

Решение:

Шифр
215

В одной секунде (1^s) $15''$ секунду уходят.

Тогда измерим галактику на данном изображении (изобр. слева в учебнике).

Широта от $22^h 8^m 1^s$ до $22^h 7^m 44^s$,

$$\text{т.е. } \Delta W = 22^h 8^m 1^s - 22^h 7^m 44^s = 17^s \text{ или } 255''$$

Высота галактики на изображении

от $31^\circ 20' 0''$ до $31^\circ 23' 20''$

$$\text{т.е. } \Delta h = 31^\circ 23' 20'' - 31^\circ 20' 0'' = 3' 20'' = 200''$$

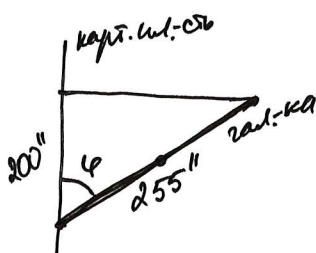
Размер изображения галактики рассчитывался по ~~ширине~~ ширине линии изобраз, т.е. на разное падение скорости в фотометре R.

Тогда угол наклона галактики к картинной плоскости можно исчислить:

$$\cos \varphi = 200'' / 255''$$

$$\varphi \approx 36^\circ$$

(используя транспортир)
и циркуль



Оценим расстояние до галактики:

рассмотрим правый график.

Центр галактики движется со скоростью 950 км/с .

Тогда:

$$H \cdot z = v_{ц.г.}$$

$$\text{и } z = \frac{v_{ц.г.}}{H} = \frac{950 \text{ км/с}}{68 \frac{\text{км/с}}{\text{Мпк}}} = 14 \text{ Мпк}$$

расстояние до галактики $z = 14 \text{ Мпк}$

Рассмотрев правый рисунок еще раз (графики), мы заметим, что скорости вращения выходят на "плато" при 1100 км/с (сверху) и 800 км/с (снизу).

Скорость (относитель центра галактики) обсалтов, у которых она начинает выходить на "плато" равна $950 \text{ км/с} - 800 \text{ км/с} = 150 \text{ км/с}$

Т.е. $v_{ц}^* = 150 \text{ км/с}$ на расстоянии

от центра галактики равна

Шварц
215

~~40''~~

$\tau_{\text{пл}} = 40'' \cdot \tau$, где τ - расстояние до гал. и $\tau = 14 \text{ Мпк}$,
а $40''$ найдено из графика,
проевля большую ось и линии
скоростей "на нитю".

$$\tau_{\text{пл}} = 40'' \cdot 14 \text{ Мпк} =$$

$$= \frac{40''}{206265''} \text{ рад} \cdot 14 \cdot 10^6 \text{ пк} \approx \frac{40}{2 \cdot 10^5} \cdot 14 \cdot 10^5 \cdot 2.5 \text{ пк} =$$

$$= 200 \cdot 14 \text{ пк} = 2800 \text{ пк или } 2,8 \text{ кпк}$$

Далее поше $\tau_{\text{пл}}$ до $\tau_{\text{край}}$ скорость вращения
(спроецированная на плоскость симметричности)
остается неизменной и примерно равна

$$v_{\text{пл}}^* = v_{\tau}^* = 150 \text{ км/с},$$

а $\tau_{\text{край}}$ равен:

$$\tau_{\text{край}} = 2'' \cdot \tau = \frac{2 \cdot 60''}{206265''} \cdot 14 \text{ Мпк} \approx \frac{2 \cdot 60}{2 \cdot 10^5} \cdot 14 \cdot 10^5 \cdot 2.5 =$$

(2'' из края нити назовем)

$$= 2 \cdot 14 \cdot 60 \cdot 2.5 \text{ пк} = 8400 \text{ пк или } 8,4 \text{ кпк}.$$

