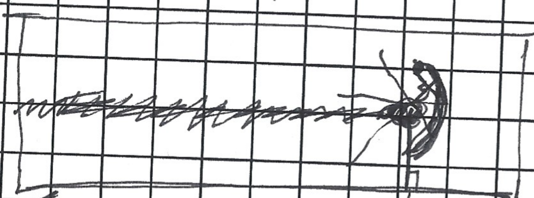
Задача. 10 класс.

Шифр: Хим-16

№ страницы: 1

Посмотрев на картинку, сразу заметим, что наша звезда двигается в направлении слева на-право (она, очевидно, более черная, т.е. яркая, чем бледный хвост), причём первые клочки в-ва видны ещё у левого края картинки. С правой стороны текущая граница оболочек чётко видна как дуга окружности — по-видимому, на границе среды из в-ва звёзды и межзвёздного газа образуется ударная волна. Поскольку её радиус кривизны должен соответствовать радиусу оболочки (расстоянию до звезды), ~~то~~ по положению звезду можно восстановить наиболее точно стандартным способом, опустив несколько сер. перпендикуляров из хорд дуги. В реальности все они пересекаются в одном из двух наиболее темных участков ~~?~~ негатива — с точностью оценки это и есть звезда.



Шифр: Хим-16

№ страницы: 2

Дальнейшие измерения показывают, что длина видимого хвоста (от левого края до самой звезды) равна 16,4 см, а ширина самой фотографии — 18,2 см (это соотв. 2° по усл.) ⇒ угловое смещение самой звезды за искомое время τ будет чуть меньше 2°:

$\Delta\varphi = \frac{16,4}{18,2} \cdot 2° \approx \frac{82}{45} \approx 1,8° = 1,8 \cdot 3600'' = 6480''$

Это смещение вызвано движением как по скл., так и по прямому восхождению. По т. Пифагора полное собств. движение звезды $\mu = \sqrt{\mu_\alpha^2 \cos^2\delta + \mu_\delta^2}$

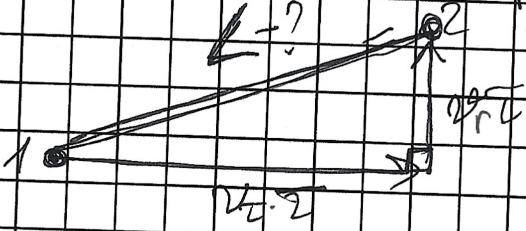
Заметим, что при данном $\delta = 8°$ $\cos\delta = 0,999 = 1 - \frac{\delta^2}{2} \to 1$

⇒ $\mu \approx \sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\delta^2}$. Однако очевидно, что $\mu_\alpha \ll \mu_\delta$ ⇒ его можно не учитывать для оценки, получаем $\mu = 0,24''/год$ (если учесть, применив ф-лу Тейлора для корня, $\mu = |\mu_\delta| + \frac{1}{2|\mu_\delta|} \mu_\alpha^2 = 0,24017''/г$ что действительно фактически равно 0,24). Итак, тогда, зная собств. угловую скорость (которая постоянна у этой звезды) и её перемещение $\Delta\varphi = \mu\tau$, получаем

$\tau = \frac{\Delta\varphi}{\mu} = \frac{6480''}{0,24''/год} = \frac{648}{24} \cdot 1000 = \boxed{27000 \text{ лет}}$

Итак, самые ранние клочки были сформированы примерно 27000 лет назад.

Далее, чтобы определить полную ~~дл~~ длину хвоста, заметим, что она складывается из лучевой и тангенциальной компонент: $L = \sqrt{(v_r\tau)^2 + (v_t\tau)^2}$.



Лучевую компоненту, так или иначе, придётся считать с учётом скорости v_r.

