

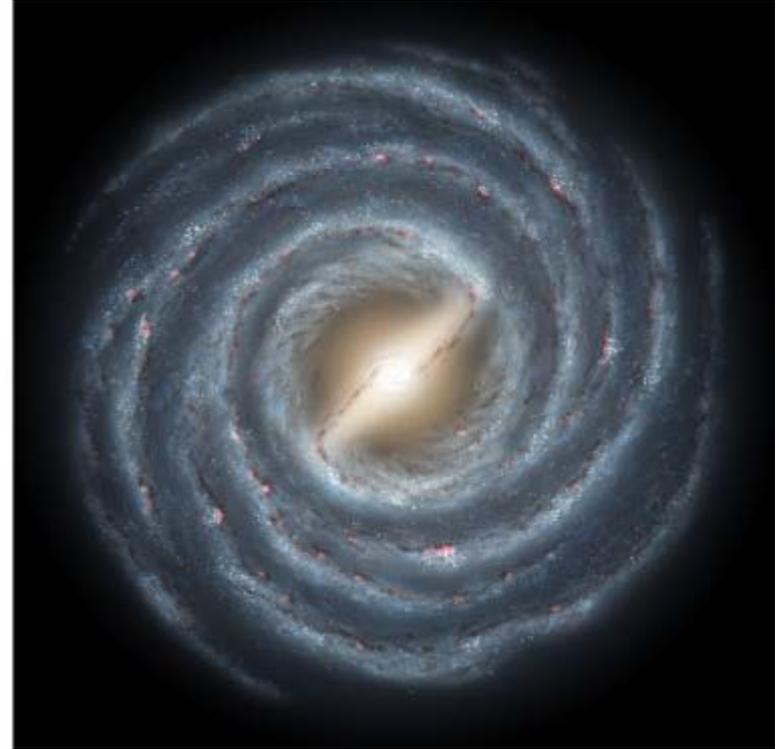
*"Спиральная Структура
Млечного Пути: Наблюдения и
Теоретические Предсказания"*

Корчагин В. И.

(Южный Федеральный Университет, Ростов-на-Дону)

Хоперсков А.В., Хоперсков С.А., Храпов С.С.

Млечный Путь, художественное изображение

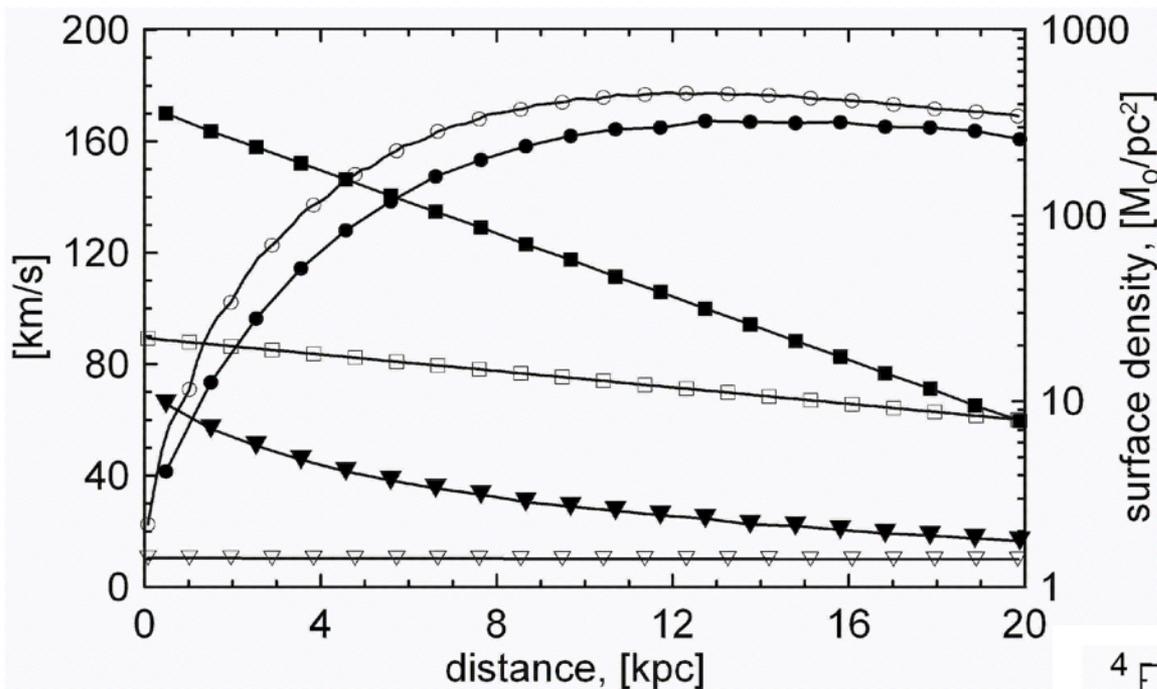


- These two images were made by the same artist, Robert Hurt, the one on the left from 2008 (post-Spitzer), and the one on the right from 2005 (pre-Spitzer). In many ways the new picture of the Milky Way on the left is a significant improvement of previous images of our Galaxy, especially with regards to the structure of the inner parts of the Milky Way and the detailed structure near the Sun. But the most striking difference between the two images is the large-scale spiral structure

NGC 5247
Khoperskov et al. (2012)



