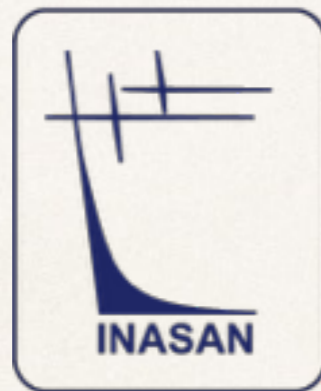


Формирование баров в галактиках с КАСПОМ

Е.В. Поляченко, П.П. Берцик, А. Юст



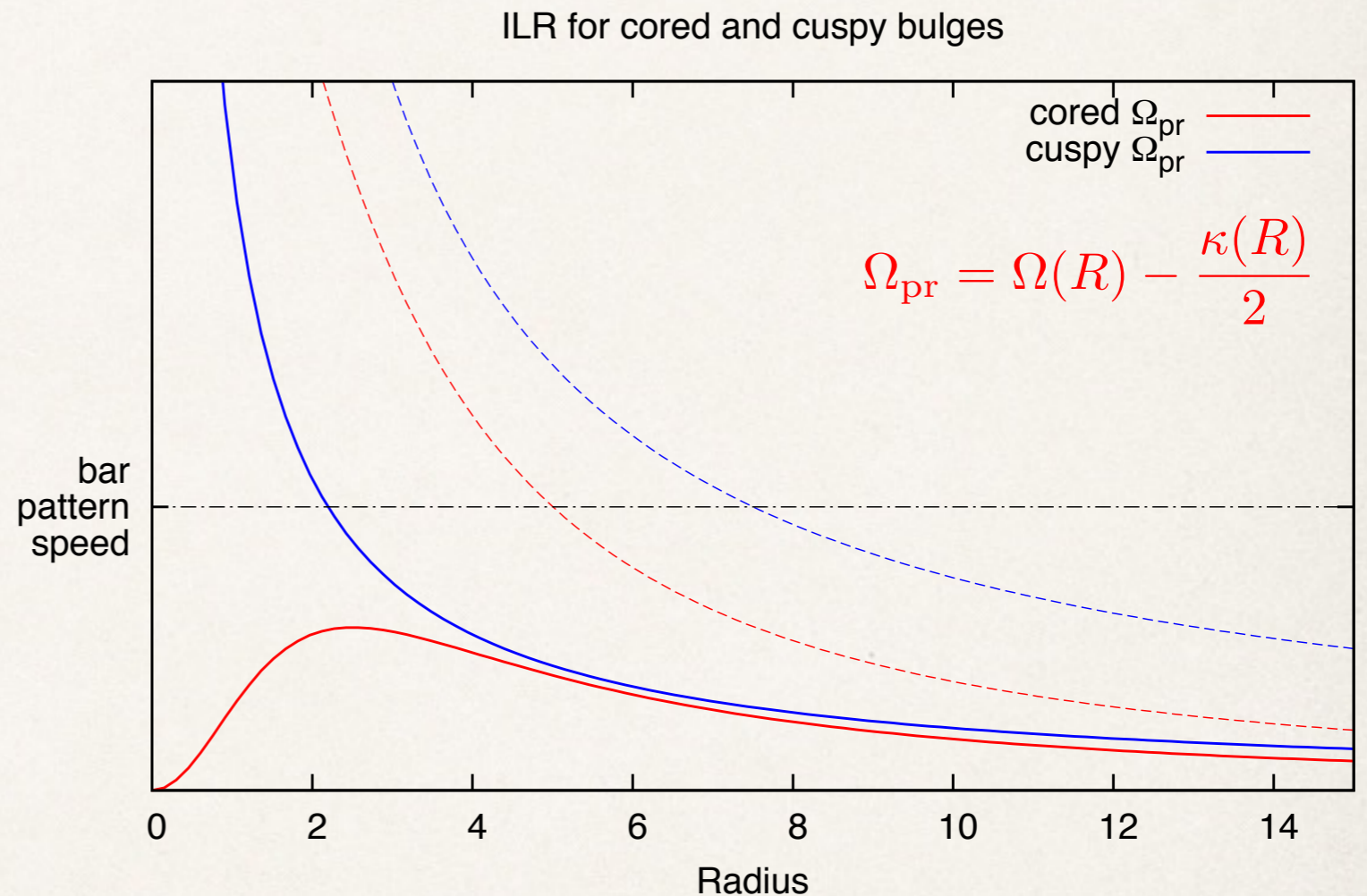
Модель без балджа

- быстрое формирование бара
- рост плотности в центре (псевдо-балдж)
- разрушение бара, повторное формирование
- Почему $0.9 < R_c/R_b < 1.3$?
- Почему наблюдается меньше баров на $z > 0.5$?

Проблема и постановка задачи

- ILR запрещает формирование бара

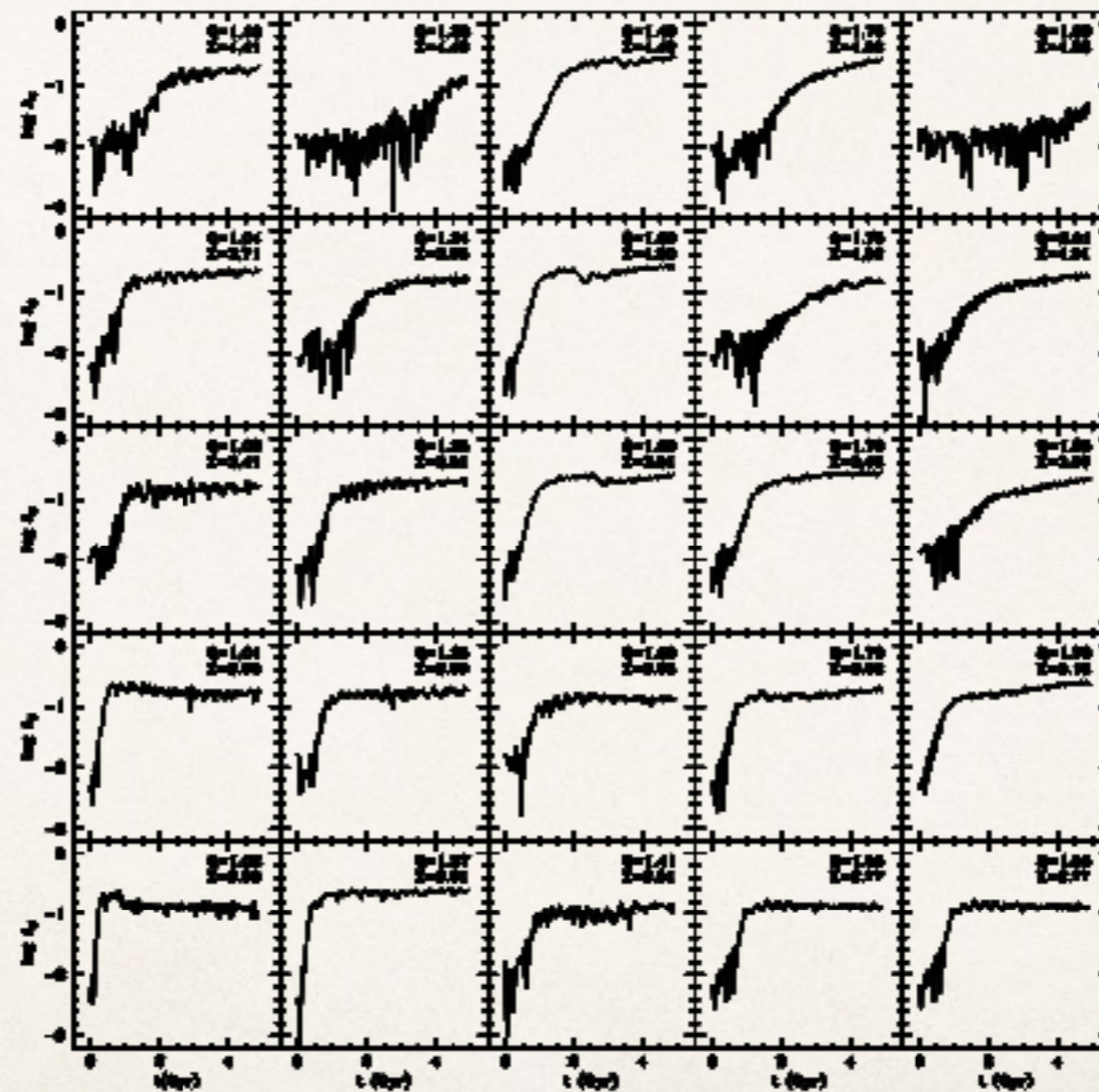
$$m(\Omega_p - \Omega(R)) = \pm \kappa$$



“Most real bars are not made by the bar instability”

Численные бары в моделях с каспом

$$N_d = 0.8M, N_b = 0.8M, N_h = 1.0M$$



Модель

1. Экспоненциальный диск $M_d, R_d, z_d; \sigma_0, R_\sigma$

2. Балдж Серсика R_e, n, Σ_0

$$\Sigma(R) = \Sigma_0 e^{-b(R/R_e)^{1/n}} \quad \rho(r) = \rho_b \left(\frac{r}{R_e} \right)^{-p} e^{-b(r/R_e)^{1/n}}$$