Зная, что в году примерно $3{,}14\cdot10^7$ секунд, $\tau \approx 81\cdot10^{10}$ секунд $= 8{,}1\cdot10^{11}$ с
$\Rightarrow v_r\tau = 576\cdot10^{11}$ км $\approx 5{,}76\cdot10^{13}$ км. А учитывая, что 1 пк $= 3{,}1\cdot10^{13}$ км, получим $v_r\tau \approx \underline{1{,}8 \text{ пк}}$.
~~Что~~ Это значит, что за всё время τ звезда не сильно удалилась от нас и мы можем считать расстояние до нее всё время равным $r = 130$ пк. Тогда можно, с одной стороны, вычислить тангенциальную скорость звезды по формуле $v_t = 4{,}74\,\mu r \approx 4{,}7\cdot0{,}24\cdot130 \approx 145\ \frac{км}{с}$, что в 2 с лишним раза больше, чем v_r
$\Rightarrow v_t\tau = \frac{145}{64}\cdot1{,}8 \approx \frac{7}{3}\cdot1{,}8 \approx 4{,}2$ пк.
С другой стороны, эту же оценку можно

Шифр: Хим-16
№ страницы: 4

получить, приняв длину трека звезды ($1{,}8^\circ$) за малый угол. Тогда $\frac{1{,}8}{57{,}3^\circ} \approx 0{,}031$ рад, откуда $v_\perp t \approx 130$ пк $\cdot\, 0{,}031$ рад $\approx 4{,}2$ пк.

Итак, пространственная длина хвоста равна

$$L = \sqrt{1{,}8^2 + 4{,}2^2} = \sqrt{3{,}24 + 17{,}64} \approx \sqrt{21} \approx \boxed{4{,}6 \text{ пк}}$$

Ясно, что в течение всего своего полета звезда теряла массу с постоянным темпом $\dot{M}$ $\Rightarrow$ полная масса хвоста равна

$\Delta M = \dot{M} t$ (т.к. весь хвост состоит только из потерянной массы звезды)

Считаем: $\Delta M = 3\cdot 10^{-7} \cdot 27000$ лет $= 81\cdot 10^{-4} M_\odot$

Итак, $\boxed{\Delta M = 8{,}1\cdot 10^{-3} M_\odot = 1{,}62\cdot 10^{27} \text{ кг}}$

Осталось лишь разобраться с плотностью газа. Это сложно. Но заметим, что набегающий поток по идее должен (хоть и незначительно) тормозить движ. звезды. Однако её полная скорость все время постоянна $\Rightarrow$ сила давления со стороны газа pS должна чем-то компенсироваться (S – площадь нормальной пов-ти ударной волны)

Шифр: Хим-16

№ страницы: 5

Поскольку в основном хвост ориентирован от звезды, можно предположить, что он отдаёт ей „тягу" с силой $\dot{M} v_n$ (других сил нет) $\Rightarrow$ $pS = \dot{M} v_n$, $p = \frac{\rho v_n^2}{2} \Rightarrow \rho = \frac{2\dot{M}}{S v_n}$

v_n – полная скорость звезды – равна

$v_r \cdot \frac{4,6}{4,8} = 64 \cdot \frac{8}{3} \approx 168 \frac{км}{с}$ (из подобия Δ-ков скоростей и расстояний)

$S = \pi R^2$, R – радиус ударной волны (из рис. $R = 0,8 см \Rightarrow$ это $0,5° \Rightarrow R = 2,1 \cdot 10^{-2} пк$)

$\Rightarrow S = 1,3 \cdot 10^{25} км^2 \Rightarrow$ ~~...~~ $Sv = 2,1 \cdot 10^{27} \frac{км^3}{с}$

$\Rightarrow \rho = \frac{2\dot{M}}{Sv} \approx 1,1 \cdot 10^{-11} \frac{кг}{км^3} = \boxed{1,1 \cdot 10^{-20} \frac{кг}{м^3}}$

Достаточно малое значение, однако оно сильно превосходит крит. плотность Вселенной, т.е. в общем межзвездный газ должен быть настолько разрежен.

Кроме того, созвездие, в котором находится звезда, сильно похоже на Лебедь (у рисунка (~~по звезда~~ по ярким звездам – черным точкам) $\Rightarrow$ эта звезда $\boxed{\text{Альтаир}}$

(похожа на Солнце по массе)