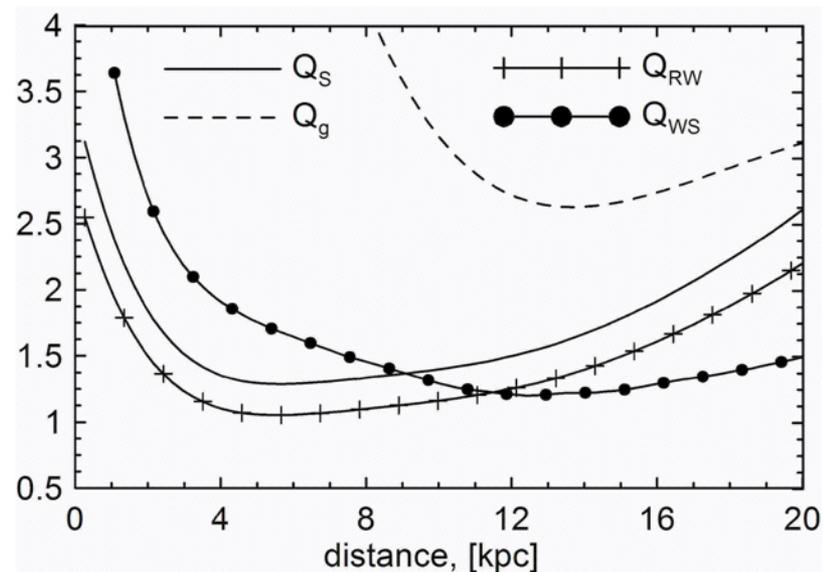
2. Stellar-gaseous model : initial distribution



N-body (3D) + TVD (3D)