3. Гало (темное, звездное и толстый звездный диск) $\rho_h, a_h, \alpha, \beta$

$$\rho(r) = \frac{\rho_h}{(r/a_h)^\alpha (1 + r/a_h)^{\beta-\alpha}}$$

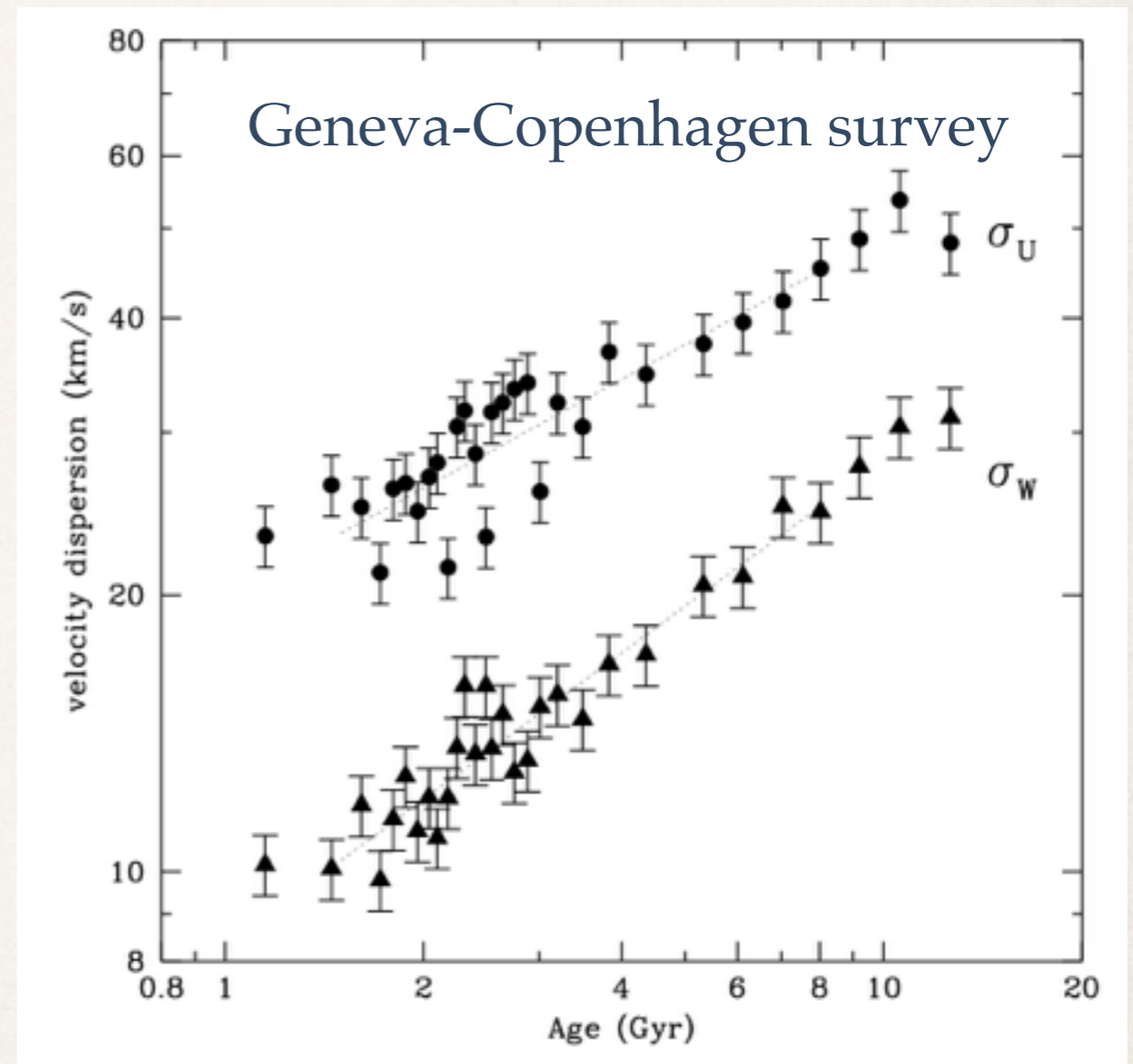
Модель — параметры диска

- пов. плотность (KG, JJ)
 - $48 M_{\odot} / \text{pc}^2$
- радиальная дисперсия (WPD)
 - 25 km/s
- характерные размеры (WPD, JJ)
 - $2.9 \text{ kpc}, 300 \text{ pc}$
- масса (WPD):
 - $4.2 \cdot 10^{10} M_{\odot}$

Just A., Jahreiss H., 2010 (JJ)

Kuijken, K., & Gilmore, G. 1991 (KG)

Widrow et al., 2008 (WPD)

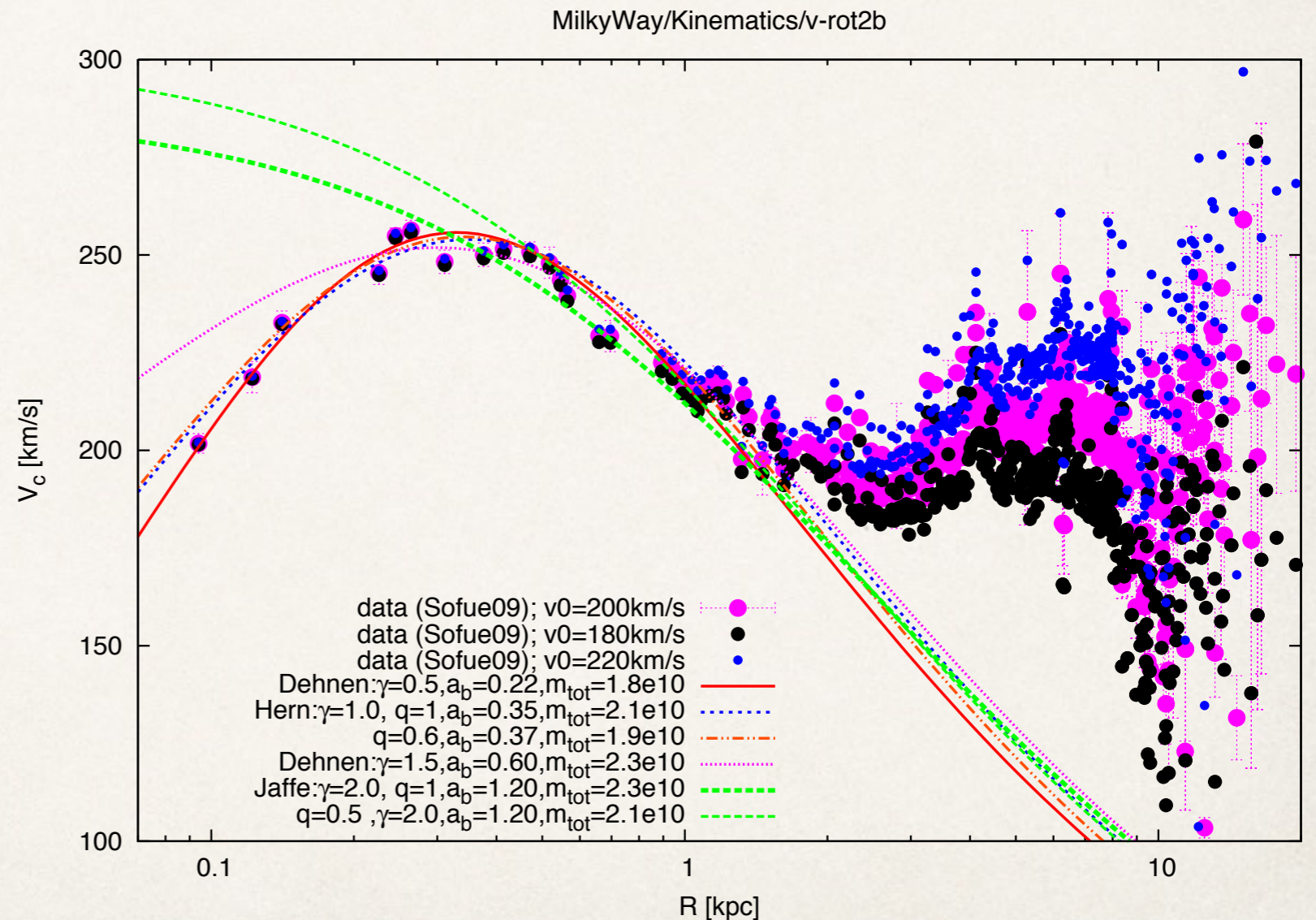


Holmberg et al. (2009) A&A 501, 941

Модель — параметры балджа

- показатели (WPD)
 - $n=1.118 \rightarrow p=0.5$
- рад. шкала (WPD)
 - 0.64 kpc
- масса (WPD)
 - $1.02 \cdot 10^{10} M_{\odot}$

Golubov, Just (2013) IAUS 295, 231



Widrow et al., 2008 (WPD)

Модель — параметры гало

- Via Lactea II:

- $M_h = 1.9 \cdot 10^{12} M_\odot$

- $r_{200} = 402 \text{ kpc}$

- $c = r_{200}/a_h = 13.29$

- $\max V_c = 186 \text{ km/s}$

- Перенормир. модель:

