

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ГИГАНТСКОЙ ГАЛАКТИКИ НИЗКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЯРКОСТИ MALIN 1

Н.Я. Сотникова (СПбГУ), В.П. Решетников (СПбГУ), А.В. Моисеев
(CAO РАН)

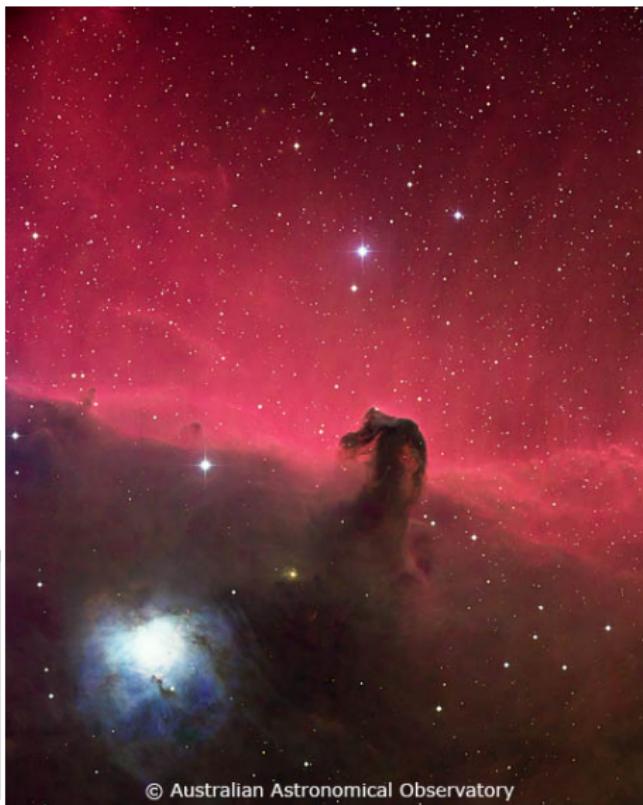
Конференция “Современная звёздная астрономия”

15 июня 2011

Malin – человек и галактика



"Malin was a pioneer in making true-color astronomical photographs from black and white plates taken in three separate colors."



© Australian Astronomical Observatory

Malin – человек и галактика

THE ASTRONOMICAL JOURNAL

VOLUME 94, NUMBER 1

JULY 1987

DISCOVERY OF A HUGE LOW-SURFACE-BRIGHTNESS GALAXY: A PROTODISK GALAXY AT LOW REDSHIFT?

GREGORY D. BOTHUN^{a),b)}

Department of Astronomy, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109

CHRISTOPHER D. IMPEY^{a)}

Steward Observatory, The University of Arizona, Tucson, Arizona 85721

DAVID F. MALIN

Anglo-Australian Observatory, Epping Laboratory, P. O. Box 296, Epping, New South Wales 2121, Australia

JEREMY R. MOULD^{b)}

Palomar Observatory, Pasadena, California 91125

Received 20 February 1987

“The galaxy of interest which we christen Malin 1...”

План

Чужие наблюдения

- Фотометрия и особенности структуры Malin 1
- Кинематика (газовая кривая вращения)

Наши наблюдения (А.В.Моисеев, САО)

- Звёздная кривая вращения и дисперсия скоростей звёзд

Анализ данных

- Открытие спутника и объяснение особенностей структуры Malin 1
- Восстановленная кривая вращения и тёмное гало Malin 1

План

Чужие наблюдения

- Фотометрия и особенности структуры Malin 1
- Кинематика (газовая кривая вращения)

Наши наблюдения (А.В.Моисеев, САО)

- Звёздная кривая вращения и дисперсия скоростей звёзд

Анализ данных

- Открытие спутника и объяснение особенностей структуры Malin 1
- Восстановленная кривая вращения и тёмное гало Malin 1

План

Чужие наблюдения

- Фотометрия и особенности структуры Malin 1
- Кинематика (газовая кривая вращения)