Number particles
 10^5 - 10^8

Mesh grid
 $1000 \times 360 \times 50$



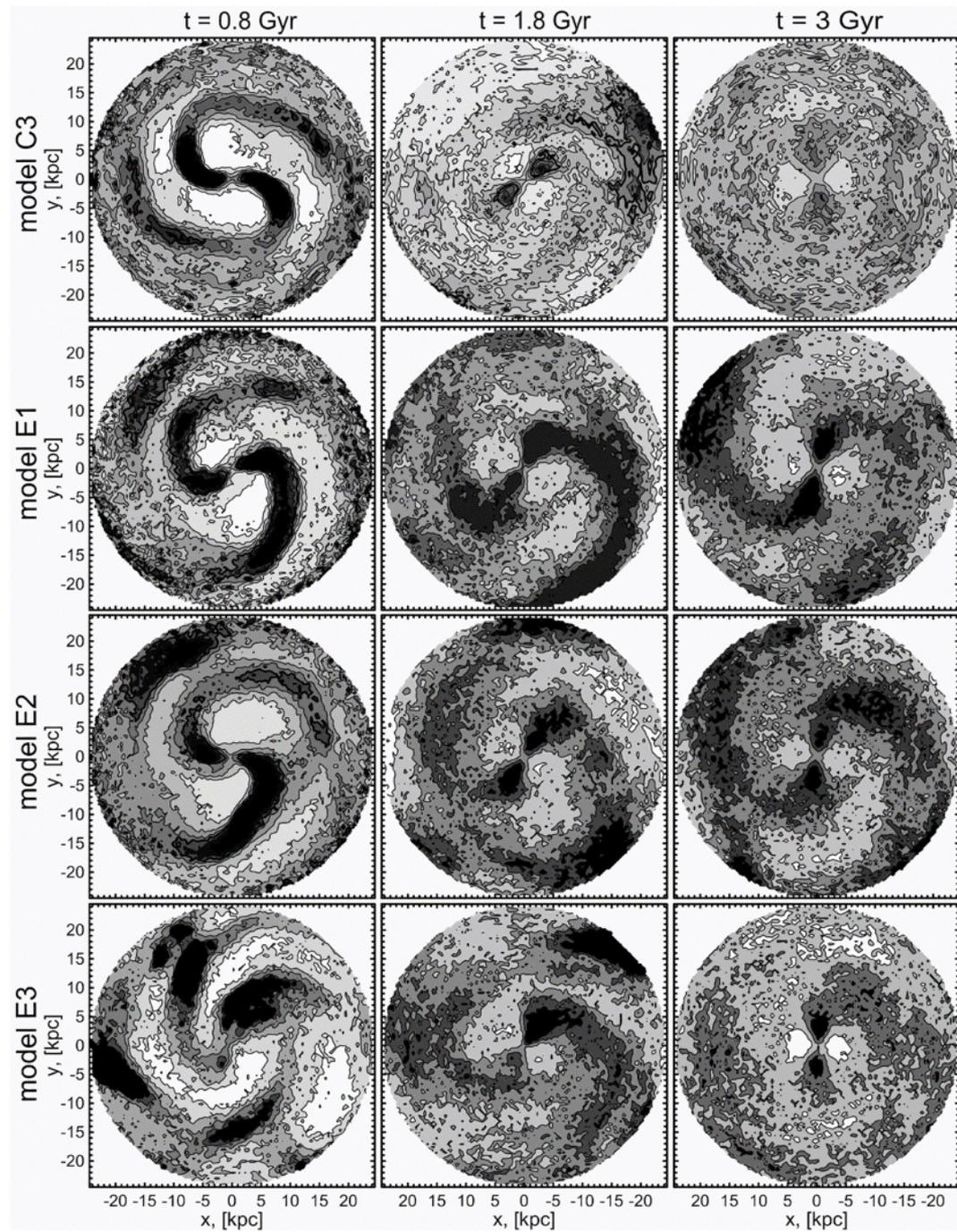
Stellar-gaseous disk

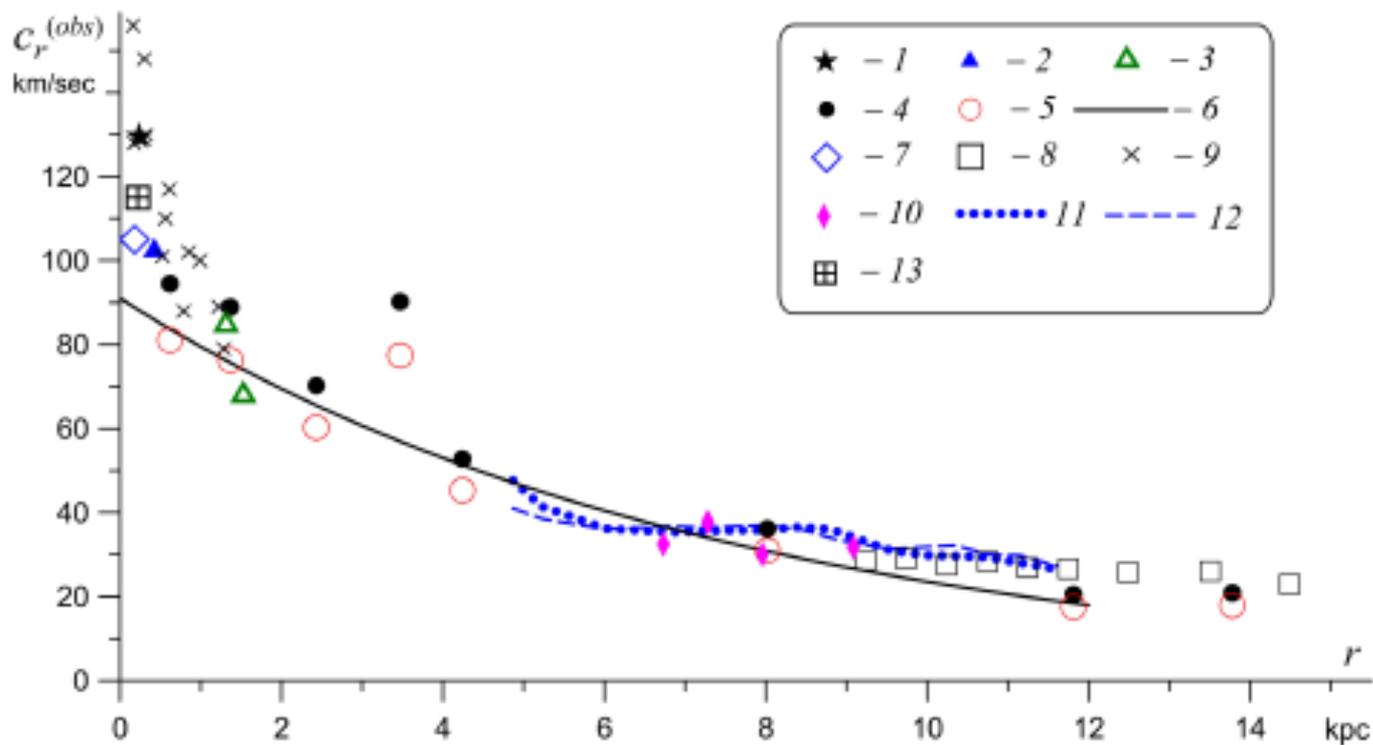
$$M(\text{stellar}) = 1.0$$

$$M(\text{gas}) = 0.01$$

$$M(\text{gas}) = 0.05$$

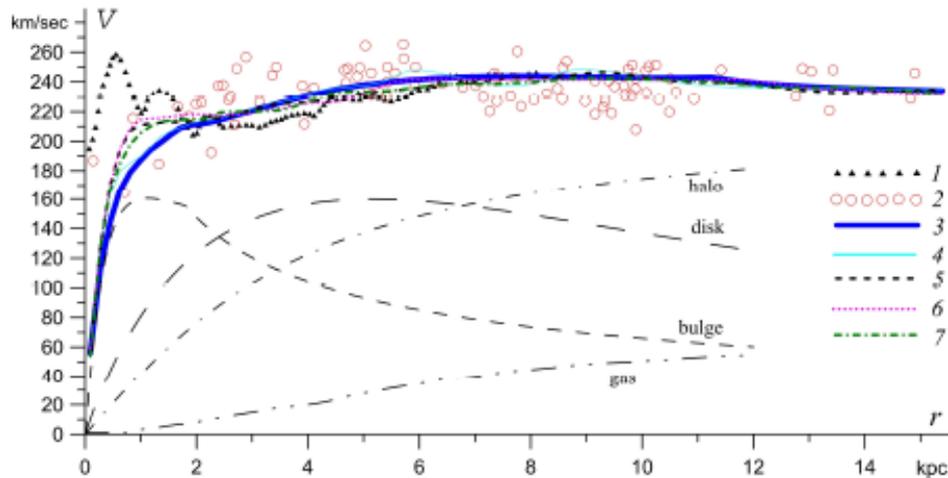
$$M(\text{gas}) = 0.1$$





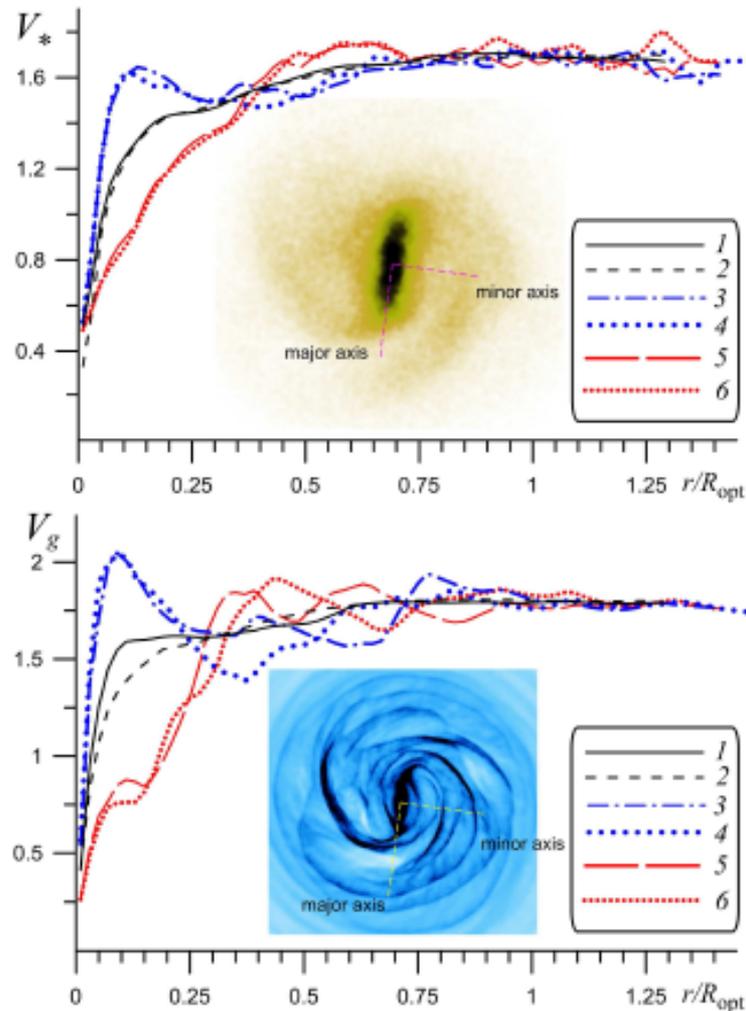
Радиальная дисперсия скоростей диска Галактики по разным наблюдательным данным и аппроксимация экспоненциальным профилем $c_r = 91 [\text{km/s}] \exp(-r/7.4 [\text{kpc}])$

Млечный Путь, кривая вращения, газ



Азимутально усредненная модельная кривая вращения газа в различные моменты времени и сравнение с наблюдательными данными. 1 - HI, 2 – мазеры, 3 – $t=0$, 4 – $t=5$, 5 – $t=10$, 6 – $t=15$, 7 – $t=20$. $t_{\text{unit}} = 83.3$ Myr

