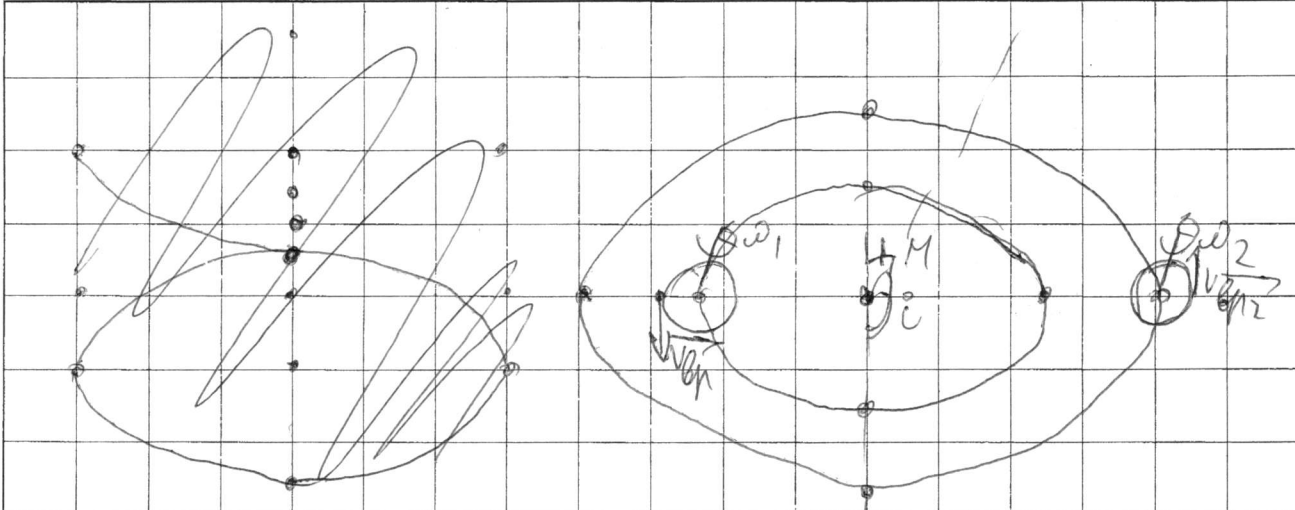


~~Пл.к. график симметричен, но из графика~~  
 найдём период системы:  $T_{\text{пол}} = 2T$  [максимум]  
 по оси  $T$  ( $5 \text{ см} = 1 \text{ см}$ )  $\Rightarrow T = 7 \text{ см} = 7 \text{ см} \Rightarrow$   
 $T = 0,7 \text{ см}$ ; [максимум по оси  $v$ ,  $5 \text{ см} = 10 \text{ км/с} = 28 \text{ км/с}$ ]  
 точка пересечения лучевых скоростей звезд  
 соответствует  $v = \frac{1}{2} v_{\text{пол}} = 0,8 \cdot 8 = 6,4 \text{ км/с}$ ; из  
 графика также видно, что он периодический симме-  
 тричен и время прохождения периферии  
 первой половины периферии (от апоцентра  
 до периферии) и второй (от периферии до  
 апоцентра) равны, а так же лучевые скорости  
 каждой из компонент симметричны отно-  
 сительно  $v = \frac{1}{2} v_{\text{пол}} \Rightarrow$  орбиты круговые; минимум  
 он максимален  $v = \text{ампл} = v_{\text{пол}} = 8$ ; (пусть для  
 первая звезда соответствует сплошной линии, а  
 вторая пунктирной)  $\Rightarrow$  далее всю задачу  
 будем решать в СД ЦМ:  $v_{\text{пол}} = 2,9 \cdot 8 = 23,2 \text{ км/с}$   
 $v_{\text{пол}} = 3,5 \cdot 8 = 28 \text{ км/с}$ ; по III зк: звезда  
 $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{G M_{\text{пол}}}{a^3}$ ; для пунктирной линии в двой-  
 ной: возникает из за вращения вокруг общей  
 оси: (рисуюсь вилу наблюдателя на краю  
 системы);



т.к. в задаче не предусмотрено число кругов, то  
 считаем скорость вращения звезды  $v_{вр}$  как  
 первую космическую  $v_{вр} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ; по эрре-  
 кту формулы:  $v_{вр} = \frac{\Delta R}{T}$

$$\sqrt{\frac{GM_1}{R_1}} = \frac{c \Delta R_1}{T_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0,36 \cdot 10^{10}}{3600 \cdot \frac{2}{3}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 0,36 = 108 \cdot 10^7 = 1,08 \cdot 10^9 \text{ м/с}$$

$$\sqrt{\frac{GM_2}{R_2}} = \frac{c \Delta R_2}{T_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 10^9 \cdot \frac{2}{3}}{3600 \cdot \frac{2}{3}} = \frac{2 \cdot 10^{17}}{3600} = \frac{2}{3} \cdot 10^{14} \text{ м/с}$$