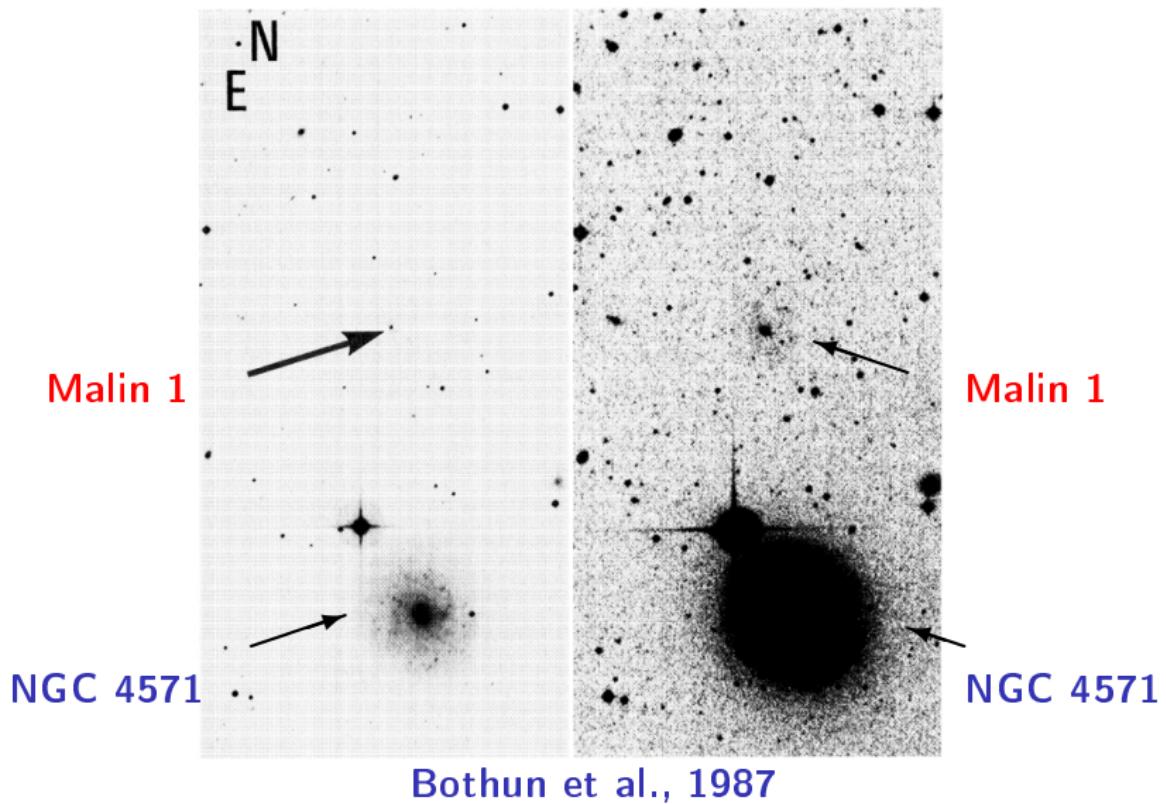
Наши наблюдения (А.В.Моисеев, САО)

- Звёздная кривая вращения и дисперсия скоростей звёзд

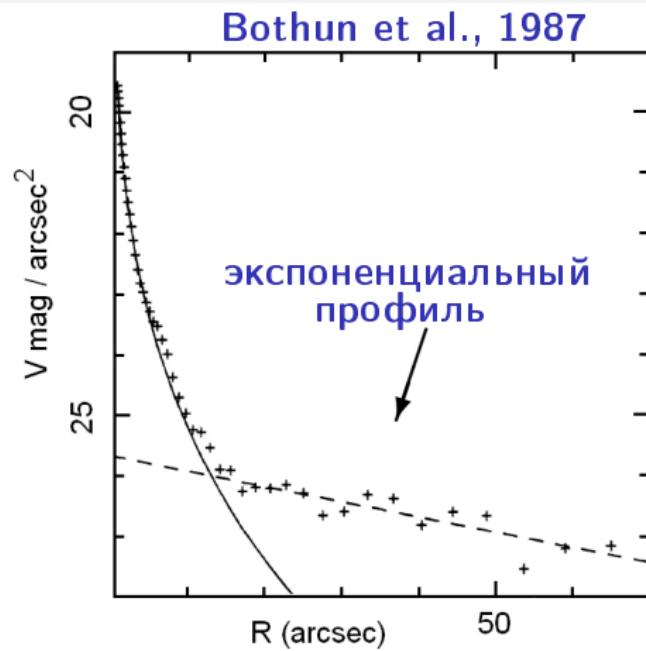
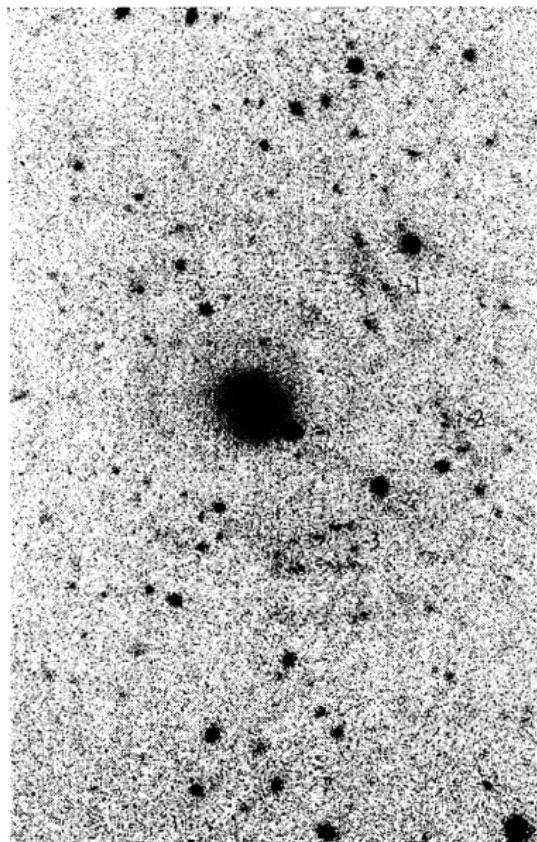
Анализ данных

- Открытие спутника и объяснение особенностей структуры Malin 1
- Восстановленная кривая вращения и тёмное гало Malin 1