Млечный Путь, кривые вращения, звезды, газ



Азимутальные скорости для звездной и газовой компонент диска вдоль малой (кривые 3 и 4), и большой (кривые 5 и 6) полуосей бара в момент времени 1.25 Gyr. Кривые 1 и 2 показывают азимутально усредненные вращательные скорости в начальный момент и в процессе эволюции.

3D collisionless stellar disk:

Direct integration

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_i}{dt^2} = \begin{cases} -\frac{\nabla p_i}{\rho_i} + \mathbf{f}_i^h + \mathbf{f}_i^b + \sum_{j=1, j \neq i}^N \mathbf{f}_{ij}, & 0 \leq i < N/2; \\ \mathbf{f}_i^h + \mathbf{f}_i^b + \sum_{j=1, j \neq i}^N \mathbf{f}_{ij}, & N/2 \leq i < N; \end{cases},$$

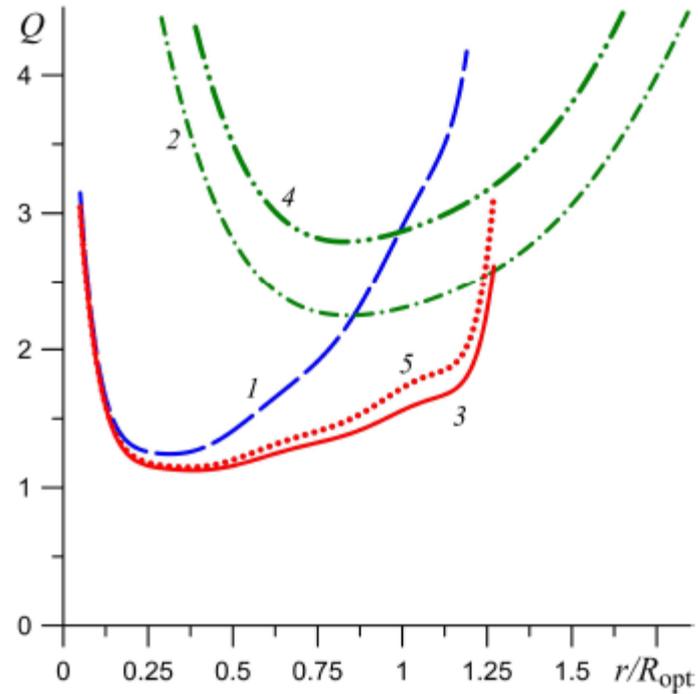
$$\mathbf{f}_{ij} = -G \frac{m_i m_j (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j + \delta|^3}.$$

