frac{L}{2} : r = \frac{1}{80}$$

$$L : r = \frac{1}{40}; r = 130 \text{ пк}$$

$$L = 3,25 \text{ пк.}; 1 \text{ пк} = 3,24 \cdot 10^{17} \text{ м}$$

$$3,25 \cdot 3,24 \cdot 10^{17} \approx 10,56 \cdot 10^{17} \approx 10^{18} \text{ (м)}$$

$$t = \frac{L}{v}; t = \frac{10^{18}}{64 \cdot 10^3} \approx 1,5 \cdot 10^{13} \text{ (с)}$$

$1,5 \cdot 10^{13} \text{ с} \approx 6 \cdot 10^5 \text{ лет}$, т.е. первые шокки взрыва звезды сбросила около 600 тысяч лет назад.

3) Определим пространственную границу хвоста:

на ширине он 160 мм.

$$\frac{160}{180} = \frac{x}{2^\circ}$$

$$\frac{x}{2^\circ} = \frac{8}{9}; x \approx 1,8^\circ$$

$$\alpha = 1,8^\circ$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} = 0,03$$

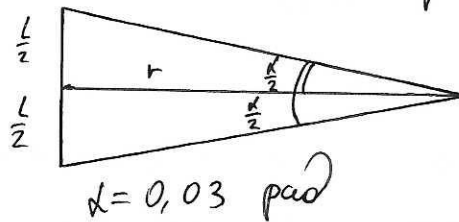
$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} = 0,015$$

$$\frac{L}{2} : r = 0,015$$

$$\frac{L}{r} = 0,03$$

$L = r \cdot 0,03 = 130 \cdot 0,03 = 3,9 \text{ пк}$, т.е. пространственная граница хвоста — 3,9 пк.

L — граница хвоста
r — расстояние



$$\alpha = 0,03 \text{ рад}$$

4) Для нахождения массы хвоста, нужно понять его плотность:
 Угтем, что звезда сбрасывает оболочки с поверхности, имеющие
 плотность примерно равную плотности воздуха, соответственно
 массу хвоста можно рассчитать как $L \cdot 4\pi R^2 \cdot \rho$, где L - длина
 хвоста, R - радиус звезды, а ρ - средняя плотность ~~в~~ вещества
 в хвосте. $\rho = 1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ← меньше в разы!!!

~~$m = 1,8 \cdot 10^3 \cdot 4\pi \cdot (10^{16})^2 \cdot 3,9 \cdot 3 \cdot 10^{17} = 288 \cdot 10^3 \cdot 10^{32} \cdot 10^{17} = 300 \cdot 10^{52} = 3 \cdot 10^{54} \text{ (кг)}$~~

т.е. масса хвоста около $3 \cdot 10^{54}$ кг, что быть не может, т.к.
 масса звезды излучательная ~~масса~~ не сильно превышает M_{\odot} , значит,
 средняя ρ хвоста мале, ~~потому что~~ ~~масса~~ много меньше ρ
 воздуха. *

5) Попробуем рассчитать ~~его~~ плотность. непозвонимо межзвездного
 газа: т.к. хвост звезды не разлетается, давление в хвосте
 равно давлению межзвездного газа. Судя по тому, что
 хвост всё ещё светится в УФ-диапазоне, вещество в нем имеет
 достаточно ~~высокую~~ высокую температуру, и можно применить
 формулу давлении газа, однако там не газ, а плазма, но
 будем считать её очень горячим одноатомным газом.
 ~~$\frac{p}{2} = \rho v^2$~~ $\frac{p v^2}{2} = p$ газа в хвосте

6) Судя по эв. координатам, расстояние и ~~эта~~ эта звезда
 эта звезда — Бетельгейзе.

* переключим через темп потери массы:

прошло $6 \cdot 10^5$ лет, масса звезды $\underset{m_0}{\text{удвоилась}}$ $3 \cdot 10^{-7} M_{\odot}$ в год

$$3 \cdot 10^{-7} \cdot 6 \cdot 10^5 = 9 \cdot 10^{-2} (M_{\odot})$$

Таким образом, масса хвоста около $\frac{1}{10} M_{\odot}$, т.е. этого

$$2 \cdot 10^{29} \text{ кг}$$

$$\rho \text{ газа в хвосте} = \frac{\frac{1}{10} M_{\odot}}{L \cdot 4\pi R^2} = \frac{2 \cdot 10^{29}}{3,9 \cdot 10^{17} \cdot 3 \cdot 10^{32}} = \frac{1}{6} \cdot 10^{-20} (\text{кг}) =$$

$$= \frac{10}{6} \cdot 10^{-19} = 2,3 \cdot 10^{-19} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad - \text{плотность хвоста}$$