Гигантский звёздный диск – полоса V



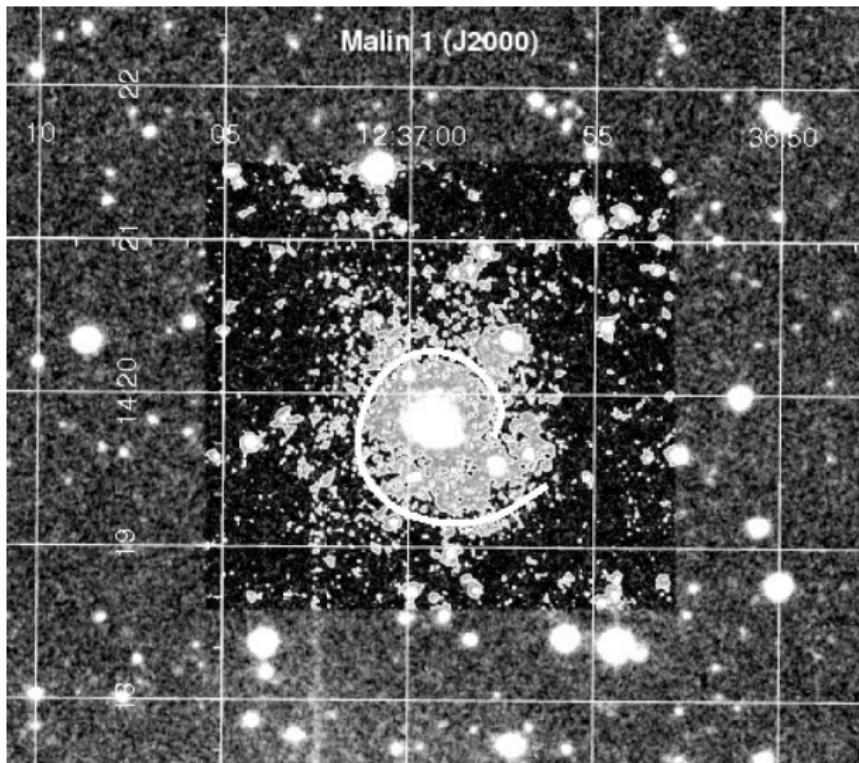
Гигантский звёздный диск – полоса V



Профиль поверхности яркости

scale : 1.51 kpc/arcsec

Внешняя однорукавная спираль – полоса R



Moore and Parker, 2006

Гигантский звёздный диск – общие характеристики

- $D_L = 366$ Мпк; scale = 1.51 кпк/arcsec

- Полоса V

Протяженность: 60 $''$ или 90 кпк

Экспоненциальный масштаб внешнего диска:

$$h_{\text{outer}} = 45'' \text{ или } 68 \text{ кпк}$$

$$\mu_{0,\text{outer}}(V) \approx 25^{\text{m}.5}/\square''$$

- Полоса R

Протяженность: 80 $''$ или 120 кпк

Экспоненциальный масштаб внешнего диска:

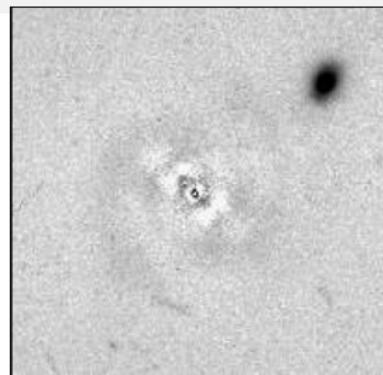
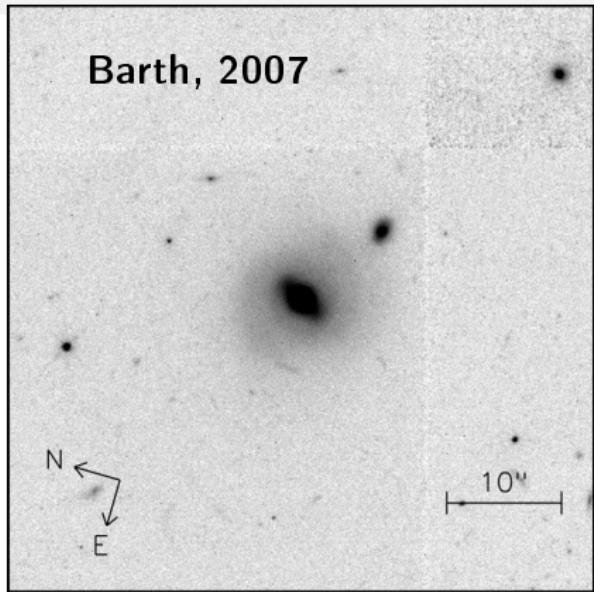
$$h_{\text{outer}} = 33'' \text{ или } 50 \text{ кпк}$$

$$\mu_{0,\text{outer}}(R) \approx 24^{\text{m}.7}/\square''$$

- $M_V \approx -22^{\text{m}.9}$ – Очень яркая!!!

