

1) При помощи линейки с левого изображения сниму значения поперсей галактики в угловых минутах:

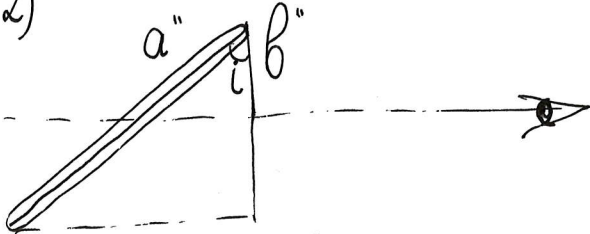
$$2a'' = \frac{5.4}{5} \cdot 16 \cdot 15''$$

$$2b'' = \frac{4.8}{5.9} \cdot 4 \cdot 60$$

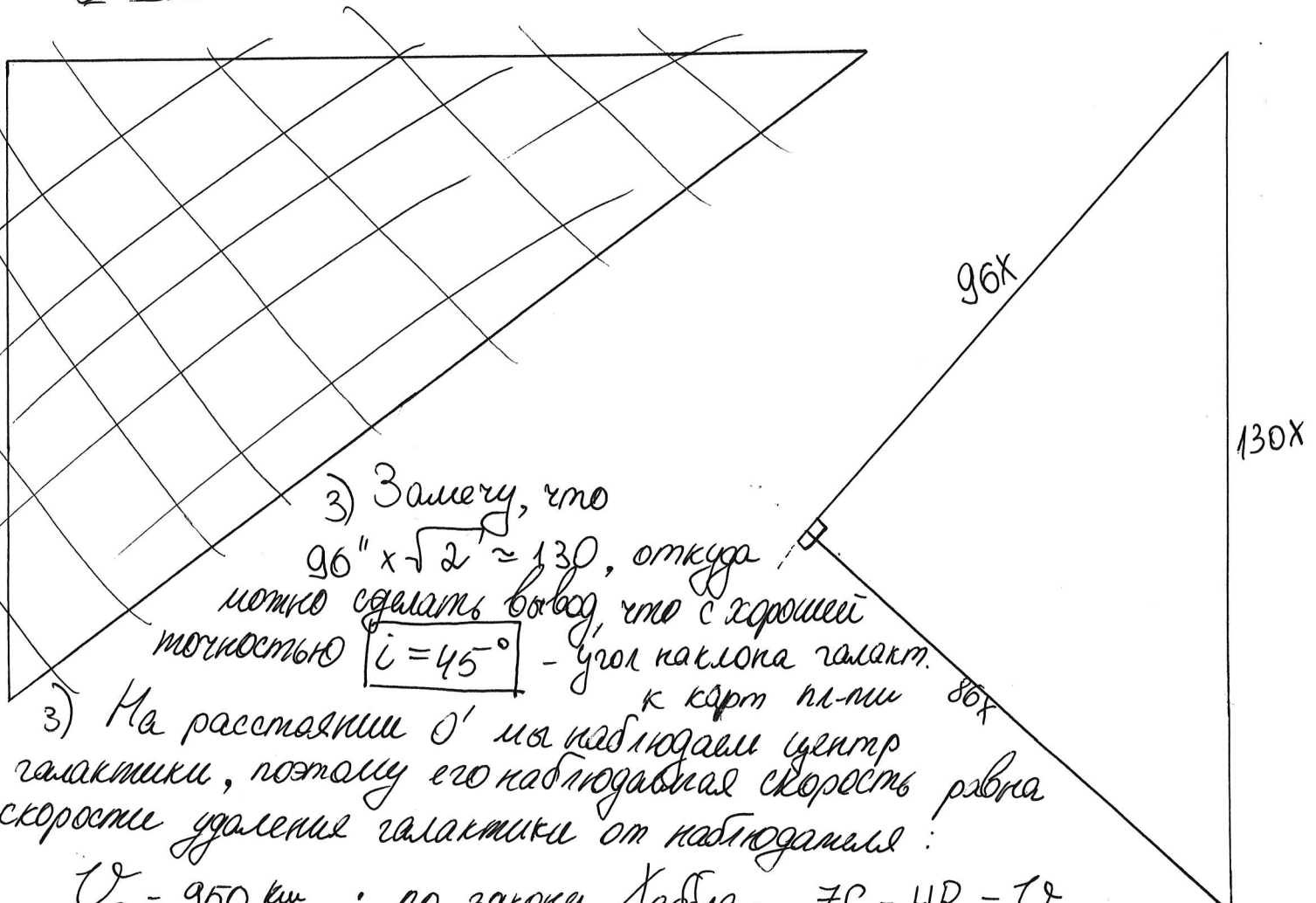
$$a'' = 130''$$

$$b'' = 96''$$

2)