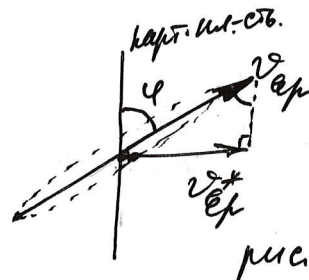
Реальные скорости вращения будут равны (из-за проекции)

$$v_{\text{вр}} = v_{\text{вр}}^* / \sin \varphi \text{ (см. рис.)}$$

$$v_{\text{пл}} = v_{\text{пл}}^* / \sin \varphi =$$

$$= \frac{v_{\text{пл}}^*}{\frac{\sqrt{255^2 - 200^2}}{255}} \approx \frac{v_{\text{пл}}^*}{\frac{150}{255}} = \frac{255}{150} \cdot 150 \text{ км/с} =$$

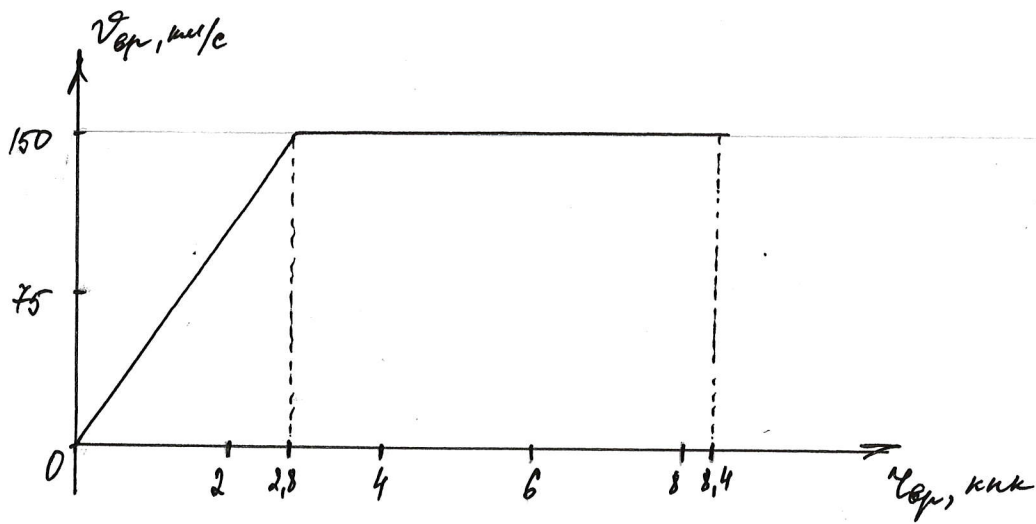
$$= 255 \text{ км/с}$$



Тогда построим кривую вращения галактики $v_{\text{вр}}$
от расстояния от центра гал. $\tau_{\text{вр}}$:

Сначала скорость вращения линейно возрастала,
т.к. расстояние тоже линейно возрастает
от ~~начала~~ углового расстояния, а потом
скорость вращения выходит на "нитю":

(см. след. лист)



От 0 кп до 2,8 кп $v_{rot} \sim r_{rot}$ — на графике кривой вращения.

Найдем зависимость ρ от r_{rot} :

$$v_{rot} = \sqrt{G M(r_{rot})}$$

$$v_{rot}^2 = \frac{G M(r_{rot})}{r_{rot}} = \frac{G \cdot \frac{4}{3} \pi r_{rot}^3 \rho(r)}{r_{rot}} = \frac{4}{3} \pi G r_{rot}^2 \rho(r) \quad (1)$$

$M(r_{rot})$ — масса галактики, заключенная внутри сферы радиуса r_{rot} .