Нормальный звёздный диск – полоса I. Бар и внутренняя двухруковавная структура

Barth, 2007

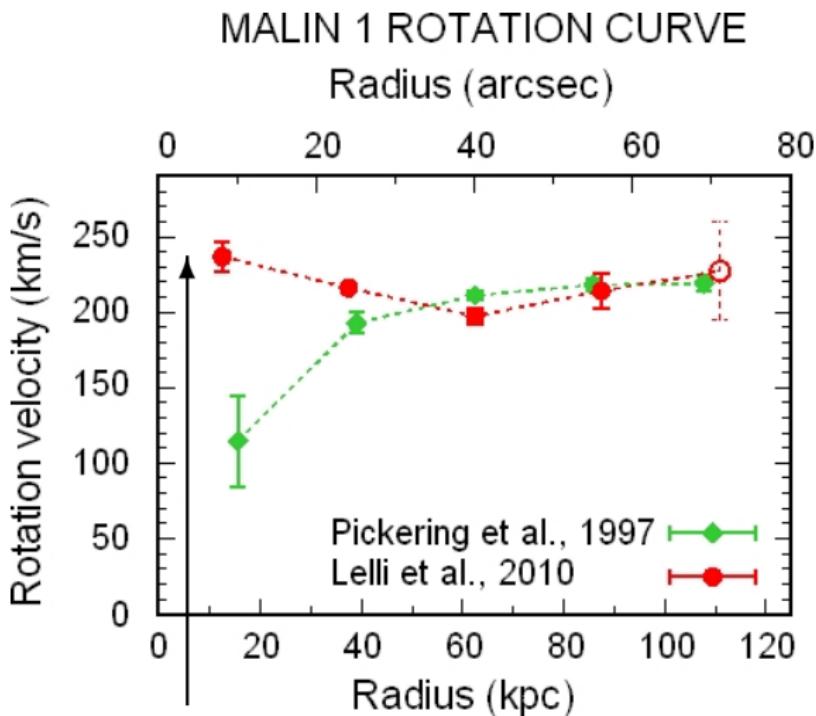


Балдж: $r_{\mathrm{e,b}}$	0.6 кпк
Балдж: n	1.24
Балдж: $m_b(I)$	17 ^m .0

$$\begin{aligned}I_{\mathrm{bulge}}(r) &= I_{0,\mathrm{b}} e^{-\nu_{\mathrm{n}}[(r/r_{\mathrm{e,b}})^{1/n}]} \\I_{\mathrm{disc}}^{\mathrm{inner}}(r) &= I_{0,\mathrm{d}}^{\mathrm{inner}} e^{-r/h_{\mathrm{inner}}}\end{aligned}$$