$$\cos i = \frac{b''}{a''} = \frac{96''}{130''} \approx 0.74$$



3) Замечу, что  $96'' \times \sqrt{2} \approx 130$ , откуда можно сделать вывод, что с хорошей точностью  $i = 45^\circ$  - угол наклона галакт. к карт пл-ми 86x

3) На расстоянии  $0'$  мы наблюдаем центр галактики, поэтому его наблюдаемая скорость равна скорости удаления галактики от наблюдателя:

$$v_0 = 950 \frac{\text{км}}{\text{с}} \quad ; \quad \text{по закону Хаббла: } zC = HR = v$$

$$R = \left(\frac{H}{v}\right)^{-1} = \frac{v}{H} = \frac{950 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{68 \frac{\text{км}}{\text{с}} \cdot \text{Мпк}} = 1.40 \text{ Мпк} = \boxed{14000 \text{ кпк}} = \boxed{14 \text{ Мпк}}$$

4) Если я верно покал формулировку условий задачи, то скорость относительно нашей Галактики, отображенная на втором рисунке, - это радиальная скорость. Тогда, чтобы найти полную линейную скорость, необходимо радиальную подставить на  $\sin i$

$$\sin i = \sqrt{1 - \cos^2 i} = \sqrt{1 - 0.74^2} = \sqrt{1 - 0.55} \approx 0.68 \quad \text{см. лист 2}$$

5) Из 1-го изображения оценю размер балджа:

$$d = 30'' = 0.5'$$

6) Найду рад. скорость в ключевых точках диаграммы:

$$v_r(1') = 1100 \frac{\text{км}}{\text{с}} - 950 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 150 \frac{\text{км}}{\text{с}}; \quad v_{17} = \frac{v_r(1')}{\sin i} = \frac{150 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{0.68} \approx 221 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

это скорость "на плато" спиральной галактики, скорость вращения её рукавов. Воспользовавшись соотношением Тамми-Риджа для спиральных галактик, можно сделать вывод о том, что светимость наблюдаемой галактики примерно равна светимости Млечного Пути:

$$\frac{L}{L_{\text{MW}}} = \left( \frac{v_{\text{rot}}}{v_{\text{rot MW}}} \right)^4 = \left( \frac{221 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{220 \frac{\text{км}}{\text{с}}} \right)^4 \approx 1$$

7) ~~Кривая вращения галактики:~~

Оценка массы балджа:

на диаграмме на скорости  $930 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  заметно скопление вещества, которое отвечает за балдж. Так как балдж мал по сравнению с размерами всей галактики, то вклад массы темной материи при движении в балдже тоже пренебрежимо мал. Так как балдж сферичен, то по теореме Ньютона (следствие теоремы Гаусса) массу балджа можно оценить следующим образом:

$$v_b^2 = \frac{G M_b}{r_b}, \quad \text{где } r_b - \text{радиус балджа } M_b - \text{масса балджа}$$

$$v_b = \left| \frac{v_{\text{ском}} - v_{\text{HR}}}{\sin i} \right| = \frac{950 \frac{\text{км}}{\text{с}} - 930 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{\sin i} \approx$$

$$r_b = R \cdot \frac{d''}{2} \cdot \frac{1}{206265} \approx 1.5 \cdot 20 \frac{\text{км}}{\text{с}} \approx 30 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 1.4 \cdot 10^7 \cdot 206265 \cdot 1.5 \cdot 10^{11} \cdot \frac{30''}{2} \cdot \frac{1}{206265} =$$

$$\approx 3,2 \cdot 10^{18} \text{ м} = 3 \cdot 10^{18} \text{ м}$$

$$M_b = \frac{v_b^2 \cdot r_b}{G} = \frac{30000^2 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot 3 \cdot 10^{18} \text{ м}}{667 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}} = 3,9 \cdot 10^{38} \text{ кг} \approx 2 \cdot 10^8 M_{\odot}$$