$$= 40 \text{ pc}$$

$$\gamma = 1.05$$

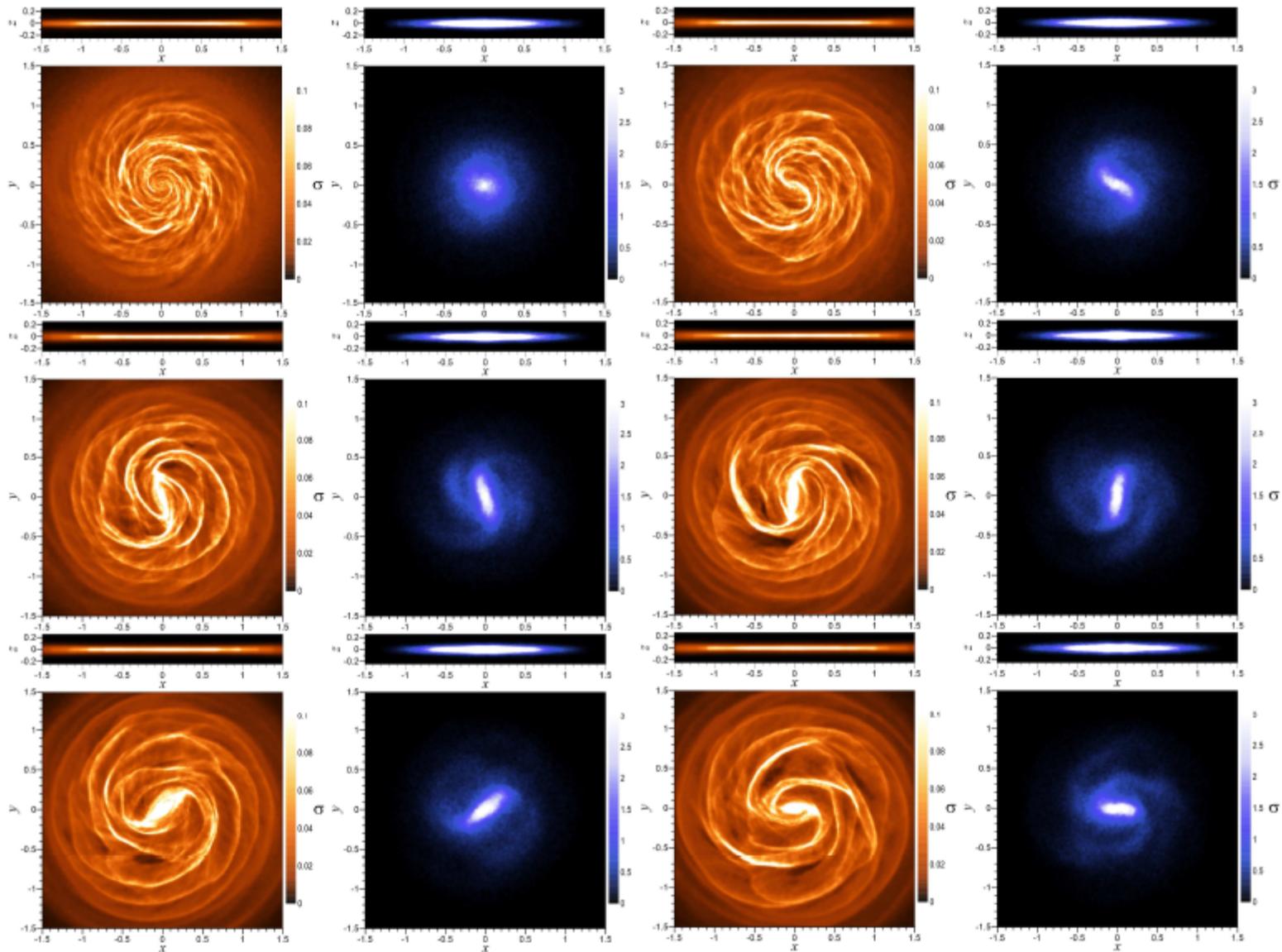
$$\frac{de_i}{dt} = -\frac{p_i}{\rho_i} \nabla \cdot \mathbf{v}_i,$$