Диск: $\mu_0^{\mathrm{inner}}(I)$	20 ^m .1 / □''
Диск: h_{inner}	4.8 кпк

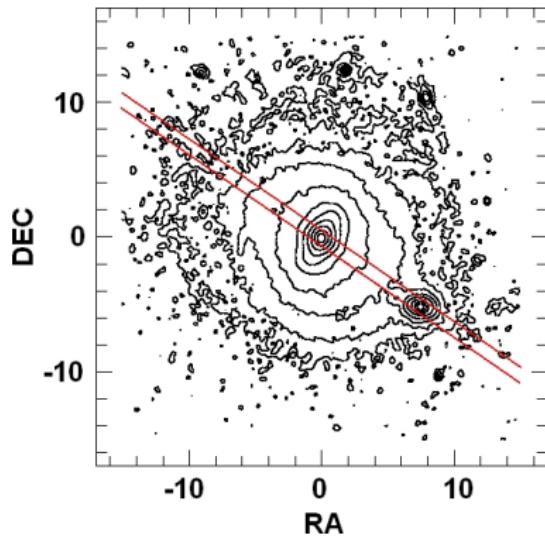
Кривая вращения по HI



$$\mathcal{M}(\text{HI}) \approx 6.7 \cdot 10^{10} \mathcal{M}_\odot$$

Внутренние диски, бары, балджи

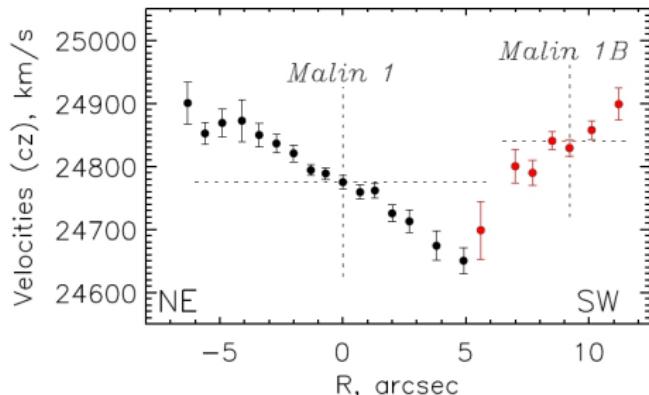
Длинная щель



Щель 1 – РА = 200°

Щель 2 – РА = 235°

Щель 3 – РА = 333°

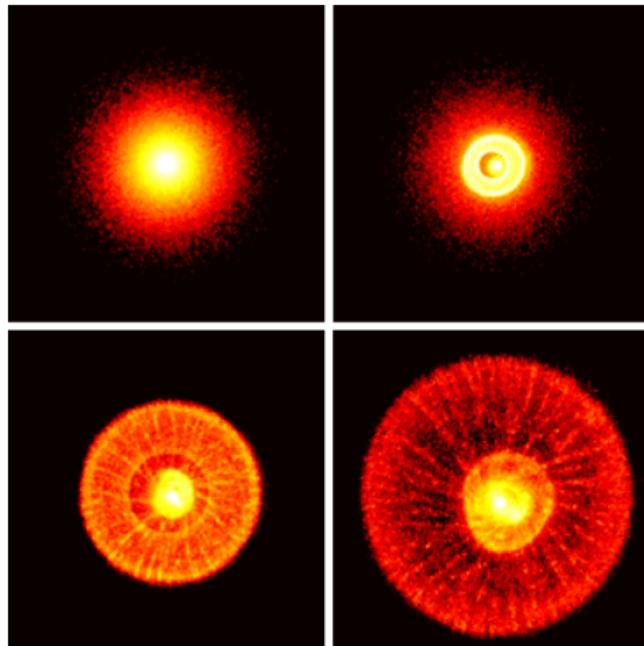


$$\Delta v \sim 65 \pm 16 \text{ км/с}$$

$$\Delta R_{\text{proj}} \sim 14 \text{ кпк}$$

$$L_{\text{satellite}}(I) \approx 0.1 L_{\text{galaxy}}(I)$$

Взаимодействие со спутником. Столкновительная модель



$t = 0$

$t = 10^8$ лет

$t = 5 \cdot 10^8$ лет

$t = 10^9$ лет

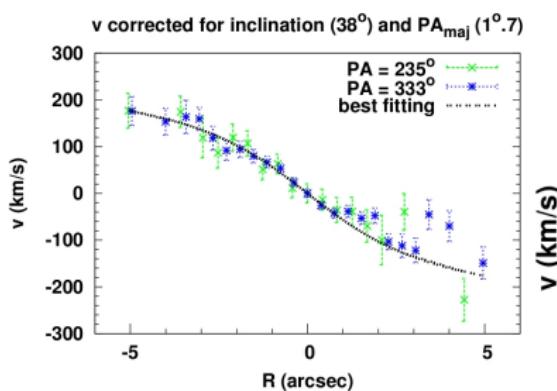
Спутник должен быть
достаточно массивным!!!

Mapelli et al., 2008

Кривая вращения по двум разрезам

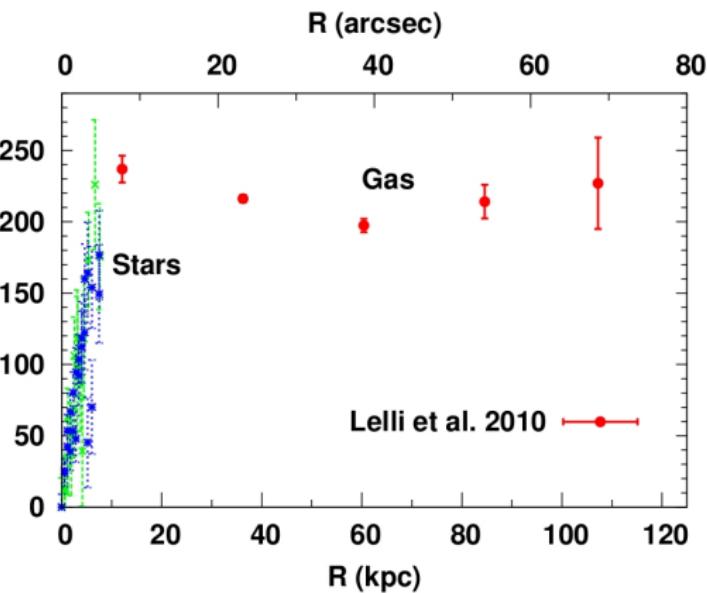
PA = 200° – не использовали

PA = 235° PA = 333°



$$i = 38^\circ$$

$$PA_{maj} = 1.7^\circ$$



Асимметричный сдвиг

Звёздная и газовая кривые вращения

Уравнение Джинса – условие равновесия диска в плоскости

$$v_c^2 = \bar{v}_\varphi^2 + \sigma_\varphi^2 - \sigma_R^2 - R \frac{\partial \bar{v}_R v_z}{\partial z} - \frac{R}{\Sigma_d} \frac{\partial \Sigma_d \sigma_R^2}{\partial R}$$

$$\Sigma_d(R) = \left(\frac{M}{L} \right) I_d(R)$$

$R \frac{\partial \bar{v}_R v_z}{\partial z}$ – отвечает за поворот осей эллипсоида скоростей; существенно в центральных областях

Дисперсия скоростей вдоль луча зрения

Разрезы по позиционному углу РА

$$\sigma_{\text{los}}^2(R) = \left[\sigma_R^2 \sin^2 \varphi + \sigma_\varphi^2 \cos^2 \varphi \right] \sin^2 i + \sigma_z^2 \cos^2 i$$