8) Так оценю размер галактики:

$$r_g = R \cdot \frac{D''}{2} \cdot \frac{1}{206265} = R \cdot \frac{a}{206265} = 1.4 \cdot 10^7 \cdot \frac{206265}{206265} \cdot 1.5 \cdot 10^{11} \cdot \frac{130''}{206265} \approx$$

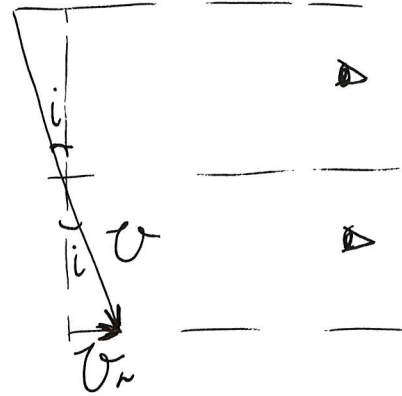
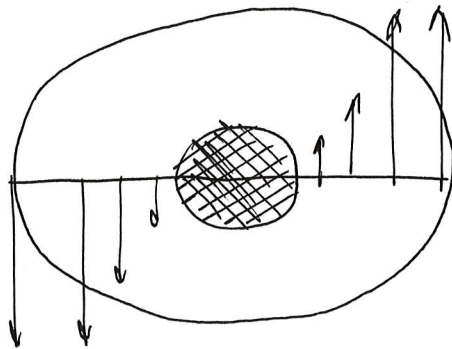
$$= 14000000 \text{ пк} \cdot \frac{130''}{206265} = \frac{1.4 \cdot 1.3}{2.1} \cdot 10^4 \approx 8600 \text{ пк} = 2.7 \cdot 10^{20} \text{ м}$$

примерно в 2 р. меньше MW

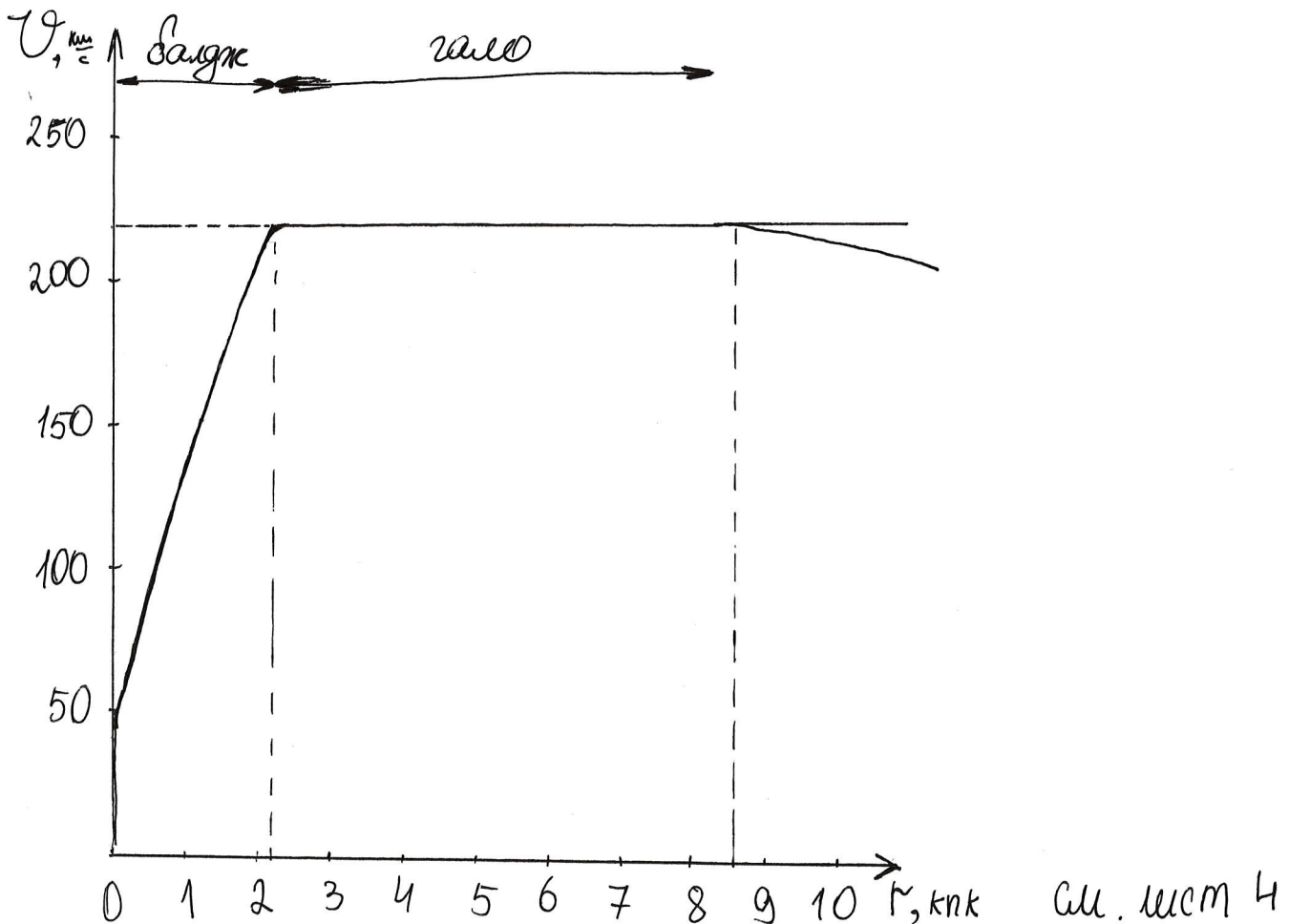
9) ~~Для оценки массы галактики достаточно, зная относительные массы материи и темной материи в галактике 1:5 (20% и 80%) т.е. 1:4, масса всей галактики будет вычисляться следующим образом:~~