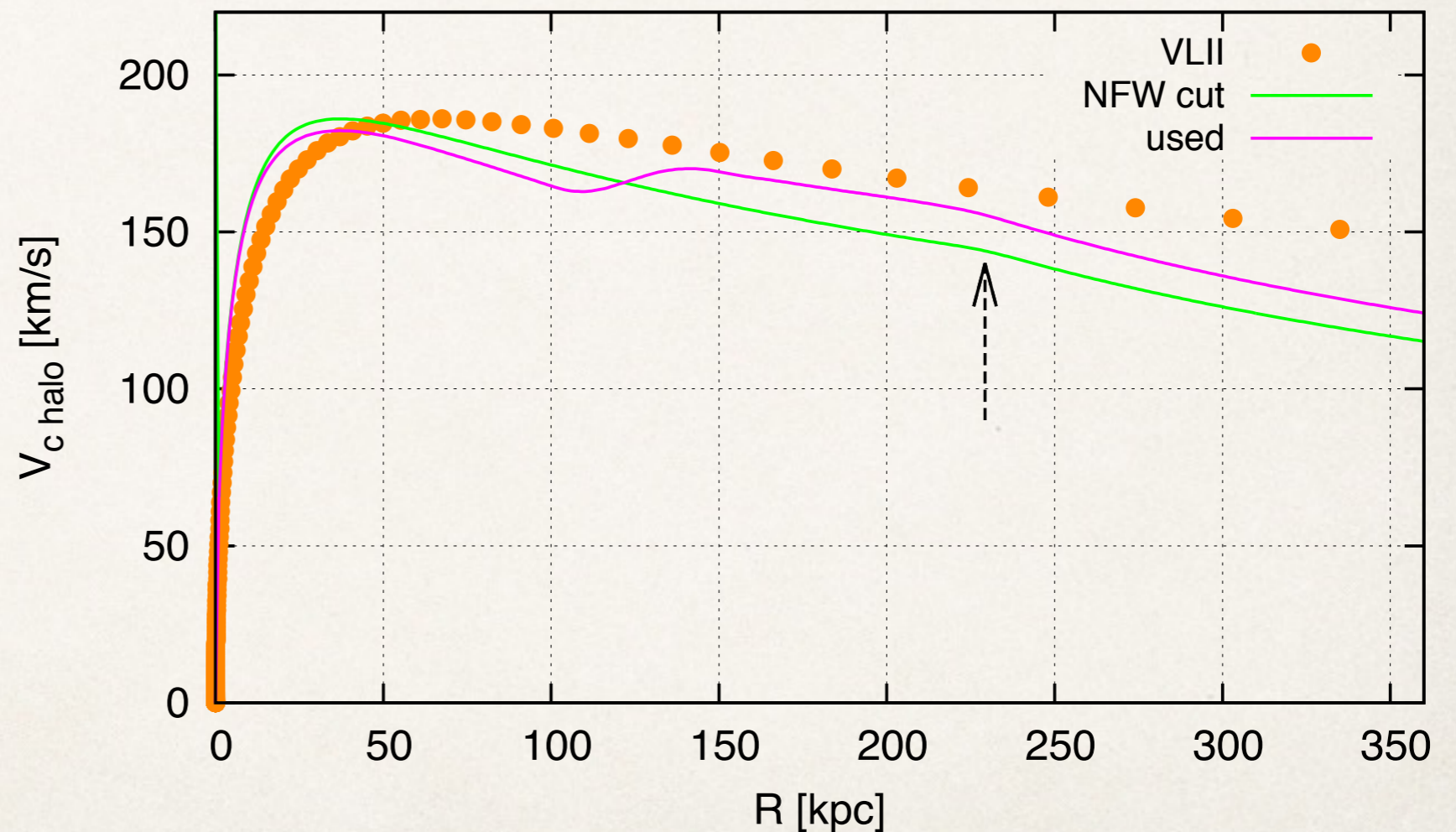
- $M_h = 1.29 \cdot 10^{12} M_\odot$

- $r_{200} = 229.3 \text{ kpc}$

- $c = 13.29$

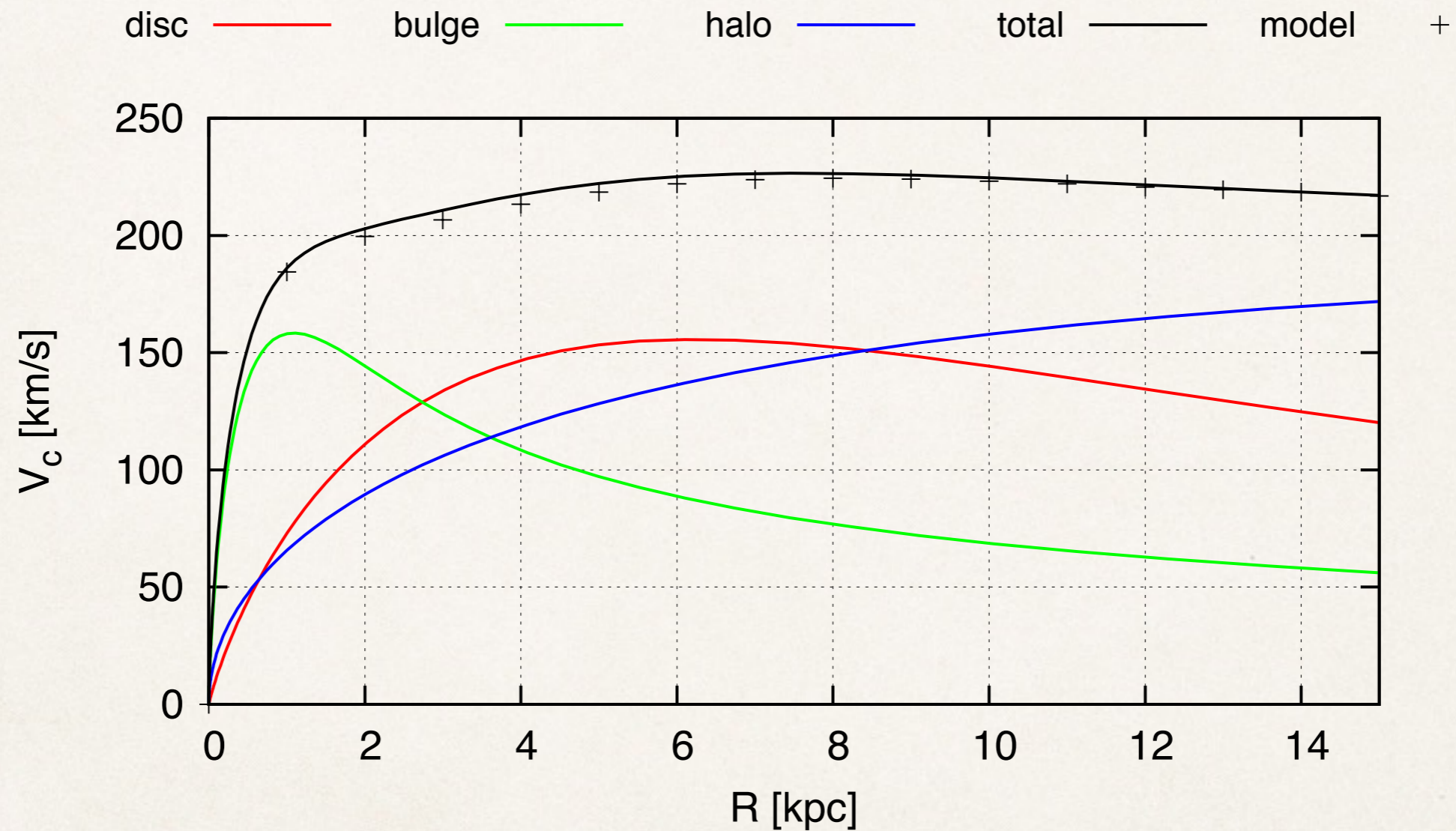
- $\max V_c = 186 \text{ km/s}$

Diemand J. et al., 2008, Nature, 454, 735



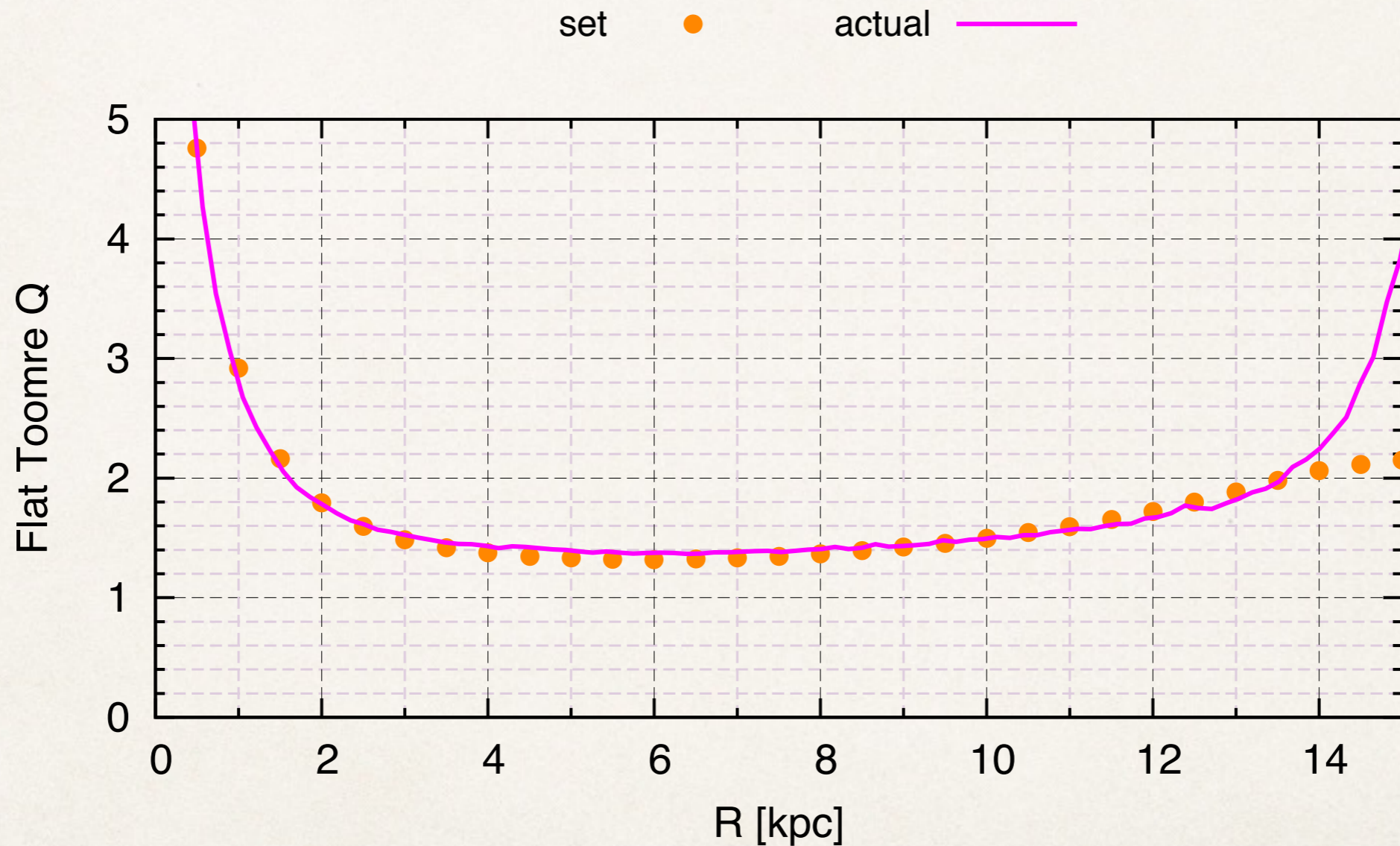
Moetazedian, Just 2015, arXiv:1508.03580