$$\varphi = PA - PA_{\text{maj}}$$

Дисперсии в азимутальном и радиальном направлениях

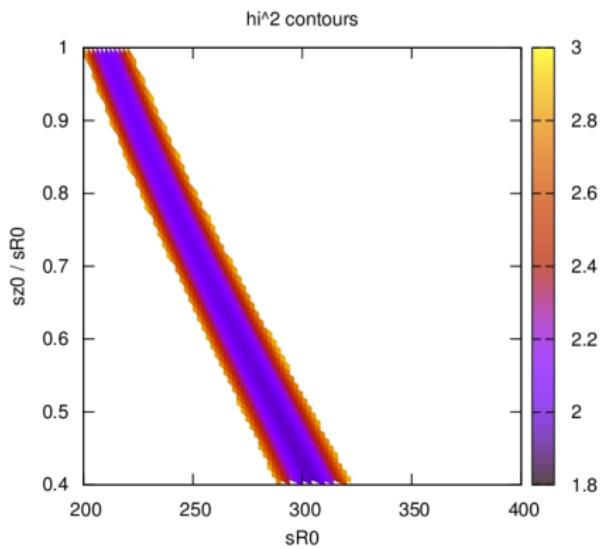
$$\frac{\sigma_\varphi^2}{\sigma_R^2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\partial \ln \bar{v}_\varphi}{\partial \ln R} \right)$$

На твердотельном участке кривой вращения

$$\sigma_\varphi \approx \sigma_R$$

Исчезает зависимость от позиционного угла!!!