Т.к. $v_{rot}^2 \sim r_{rot}^2$, то из (1) $\Rightarrow \rho(r) = \text{const}$,

и она равна:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{v_{rot}^2}{r_{rot}^2 \frac{4}{3} \pi G} = \frac{(150 \text{ км/с})^2}{(2,8 \text{ кпк})^2 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot 7 \cdot 10^{-11}} \approx \\ &\approx \frac{(150 \cdot 10^3)^2 \cdot 3}{(2,8 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,5 \cdot 10^{11})^2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 10^{-11}} = \\ &= \frac{15^2 \cdot 10^8 \cdot 3}{4,2^2 \cdot 4^2 \cdot 10^{38} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 10^{-11}} \approx 3 \cdot 10^{-21} \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

А масса центральной части, можно сказать ~~равна~~ ~~близка~~ ~~равна~~ всей галактики

$$M_{\text{цент.}} = \frac{v_{rot}^2 \cdot r_{rot}}{G} = \frac{(15 \cdot 10^4)^2 \cdot 2,8 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,5 \cdot 10^{11}}{7 \cdot 10^{-11}} \quad (\text{кг}) \approx 2,4 \cdot 10^{40} \text{ кг}$$

или $\frac{2,4 \cdot 10^{40}}{2 \cdot 10^{30}} \text{ М}_\odot \approx 10^{10} \text{ М}_\odot$

Тогда массы ~~близка~~ ~~равна~~ \approx равно $M_\odot \approx 10^{8+9} \text{ М}_\odot$

Теперь найдем зависимость ρ от r
на "плане":

$$v_n^2 = \frac{GM(r)}{r}$$

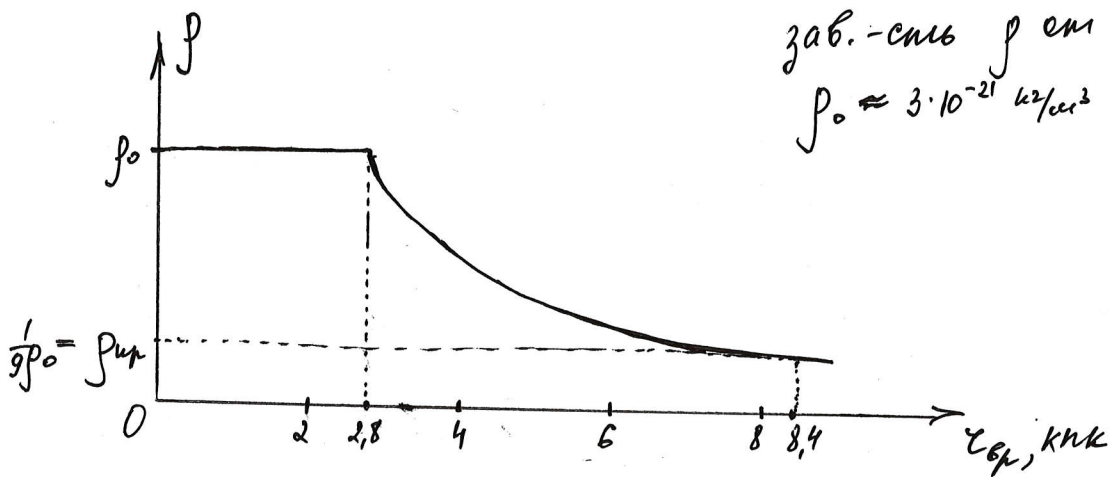
$$v_n^2 = \frac{G \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \rho(r)}{r} = G \cdot \frac{4}{3}\pi r^2 \rho(r)$$

но т.к. $v_n = \text{const}$ и $v_n^2 = \text{const}$, а значит

$$r^2 \rho(r) = \text{const},$$

$$\text{то } \rho(r) = \frac{\text{const}}{r^2} \quad \text{или } \rho \sim \frac{1}{r^2}$$

Тогда графика зависимости ρ от расстояния $r_{\text{гр}}$ от центра галактики будет выглядеть так:



На краю будет плотность:

$$\frac{\rho_0}{\rho_{\text{гр}}} = \left(\frac{r_{\text{гр}}}{r_{\text{пл}}}\right)^2; \quad \rho_{\text{гр}} = \rho_0 \cdot \frac{r_{\text{пл}}^2}{r_{\text{гр}}^2} = \rho_0 \cdot \frac{2,8^2}{8,4^2} = \rho_0 \cdot \frac{28^2}{84^2} = \frac{1}{9} \rho_0$$

т.к. $\rho \sim \frac{1}{r^2}$, то масса каждого слоя толщиной d будет постоянной и не зависеть от расстояния.