запишем тому равно ускорение свободно-  
 падающего камня из звезды:

$$\frac{GM_1}{R_1^2} - \frac{GM_2}{R_2^2} = 3 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2 \Rightarrow$$

$$\sqrt{\frac{GM_1}{R_1}} = \frac{c \Delta R_1}{T_0} \quad \text{(I)}$$

$$\sqrt{\frac{GM_2}{R_2}} = \frac{c \Delta R_2}{T_0} \quad \text{(II)}$$

$$\frac{GM_1}{R_1^2} = 3 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2 \quad \text{(III)}$$

$$\frac{GM_2}{R_2^2} = 3 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2 \quad \text{(IV)}$$

$$\frac{(I)^4}{(II)^4} \Rightarrow \frac{G^2 M_1^2}{R_1^2} = \frac{G^2 M_2^2}{R_2^2} = \frac{(c \Delta R_1)^4}{(c \Delta R_2)^4}$$

$$\Rightarrow GM_1 = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 0,36^4 \cdot 10^{40}}{2314 \cdot 10^{10} \cdot 3 \cdot 10^3} = \frac{3 \cdot 0,36^4 \cdot 10^8}{2314 \cdot 10^3} =$$

~~$$\frac{|I|}{|II|} = \frac{g^4 \cdot 10^{28}}{3 \cdot 10^3} = \frac{3^8 \cdot 10^{28}}{3 \cdot 2^4 \cdot 10^3} = \frac{3^7 \cdot 10^{25}}{2^4}$$~~

$$|I| = \sqrt{2g, R_1} = \frac{g \cdot 10^6 \text{ м/с}}{2} = \sqrt{3 \cdot 10^3 \cdot R_1} = \frac{g \cdot 10^6}{2} \Rightarrow$$

$$\sqrt{R_1} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot R_1}{3^4 \cdot 10^{19}} \Rightarrow R_1 = \frac{3^3 \cdot 10^9}{4} \Rightarrow$$

$$\frac{Q M_1}{3^6 \cdot 10^{18}} = 3 \cdot 10^3 \Rightarrow M_1 = \frac{3^3 \cdot 10^{24} \cdot 3^6}{16 \cdot 40 \cdot 10^{11}} =$$

$$40^{32} \cdot \frac{3^7}{16 \cdot 40} \approx 3,5 \cdot 10^{32} \text{ кг} = M_1;$$

из правила рычага:  $M_1 v_1 = M_2 v_2$  (Т.К  
 в максимуме  $v_1 = v_2$ )  $\Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{28}{232} \Rightarrow$

$M_2 \approx 4,2 \cdot 10^{32} \text{ кг}$ ; очевидно, что это планеты.

ур-е (11):  $\left( \frac{2\pi}{\sigma_{\text{тум}}} \right)^2 = \frac{6 \cdot 7,7 \cdot 10^{32}}{\sigma_{\text{т}}^3} \Rightarrow$

$$\sigma_{\text{т}}^3 = \frac{6 \cdot 7,7 \cdot 10^{32}}{40^{30} \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 3600^2} \approx 40 \cdot 7,7 \cdot 10^{31}$$

~~$$40 \cdot 7,7 \cdot 10^{31} \cdot 0,7 \cdot 24 \cdot 3600 = \frac{21 \cdot 10^{29}}{6} = 3,5 \cdot 10^{28}$$~~

~~$a = \sqrt{3.5 \cdot 10^8} \in R \Rightarrow$  звезда вращается на расстоянии  $R_1 + R_2 \approx 10^{10}$  м  $\Rightarrow v_{\text{лин}} = \frac{2\pi R}{T}$~~

~~$\frac{2\pi \cdot 10^{10}}{0.7 \cdot 24 \cdot 3600} \approx \frac{6.28 \cdot 10^8}{1.68 \cdot 36} \approx \frac{10^8}{9} \text{ м/с} \approx 10^7 \text{ м/с}$~~

$a_3 = \frac{6 \cdot 7.7 \cdot 10^{31} \cdot 0.7^2 \cdot 81 \cdot 10^7}{4} = \frac{10^4 \cdot 7.7 \cdot 10^{29}}{4}$

$\approx 3 \cdot 10^{31} \Rightarrow x_{a_3} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{10} \cdot 10^{10} = 1.4 \cdot 33 \cdot 10^{10} = 4.5 \cdot 10^{10}$  м

или  $M_1 a_1 = M_2 a_2 \Rightarrow M_1 a_1 = M_2 (a_3 - a_1) \Rightarrow a_1 = \frac{M_2 a_3}{M_1 + M_2}$

$2.1 \cdot 10^{30}$  м  $\Rightarrow v = \frac{2\pi R}{T} \approx \frac{2 \cdot 10^7 \text{ м/с}}{\sin i} \Rightarrow$

$i \approx \arcsin \left| \frac{23.2}{2 \cdot 10^7} \right| \approx 1'$ , класс 0 т.к. очень

точечное; ср. расстояние  $= a_3 \approx 4.5 \cdot 10^{10}$

срн 5 сут 5



XXXI Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
практический тур

2024  
3  
марта

10 класс

Вам дана кривая лучевых скоростей двойной звезды LP 413–53AB, полученная в ходе наблюдений с 2007 по 2023 годы и аппроксимированная численной моделью. По оси абсцисс отложено время в сутках, по оси ординат — лучевая скорость каждой из компонент (в км/с). Определите:

- массы компонент;
- спектральные классы звезд;
- среднее расстояние между компонентами;
- угол наклона орбиты к лучу зрения.

Полуширина спектральной линии угарного газа (CO)  $\lambda = 23140 \text{ \AA}$  в спектре звезды, кривая лучевых скоростей которой обозначена штрихованной линией, составляет  $0.34 \text{ \AA}$ , в спектре звезды с кривой лучевых скоростей, обозначенной сплошной линией —  $0.36 \text{ \AA}$ , ускорения свободного падения на поверхности обеих компонент равны  $3 \cdot 10^5 \text{ см/с}^2$ . Можно считать, что оси вращения звезд перпендикулярны плоскости их орбит.  $\approx 3 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2$