Профили дисперсии скоростей. Вырождение

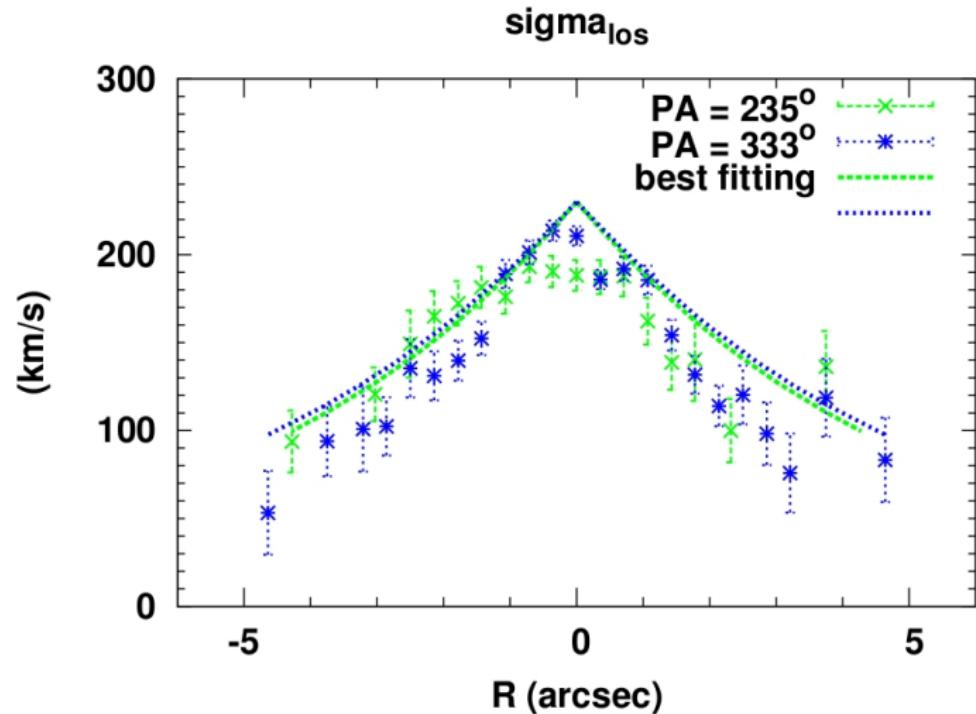


$$\sigma_{\text{los}}^2(R) \approx \sigma_R^2 \sin^2 i + \sigma_z^2 \cos^2 i$$

$$\sigma_z(R) \propto \sigma_R(R) = \sigma_{R,0} e^{-R/h_{\text{kin}}}$$

$$h_{\text{kin}} \simeq 2 h$$

Профили дисперсии скоростей



Дисперсия скоростей звёзд. Что это даёт

Дисперсия скоростей в вертикальном направлении

Однородный самогравитирующий слой

$$\sigma_z^2(R) = \pi G \Sigma_d(R) z_0$$

$$\sigma_z(R) = \sigma_{z,0} e^{-R/2h}$$

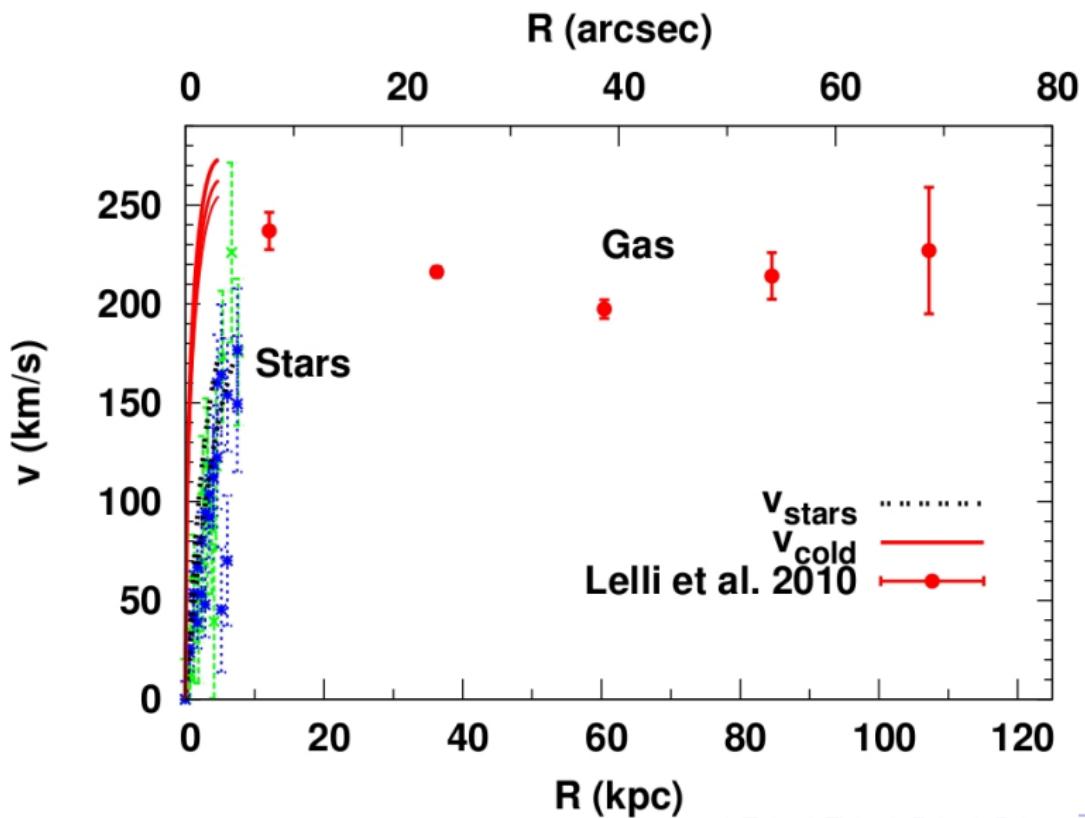
Дисперсия скоростей в радиальном направлении

“Запас прочности” звёздного диска

$$Q_T = \frac{\sigma_R(R)}{\sigma_R^{cr}(R)} = \frac{\sigma_R \kappa}{3.36 \Sigma_d}$$

Асимметричный сдвиг — “холодная” кривая вращения

Восстановленная “холодная” кривая вращения



Декомпозиция кривой вращения

(M/L_{band}) – Bell et al., 2003

Балдж – серсиковский

$$1.5 < (M/L_I) < 3.8$$

Внутренний диск – экспоненциальный

$$h_z/h_{\text{inner}} = 0.2$$

$$1.2 < (M/L_I) < 2.1$$

Внешний диск – экспоненциальный

$$1.3 < (M/L_R) < 2.7$$

+ HI

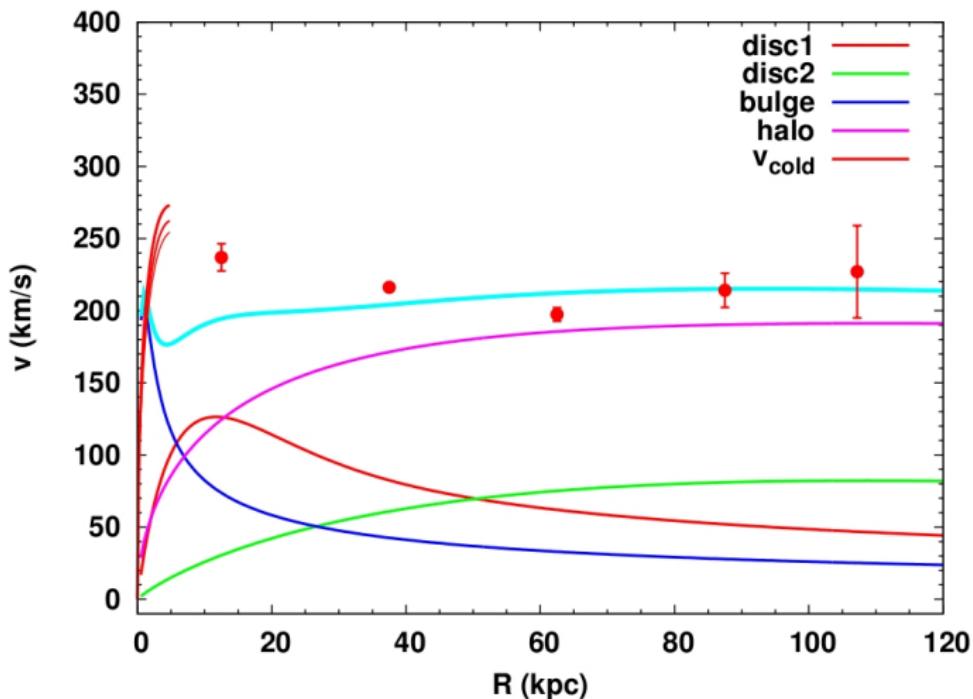
Тёмное гало – NFW

Двухпараметрическая модель:

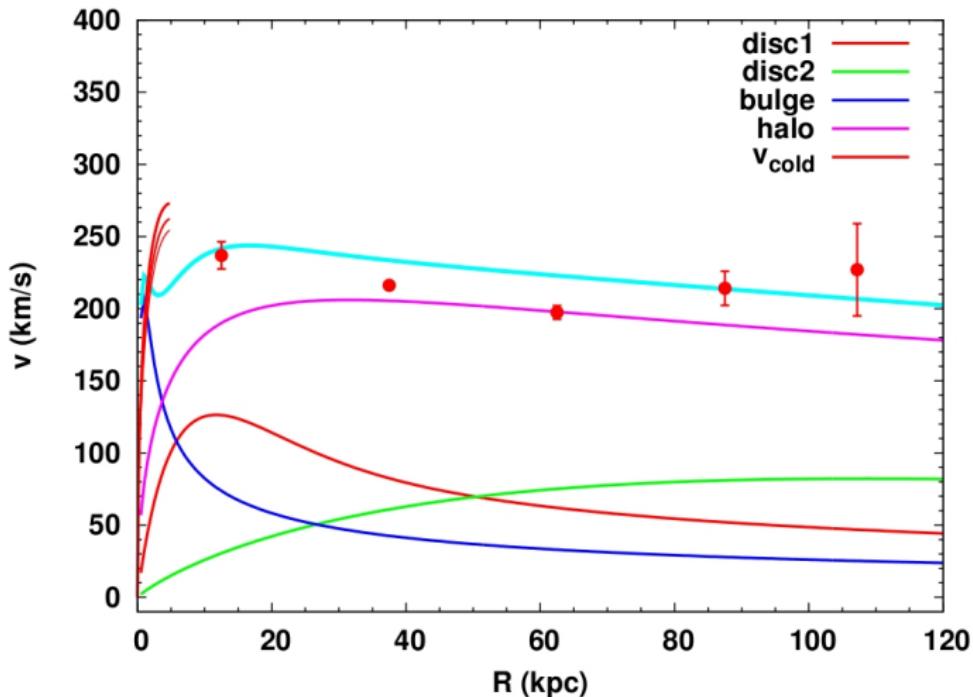
$$c = r_s/r_{200} \text{ – параметр концентрации}$$

v_{200} – скорость на виртуальном радиусе.

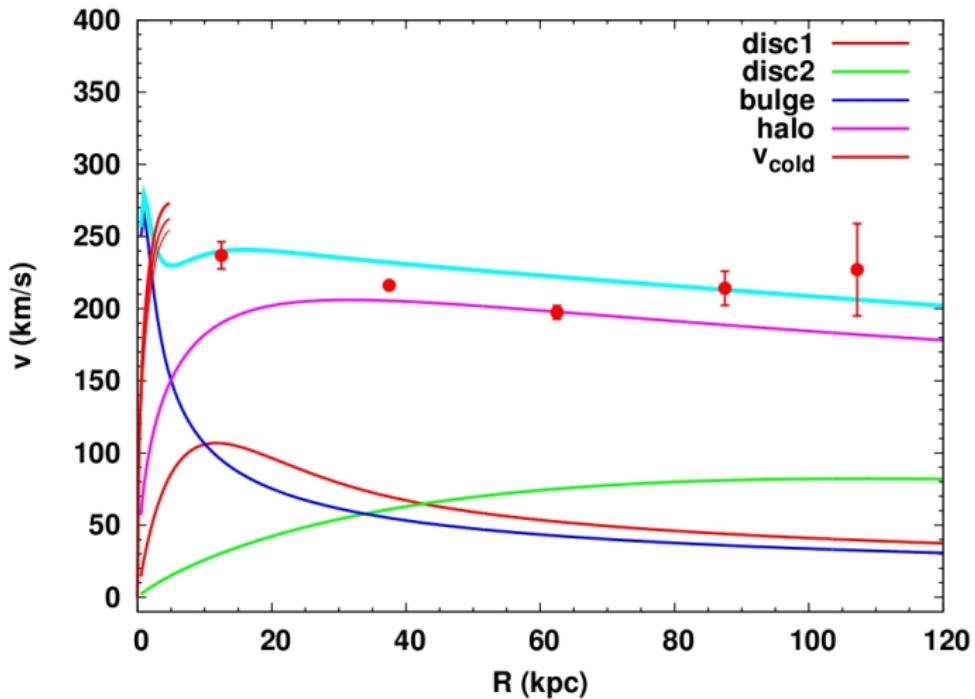
“Максимальный” диск, “минимальный” балдж, “рыхлое” гало



“Максимальный” диск, “минимальный” балдж, концентрированное гало



“Субмаксимальный” диск, “субмаксимальный” балдж, концентрированное гало



Предварительные выводы

- Очень трудно описать кривую вращения вблизи центра
Либо балдж – “минимальный” (только он “тонет” под кривой вращения)
Либо необходимо учитывать разворот осей эллипсоида скоростей в этой области (см. выражение для асимметричного сдвига)
- Даже “максимальный” внутренний диск не вытягивает кривую вращения на наблюдаемые точки
- “Рыхлое” гало хорошо описывает дальние области кривой вращения, но плохо – ход кривой в пределах внутреннего диска
- По-видимому тёмное вещество должно доминировать в пределах внутреннего диска

Вместо заключения

“Астрофизика напоминает
следствие по делу, в котором
все улики лишь косвенные”

Станислав Лем

(Позаимствовано из книги В.П. Решетникова “Тайна ночного неба”)