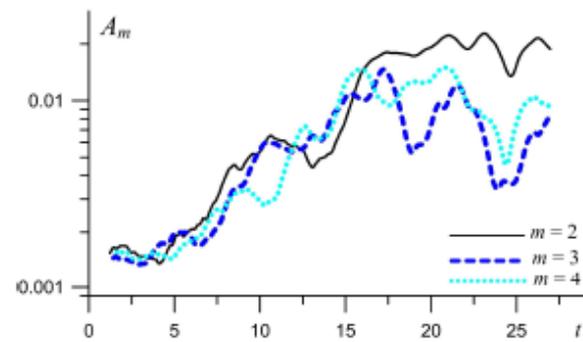
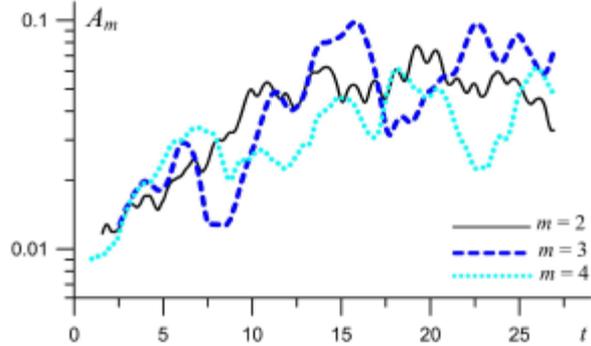
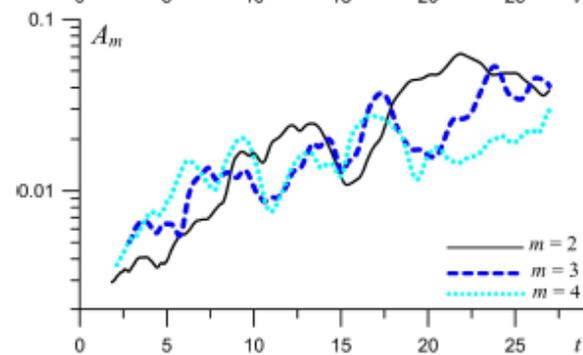
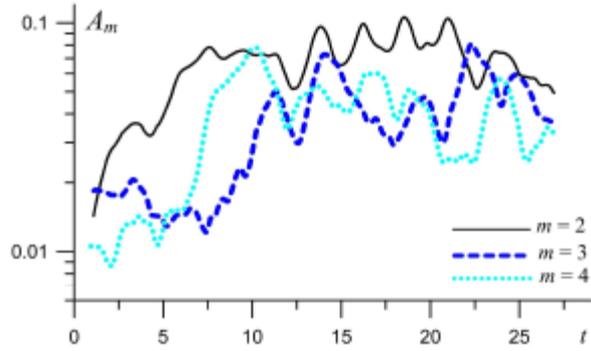
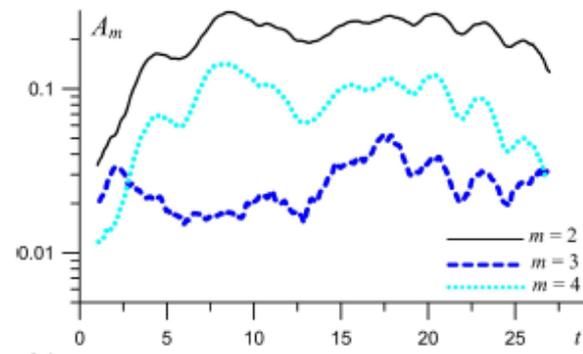
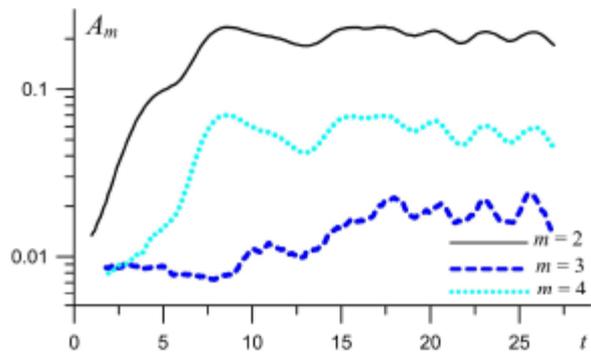
$$e_i = \frac{p_i}{(\gamma - 1)\rho_i},$$



$$Q = \frac{c_r(r)\kappa(r)}{3.36\sigma(r)} \quad Q_{T\Sigma} = \frac{Q_{T*}}{1 + W_g Q_{T*}/Q_{Tg}}, \quad W_g = \frac{2c_r c_s}{c_r^2 + c_s^2}.$$

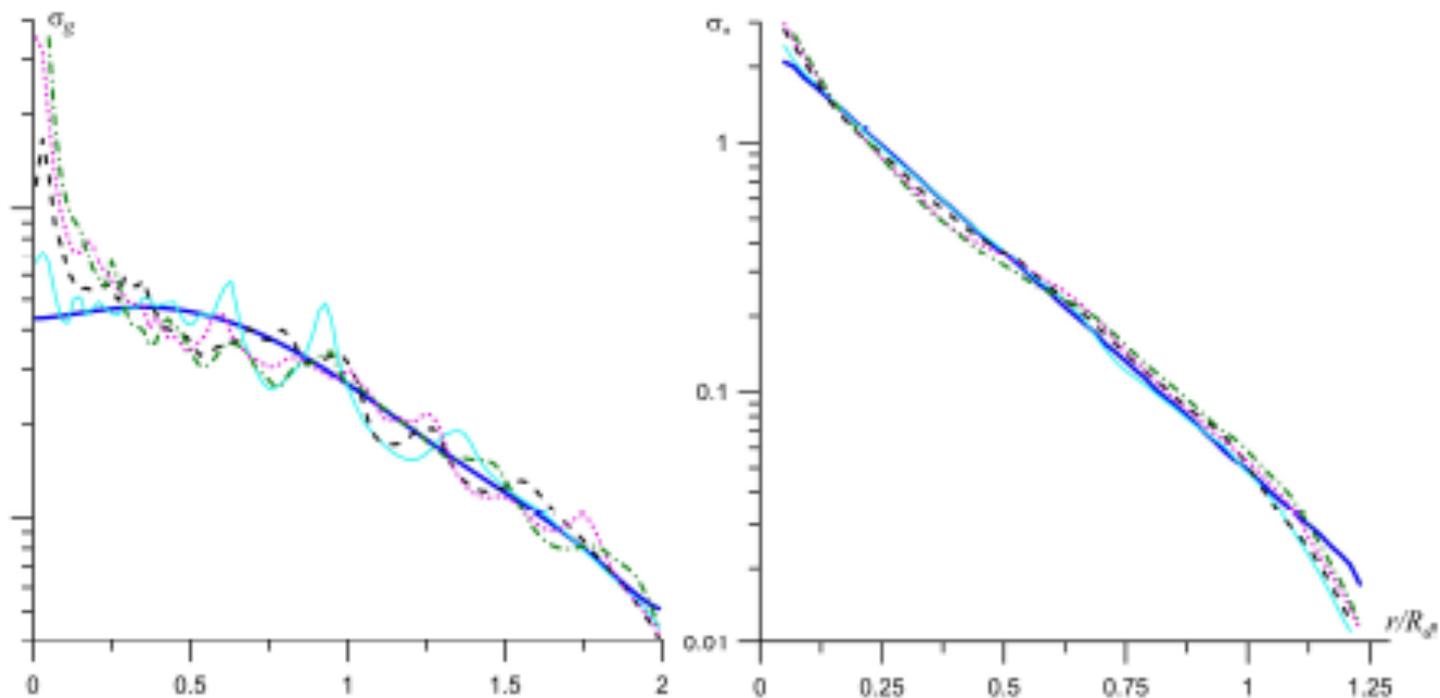
Romeo&Falstad (2013)