Модель — круговая скорость



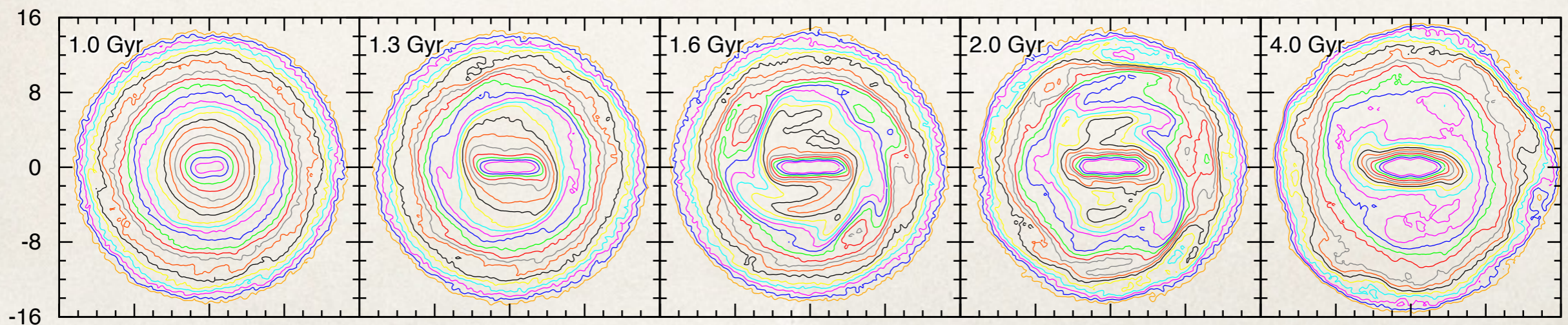
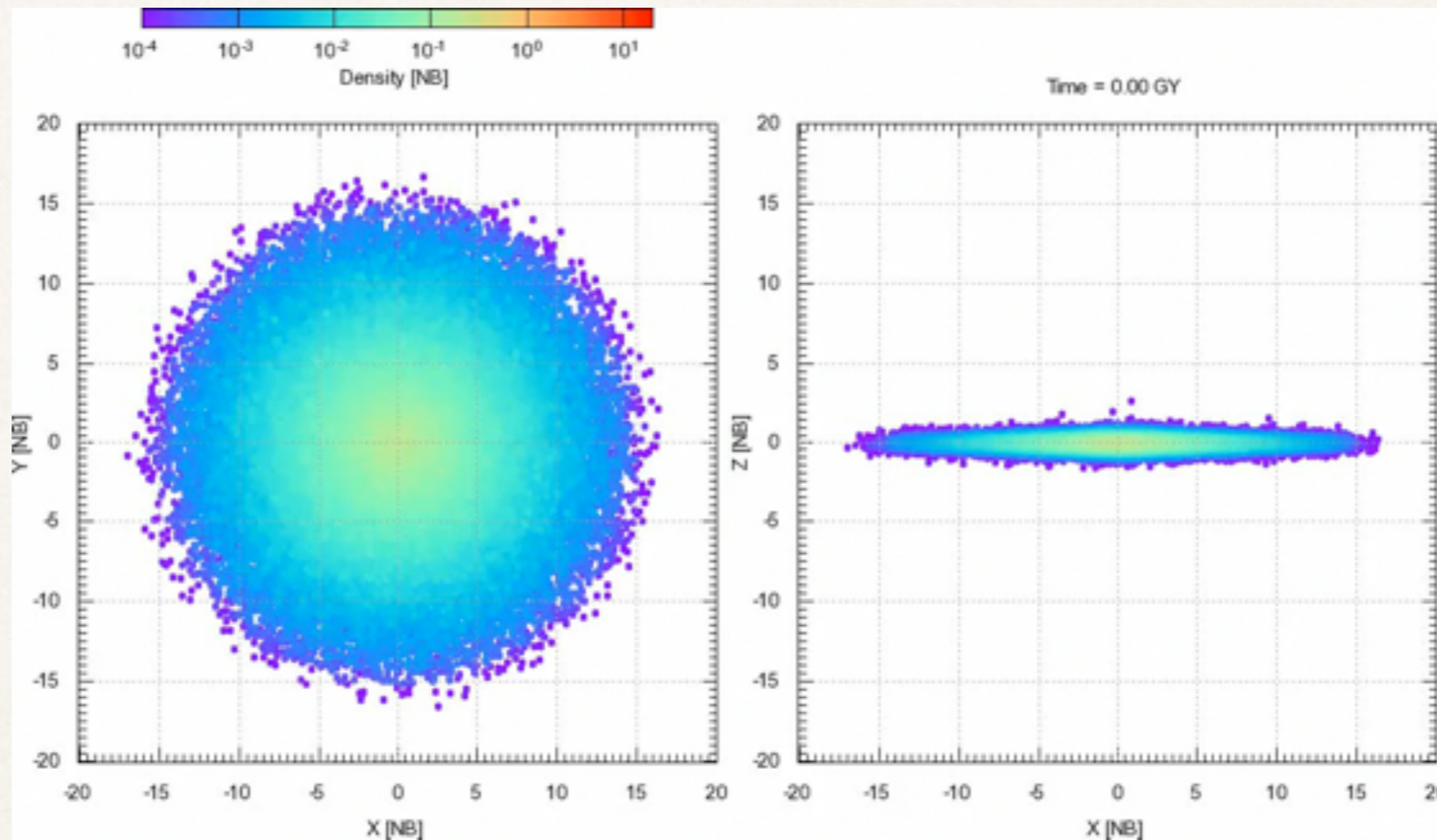
$\max V_c = 226.5$ at $R = 7.6$ kpc // 224.3 at 8.1 kpc