$$v_{rot}^2 = \frac{G M_{gal}}{r_g} \Rightarrow M_{gal} = \frac{v_{rot}^2 \cdot r_g}{G} = \frac{(221000 \frac{m}{s})^2 \cdot 27 \cdot 10^{20} m}{6.67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot m^3}{kg \cdot s^2}} \approx$$

$$\approx \frac{2,22,7}{6,7} \cdot 10^{41} \text{ кг} \approx 8,3 \cdot 10^{41} \text{ кг} \approx \boxed{4 \cdot 10^{11} M_{\odot}}$$



10) Кривая вращения:



КОД: 190

мет 4 из 4

11) Поиск зависимости плотности от радиуса

Рассмотрю две прямые на кривой скоростей:

а)  $v = k \cdot r + b$     б)  $v_0 = 220 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

а):  $b = 50 \frac{\text{км}}{\text{с}}$   
 $k = \frac{220 \frac{\text{км}}{\text{с}} - 50 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{2,2 \text{ кпк}} = \frac{180 \frac{\text{км}}{\text{с}}}{2200 \text{ пк}} = \frac{18}{220} \frac{\text{км}}{\text{с/пк}}$

в пределах  
от 0 кпк  
до 2,2 кпк

$$v^2 = \frac{GM}{r} = \frac{G \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \rho}{r} = G \cdot \frac{4}{3} \pi r^2 \rho = (k \cdot r + b)^2$$

$$\rho = \frac{k \cdot r + b}{\frac{4}{3} \pi G r^2} = \boxed{\frac{kr + b}{\frac{4}{3} \pi G r^2}}$$

где  $\rho$  - плотность, включающая в себя и массу материи, и массу тёмной материи

б):  $v = v_0$  ;  $v_0 = 221 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

$$\frac{GM}{r} = v_0^2 \iff \frac{G \frac{4}{3} \pi r^3 \rho}{r} = v_0^2 \iff$$

$$\boxed{\rho = \frac{3v_0^2}{4\pi G r^2}}$$

в пределах от 2,2 кпк  
до 8,6 кпк

Ответ:

1)  $i = 45^\circ$

2)  $R = 11 \text{ Мпк}$

3)  $M_b = 2 \cdot 10^8 M_\odot$      $M_{\text{gal}} = 4 \cdot 10^{11} M_\odot$

4)  $\rho_{0-2} = \frac{kr + b}{\frac{4}{3} \pi G r^2}$  , где  $k = \frac{18}{220} \frac{\text{км}}{\text{с/пк}}$  ;  $b = 50 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

$$\rho_{2-8} = \frac{3v_0^2}{4\pi G r^2}$$