$$A_m(t) = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} \exp \{i [m \varphi_j(t)]\}$$

$r < 1.8$; $3.6 < r < 5.4$; $7.2 < r < 9$ КПС



Азимутально усредненные распределения поверхностной плотности для газовой и звездной компонент в различные моменты времени $t = 0 - 1.7$ Gyr

Swing amplification

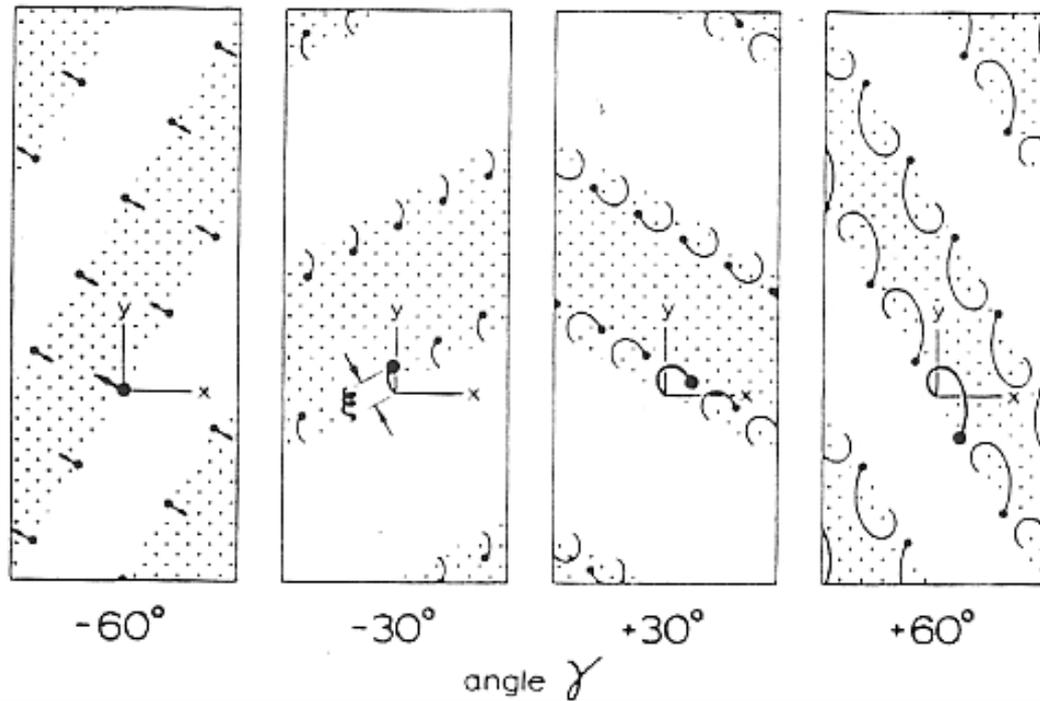
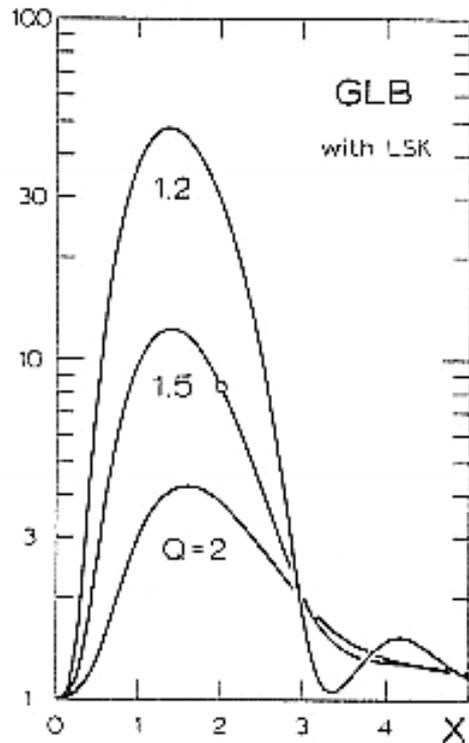
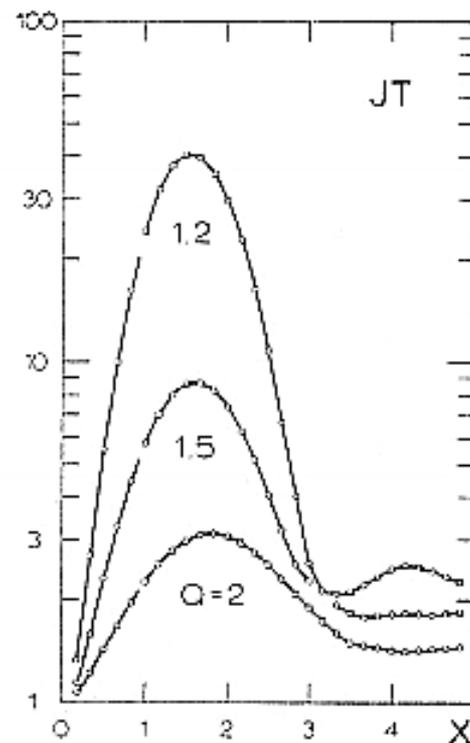