Модель — устойчивость



$\min Q = 1.4$ at $R = 6$ kpc

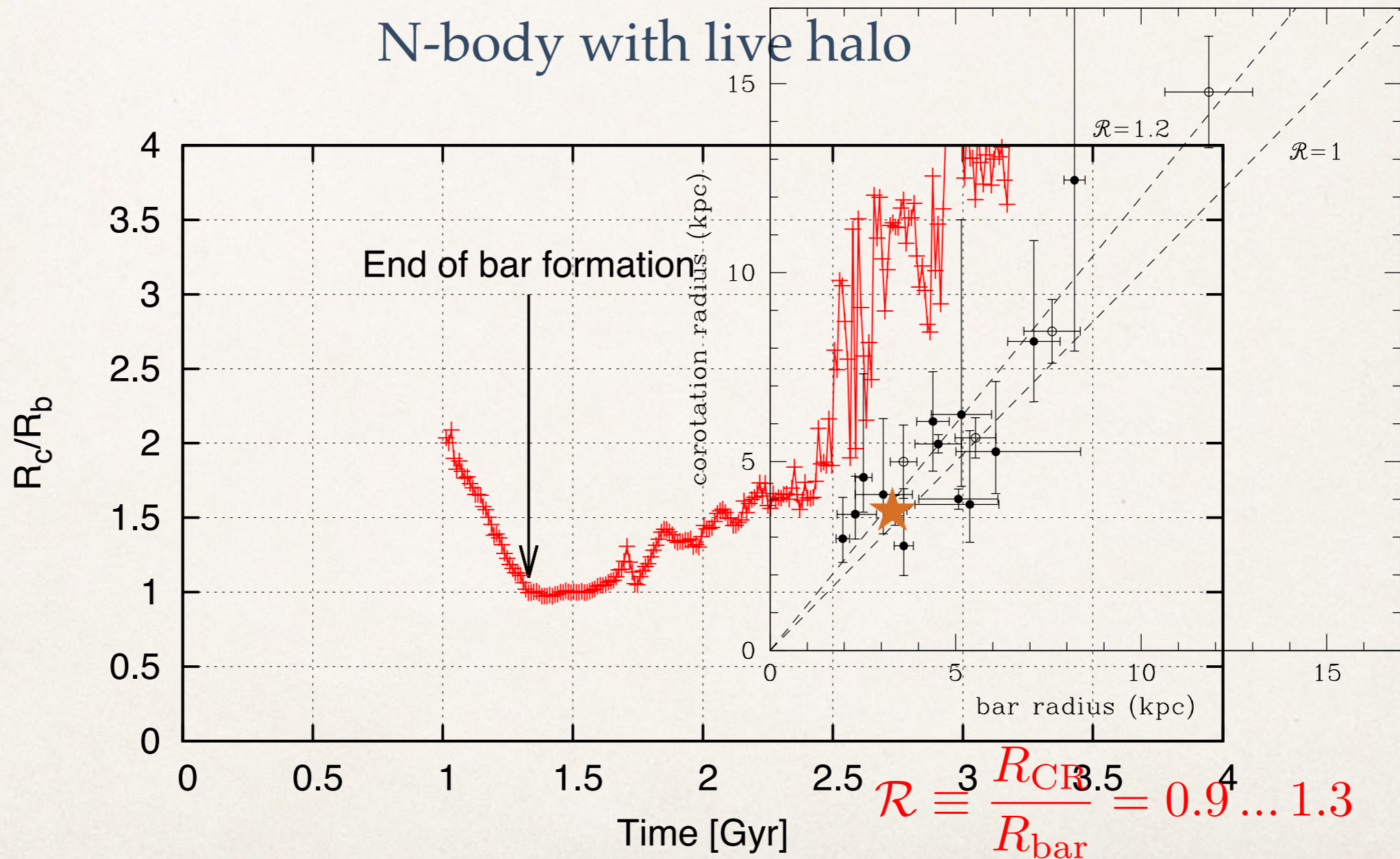
N-body



N-body — живое гало и балдж

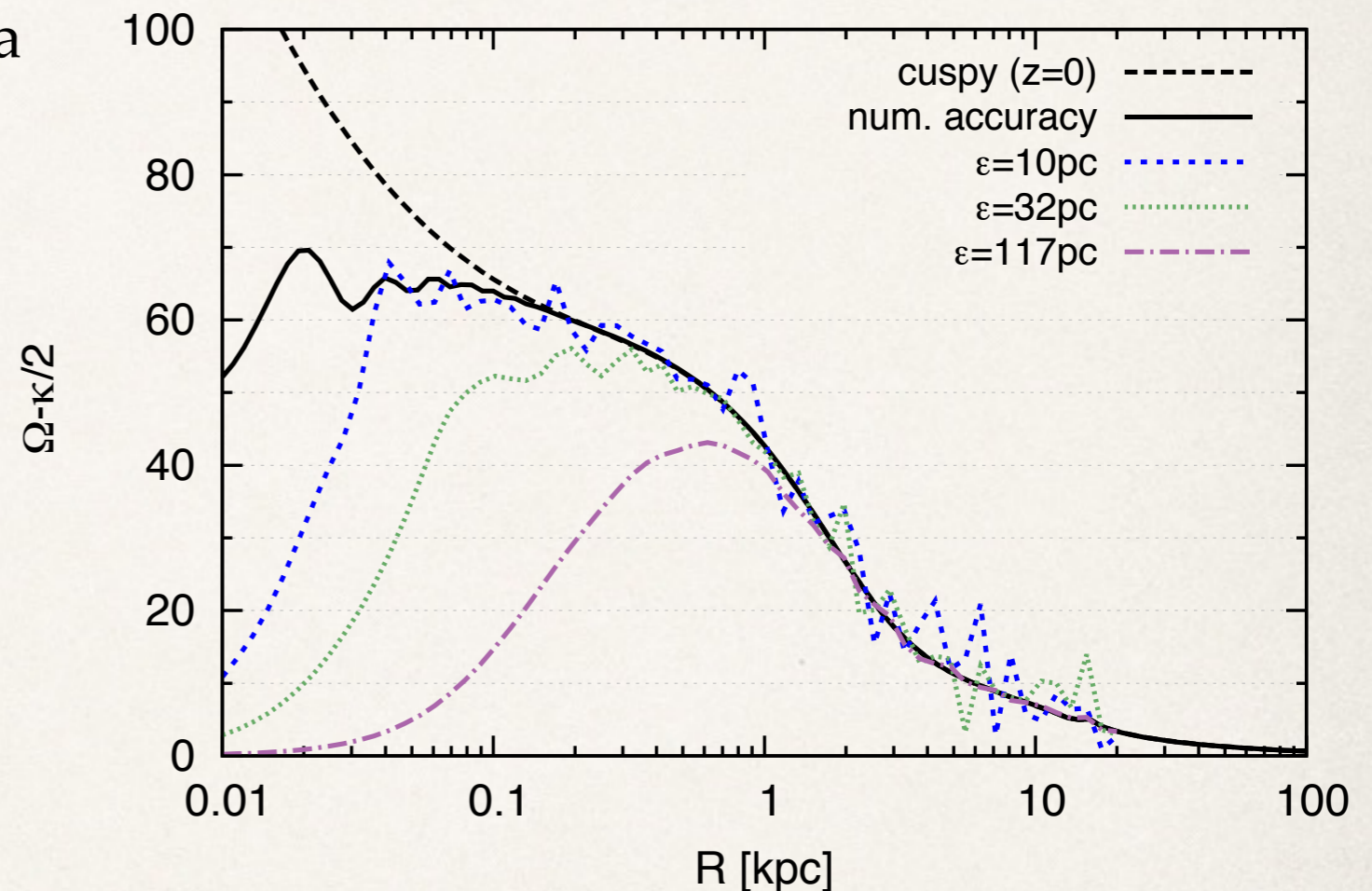
	N_{tot}	$N_d N_b N_h$	ε	Ω_p	ω_I
	[M]	[M]	[pc]	[km/s/kpc]	[Gyr ⁻¹]
S1	5.6	1.1 0.5 4	4...117	51	3.8
S3m	16.75	6 1.5 9.25	4...117	52	3.6
B1	5.6	1.1 0.5 4	10	55	4.2
B2m	16.75	6 1.5 9.25	10	54	4.3
B3	104.5	6 1.5 97	10	55	4.4

N-body — радиус бара



N-body — моделирование каспа

- Точность вычисления потенциала
- Равновесие
- Достаточность частиц балджа
 - $R > 0.1$ крс need 0.2M
 - $R > 0.05$ крс need 1.5M
- Смягчение гравитации



Наши модели имеют достаточное разрешение до 0.05 ... 0.1 крс —> ILR ?!

$$\max \Omega_{pr} = 63...75 \text{ km/s/kpc} , \quad \Omega_p = 56 \text{ km/s/kpc}$$

Глобальные моды

- Матричный метод Калнайса (1971, 1977)

- биортонормальная система $\varrho, \psi (R)$

- нелинейная по отн. ω $\|\delta_{ij} - M_{ij}(\omega)\| = 0$

- Линейные матр. методы

$$Ax = \omega x$$

- Polyachenko (2004, 2005): collocation scheme

- A. Jalali

- ◆ ECB (2007): биорт. система $\varrho, \psi (R)$; нелинейность; без каспа

- ◆ FEM (2010): интерпол. функции $F_l, \Psi_l (E, L)$; повышенная жесткость

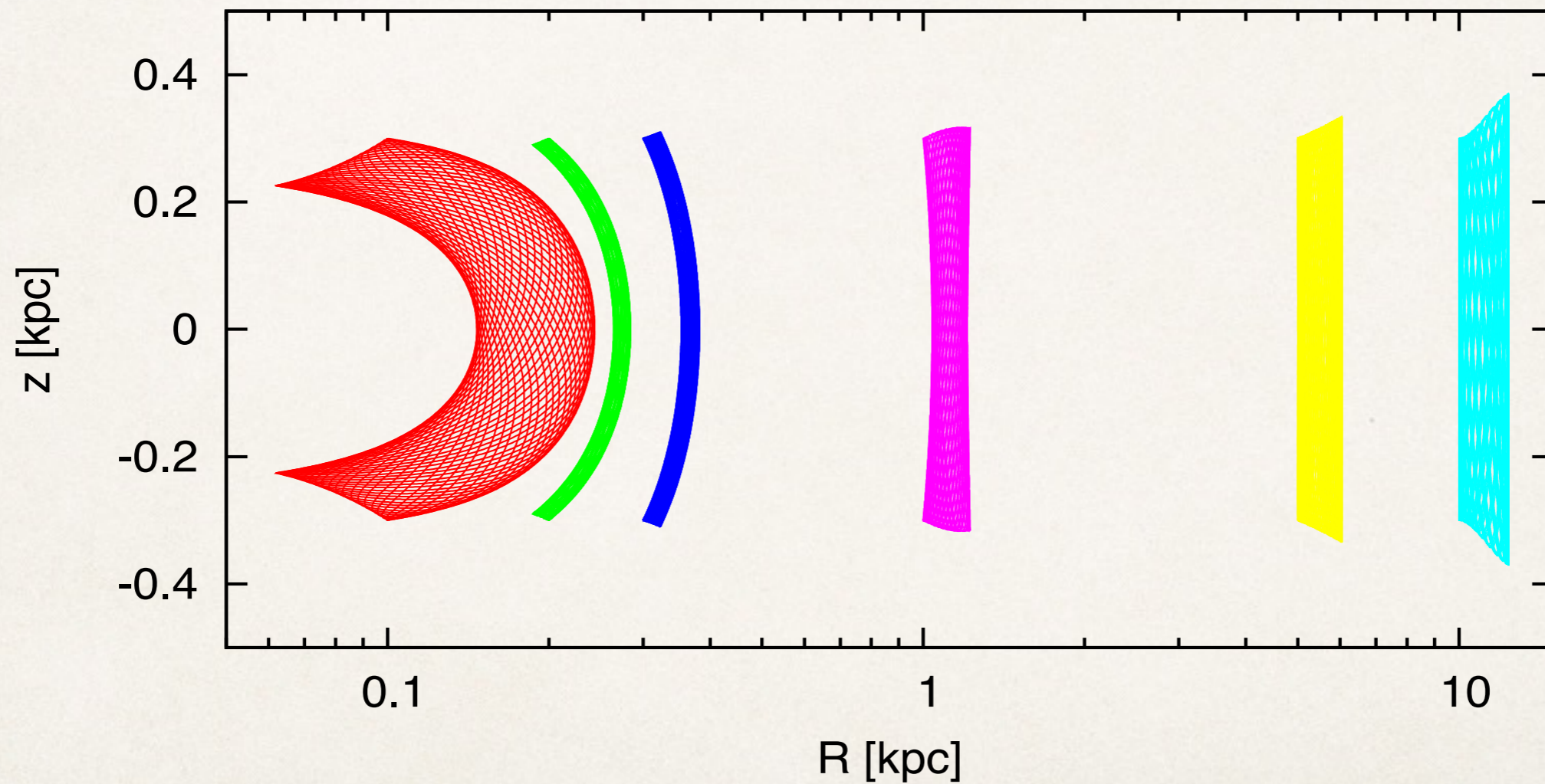
N-body — фикс. гало и балдж

	N_{tot}	$N_d N_b N_h$	ϵ	Ω_p	ω_I
	[M]	[M]	[pc]	[km/s/kpc]	[Gyr ⁻¹]
S2r (FP)	5.6	1.1 0.5 4	4...117	48	1.1
S4r (AX)	5.6	1.1 - -	12	51	1.2
S5r (SP)	5.6	1.1 - -	12	50	1.8
T1r (FP)	16.75	6 1.5 9.25	10	52	1.8
T2r (SP)	6.0	6 - -	10	54	1.2
T3r (AX)	6.0	6 - -	10	52	1.9