Тогда свой размер ΔM : $d = \Delta r$ имеет массу

$$\Delta M = 4\pi r_{\text{пл}}^2 \cdot d \cdot \rho_0$$

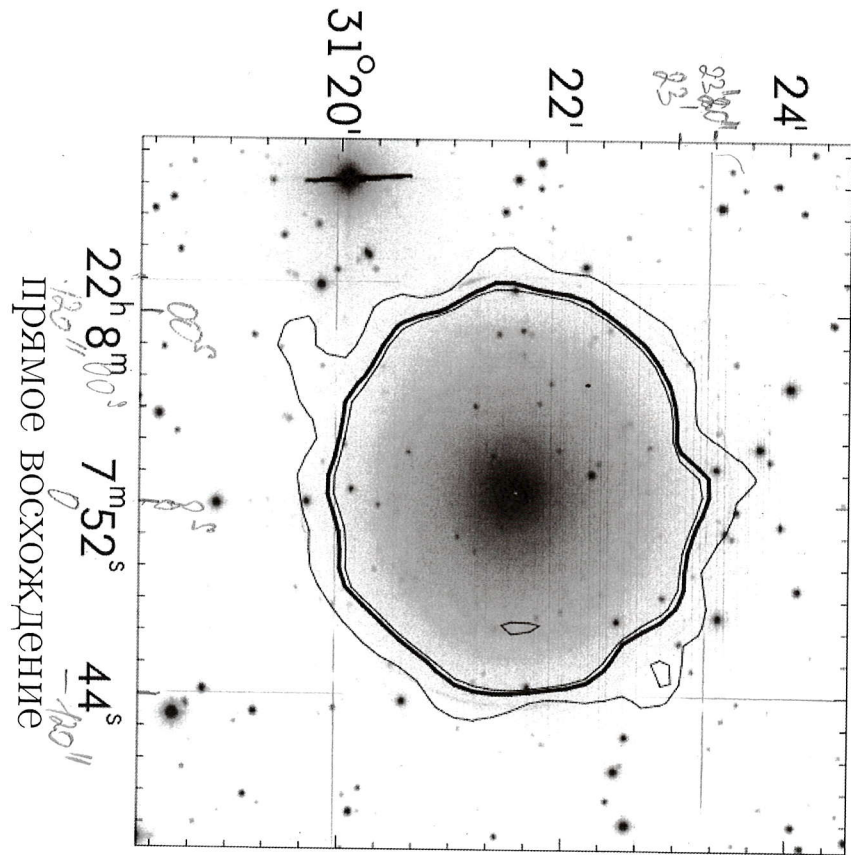
И масса всех внешних слоев равна:

$$M_{\text{вн}} = \frac{(r_{\text{гр}} - r_{\text{пл}}) \Delta M}{\Delta M} = \frac{5,6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 10^2 \text{ кг}}{4 \cdot 3 \cdot (2,8 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{11})^2 \cdot 0,01 \cdot 3 \cdot 10^{-21}} =$$

$$= \frac{5,6 \cdot 10^2 \text{ кг}}{4 \cdot 3 \cdot 2,8^2 \cdot 0,01 \cdot 3 \cdot 10^{-21}} = \frac{5,6 \cdot 10^2}{86,4} \cdot \frac{10^{25} \text{ кг}}{50} = \frac{10^{24}}{5} \text{ кг} = 2 \cdot 10^{23} \text{ кг} \ll M_{\odot}$$

Тогда ~~масса~~ масса галактики равна $10^{10} M_{\odot}$

склонение



скорость (км/с)