Иллюстрация свингового усиления. Направление вращения участка диска вверх. Центр галактики слева. В процессе дифференциального вращения амплитуда возмущения растет.

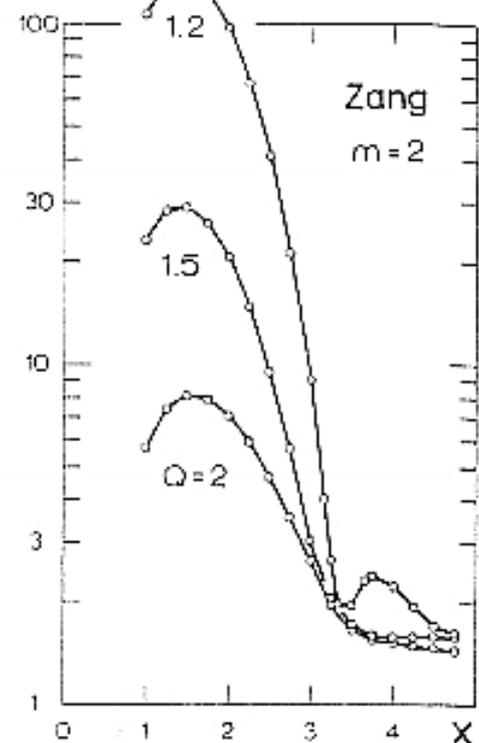
Max. growth factor



Max trailing/leading bias

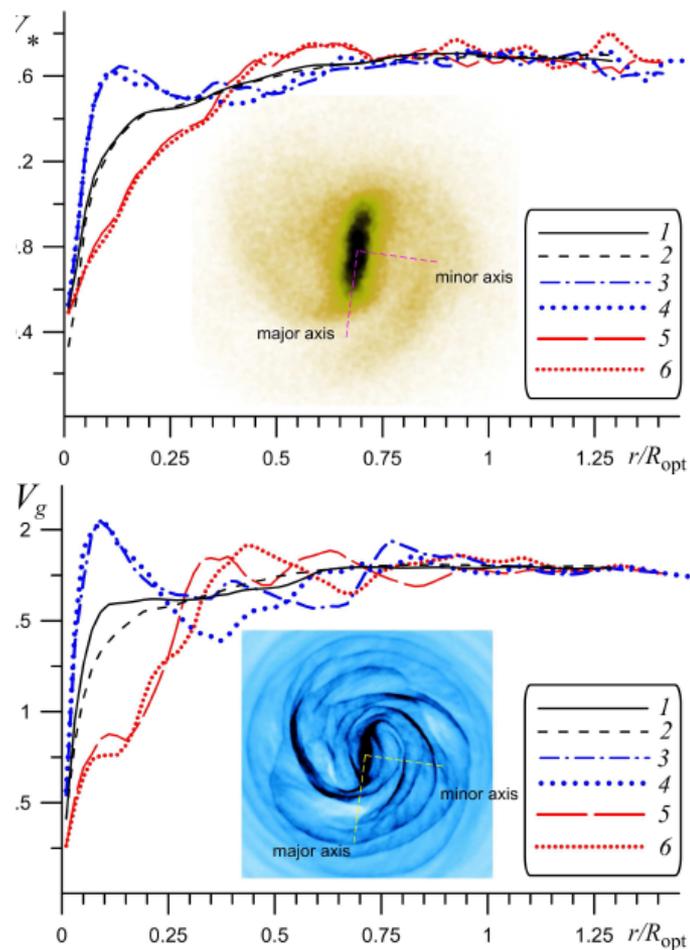


Ditto



Amplification factors

Генерация на скачке вращательной скорости



Скачка скорости вдоль большой полуоси бара нет.

Выводы

Азимутально усредненный галактический диск неустойчив. В центральных областях диск неустойчив относительно роста $m=2$ спиральной моды, которая на нелинейной стадии трансформируется в бар с большой полуосью ~ 3 кпс.

Вне бара генерируется сложный спиральный узор, - суперпозиция $m=2, 3$ и 4 рукавных спиралей. Традиционно, спиральная структура Галактики представляется как $m=2$ -рукавный узор с фиксированным углом закрутки и коротацией. В случае Галактики это не так.

Спиральный узор Галактики эволюционирует со временем, но долгоживущий, с возрастом жизни $> 3 G_{\text{yr}}$

(В.А. Антонов)