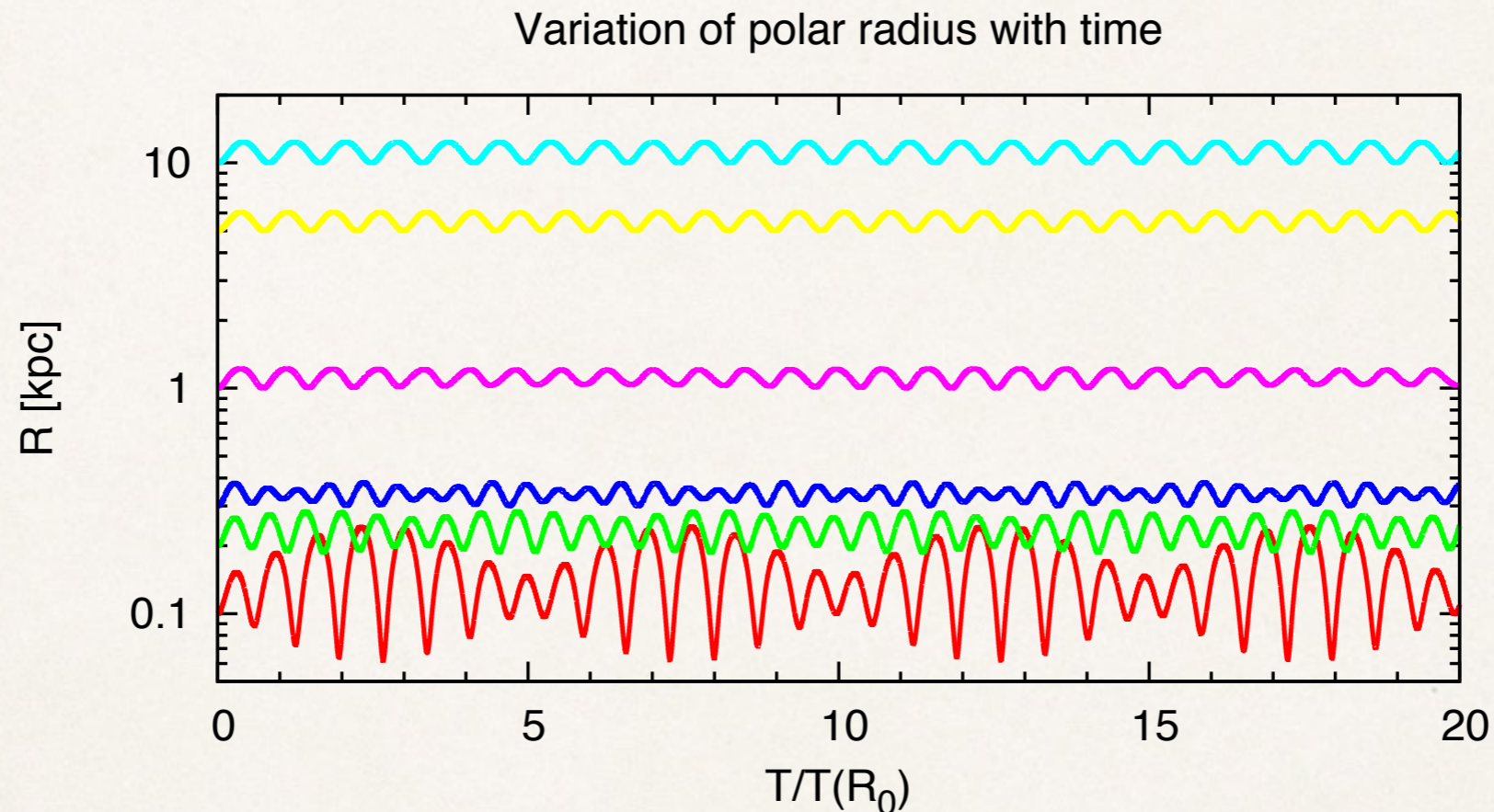
Sellwood, Debattista (2009) 'Stochasticity in N-body Simulations ...'

Глобальные моды — орбиты (Rz)

Typical orbits in the initial potential



Глобальные моды — орбиты $R(t)$



• Для $R \lesssim z_d$ Полярный радиус $R(t)$ не периодичен

$$J_R = \frac{1}{2\pi} \oint v dr$$

• радиальное действие и радиальная частота не определены

• ILR не определен

Глобальные моды — усреднение по z

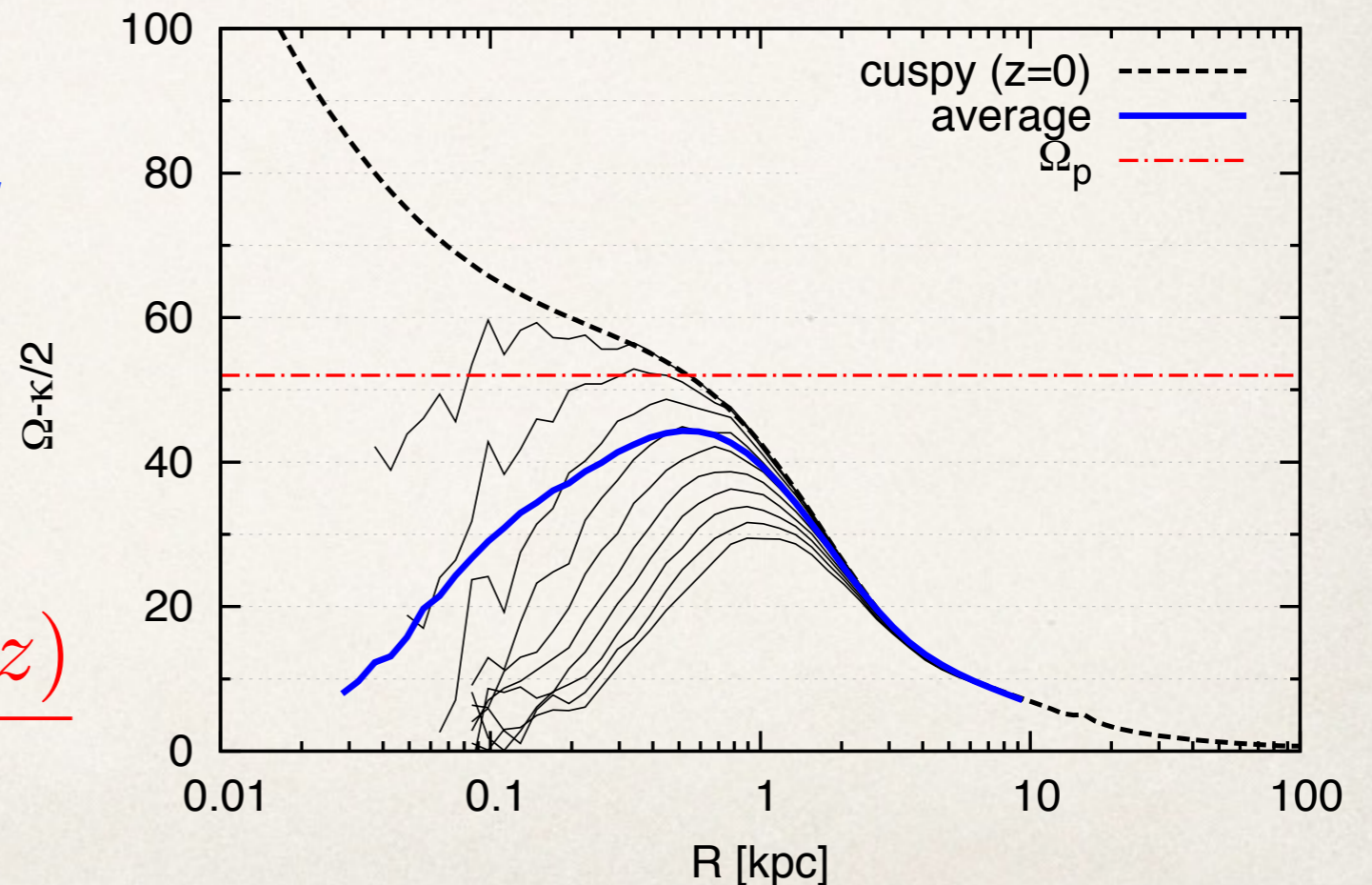
- ПЛОТНОСТЬ

$$\Sigma_d(R) = \int dz \rho(R, z)$$

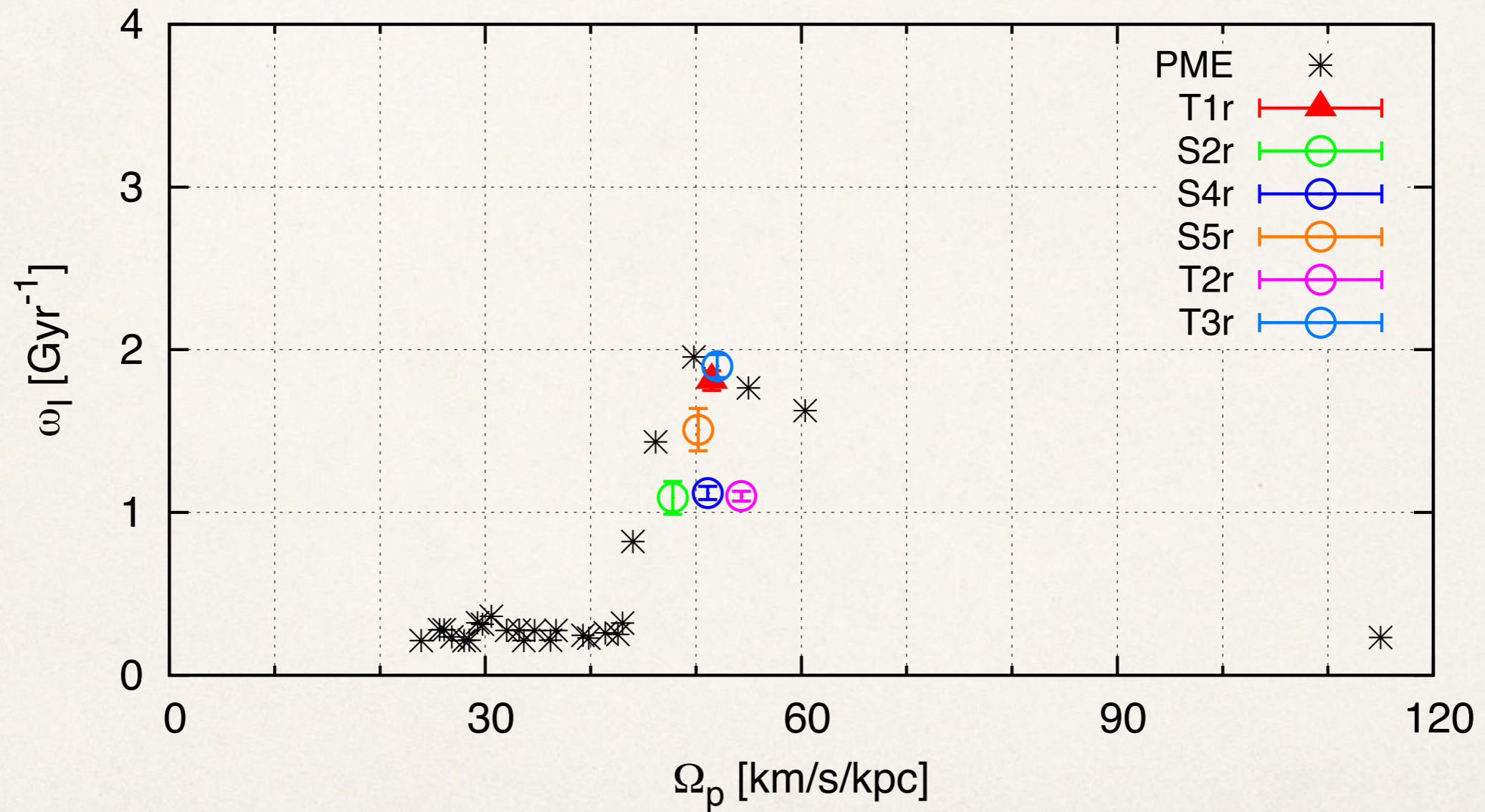
нет неустойчивых мод

- радиальная сила

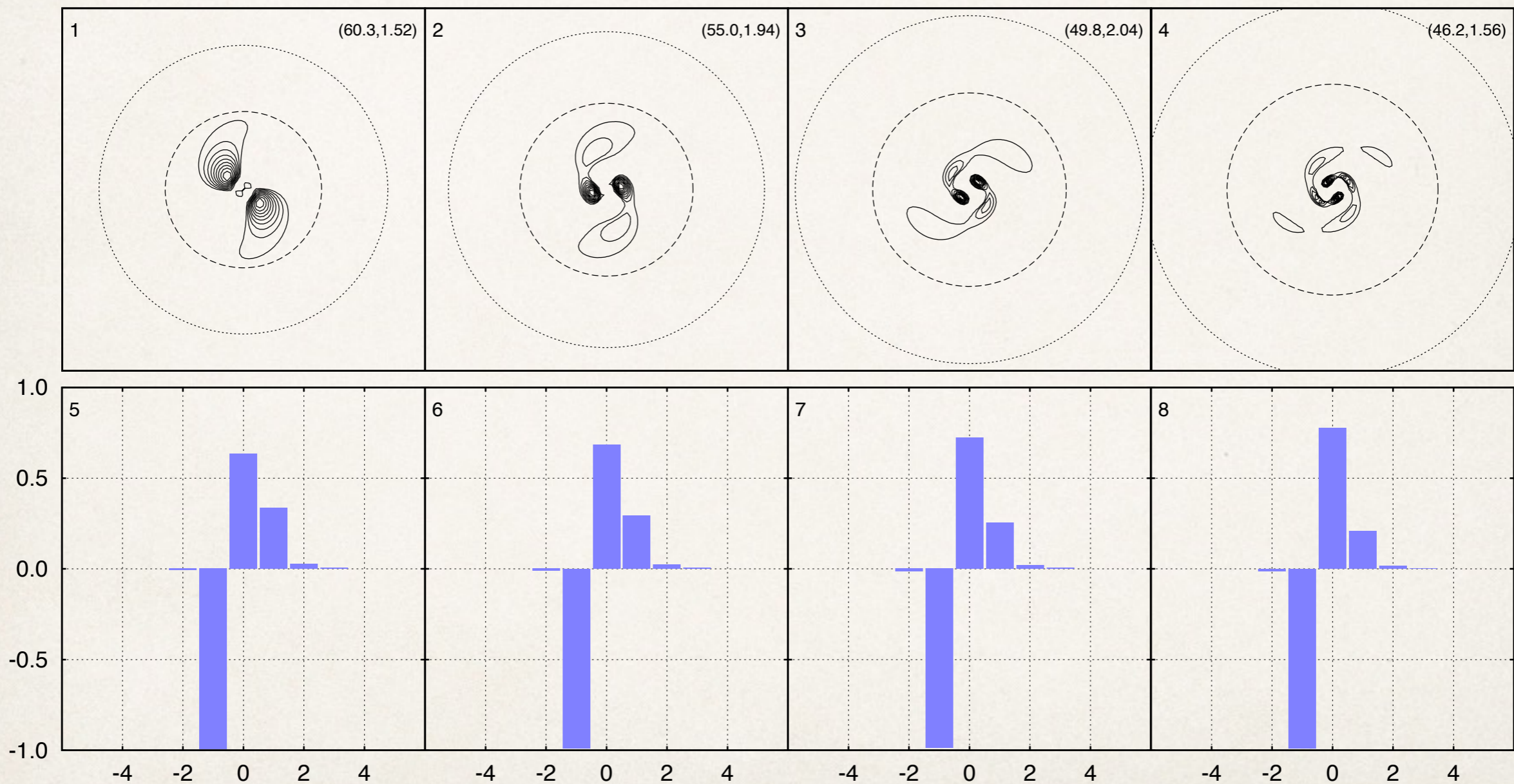
$$F_R(R) = - \int dz \frac{\partial \Phi(R, z)}{\partial R}$$



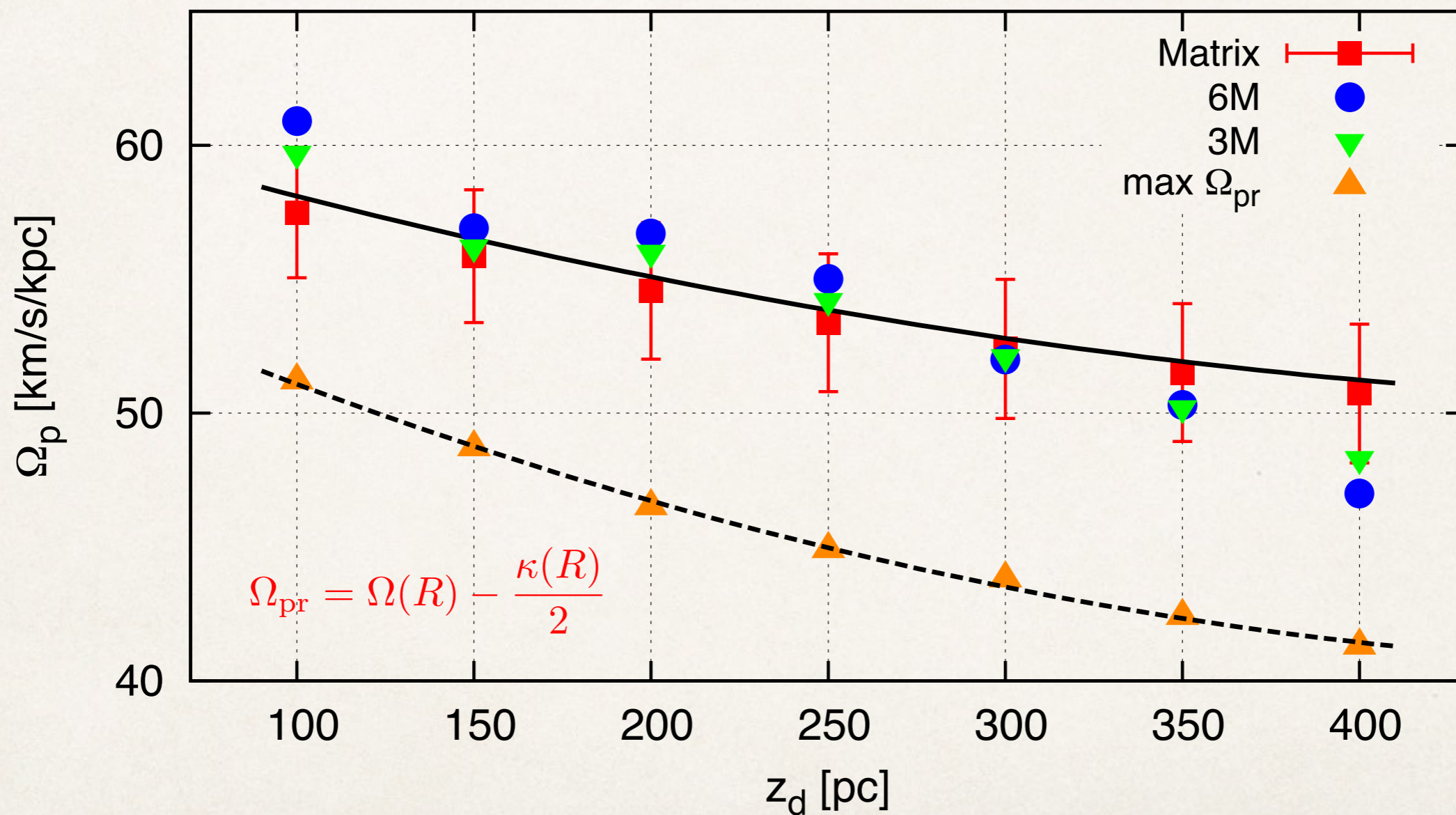
Глобальные моды — частоты



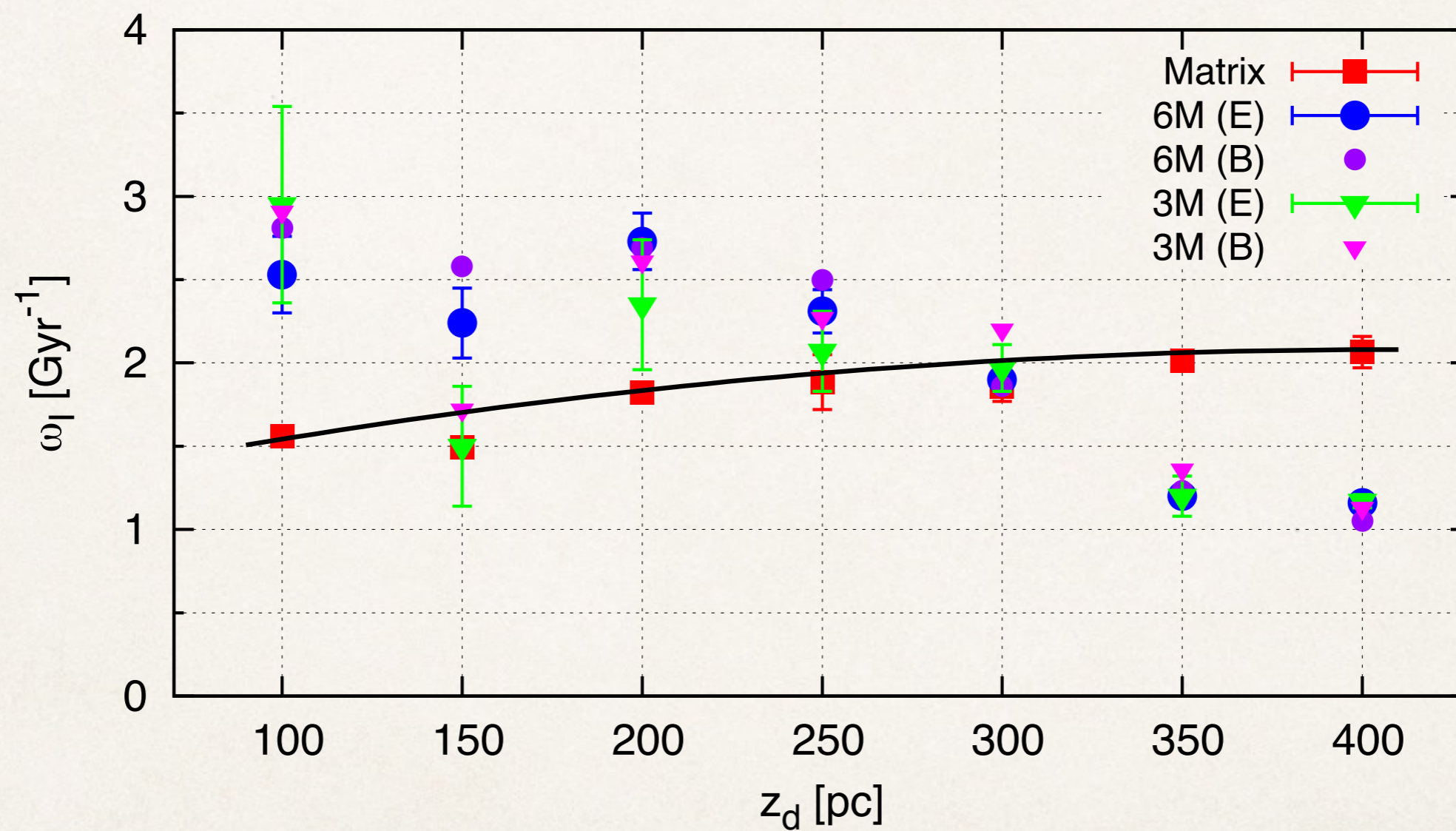
Глобальные моды — собств. функции



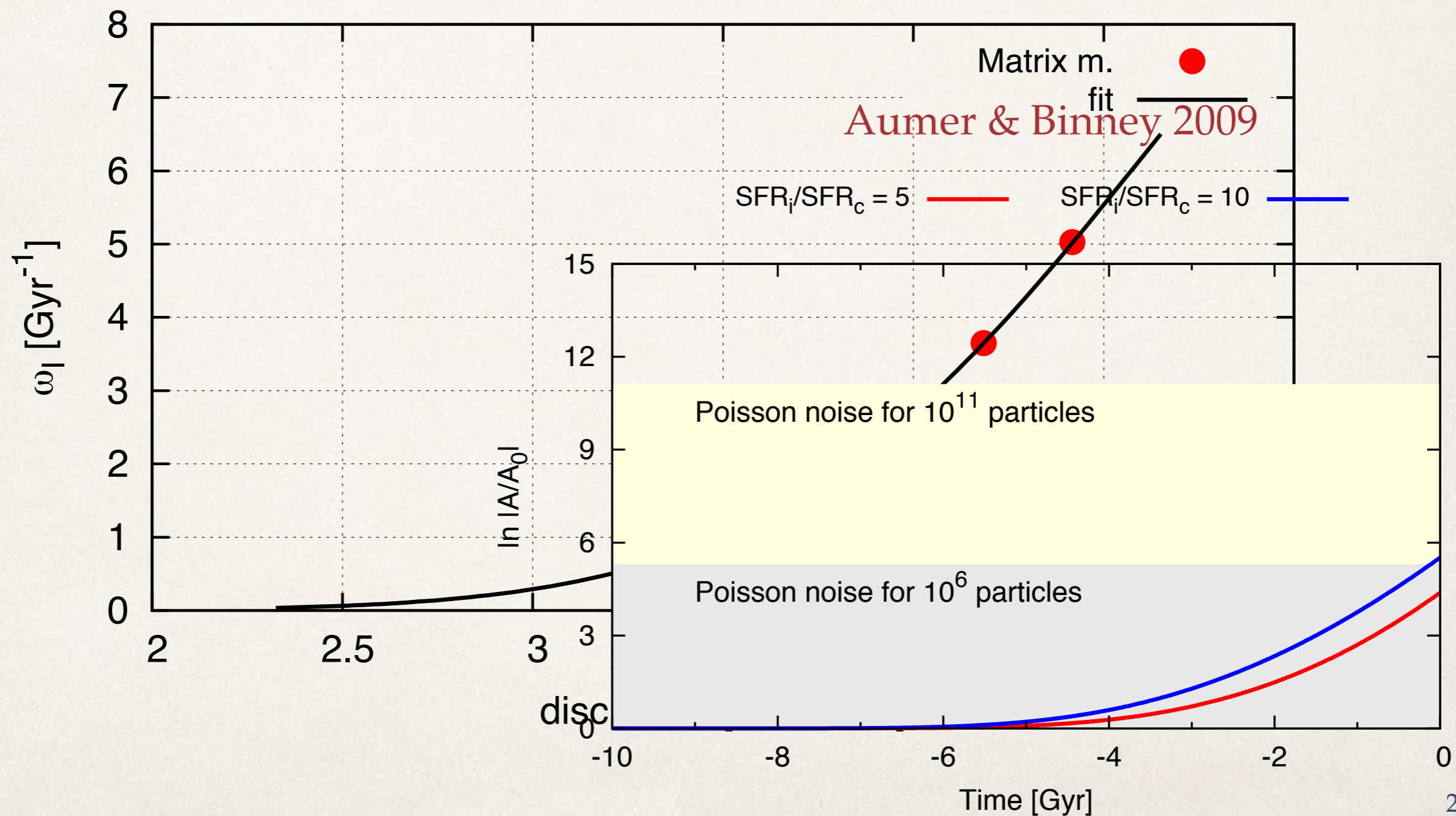
Глобальные моды — Ω_p v.s. z_d



Глобальные моды — ω_I v.s. z_d



Глобальные моды — ω_I v.s. M_d



Заключение — сценарий

1. Темное гало
2. Балдж с каспом (небольшая эллипт. галактика)
3. Медленный рост диска без неустойчивости
 - ➔ Формирование бара при почти сформированном диске (10 Gyr)
 - ILR не существует при $R \approx z_d$
 - Объясняется недостаток баров на $z > 0.5$
 - Объясняется $1 \leq \mathcal{R} < 1.3$