

Динамическое моделирование галактик: орбитальная декомпозиция

Гораджанов и др.

Динамическое моделирование галактик с рассогласованной кинематикой: структурные компоненты (PGC 35706, LEDA 2220522)

Lamprecht et al. 2026 — A&A, 706, A373

Orbital decomposition of the nuclear regions in the early-type galaxy FCC 47: unveiling the nuclear cluster origin

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК С РАССОГЛАСОВАННОЙ КИНЕМАТИКОЙ: СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

В. С. Гораджанов,^{1,2,*} Д. Д. Мишурин,³ О. К. Сильченко,^{1,2} Д. Ф. Гасымов¹

¹Государственный Астрономический Институт им. П. К. Штернберга, Москва, 119234, Россия

²Физический факультет Московского Государственного
Университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119991

³Школа 2126 “Перово“, Москва, Россия

Представлены результаты динамического моделирования двух галактик с рассогласованной кинематикой – PGC 35706 и LEDA 2220522 – по данным интегрально-полевого спектроскопического обзора MANGA и глубокой фотометрии DESI. Методом суперпозиции орбит Шварцшильда в осесимметричном приближении выделены структурные компоненты галактик на основе параметра циркулярности орбит λ_z . В обеих галактиках идентифицированы три основных компонента: сфероидальный (балдж/гало), совращающийся и противовращающийся звёздные диски. Для PGC 35706 сфероидальный компонент доминирует по массе ($\sim 56\%$), тогда как в LEDA 2220522 массы двух дисковых компонентов сопоставимы ($\sim 35\%$ и $\sim 20\%$). Кинематика ионизованного газа в обеих галактиках соответствует вращению противовращающегося диска, что указывает на его формирование из внешнего газа с противоположным угловым моментом. Полученные результаты поддерживают сценарий образования противовращающихся дисков через аккрецию газа из межгалактической среды или в результате малых слияний с газонасыщенными спутниками. Работа демонстрирует эффективность метода Шварцшильда для изучения сложной кинематической структуры галактик и их истории формирования.

Ключевые слова: галактики: индивидуальные: SDSS J113356.96+511459.2, SDSS J105252.58+432542.2; галактики: кинематика и динамика; галактики: эллиптические и линзовидные. Астрофизика - Астрофизика галактик

Мотивация и объекты исследования

Мотивация

Галактики с рассогласованной кинематикой (газ/звёзды) или противовращающимися дисками содержат уникальную информацию о процессах аккреции и слияний

Первое надёжное обнаружение противовращающегося диска: NGC 4550 (Rix et al. 1992; Rubin et al. 1992)

Сценарии образования: аккреция газа из МГС или малые слияния с газонасыщенными спутниками. Новый звёздный диск наследует угловой момент аккрецированного газа (Bournaud et al. 2005; Corsini 2014)

Объект 1

PGC 35706 (SDSS J113356.96+511459.2)

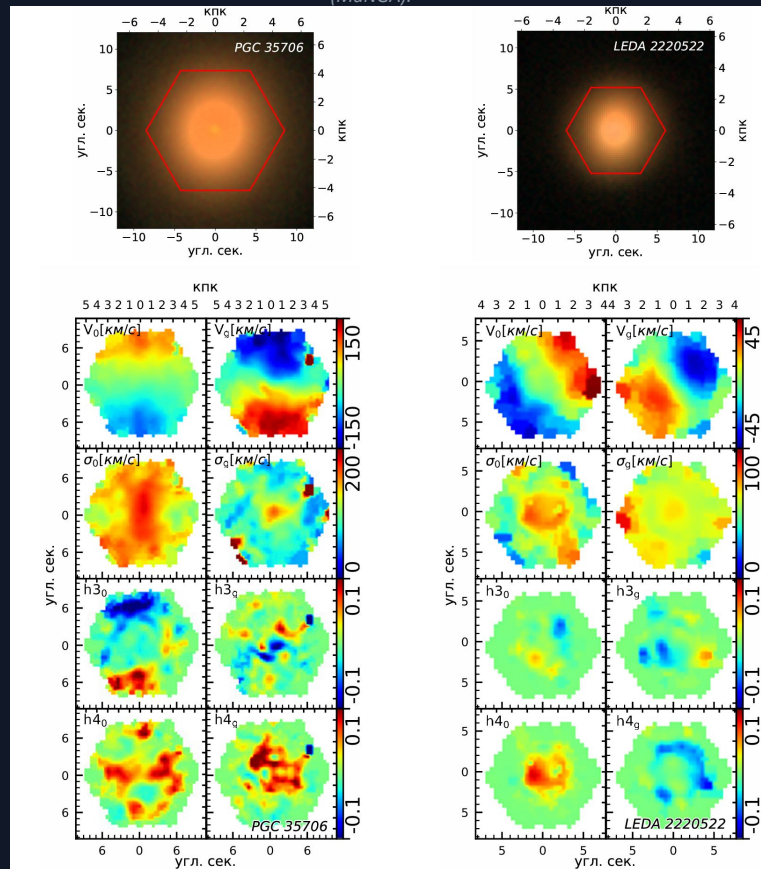
D = 117 Мпк · рассогласованная кинематика газа и звёзд · MaNGA DR17

Объект 2

LEDA 2220522 (SDSS J105252.58+432542.2)

D = 109 Мпк · возможные противовращающиеся диски · MaNGA DR17

Рис. 1. Фотометрические изображения PGC 35706 и LEDA 2220522 в фильтрах g, r, z (DESI). Красным — поле зрения MaNGA. Карты лучевых скоростей и дисперсии звёзд/газа (MaNGA).



Наблюдательные данные и обработка спектров

MaNGA (SDSS-IV)

Обзор $>10\,000$ галактик, $z = 0.01\text{--}0.15$.
2.5-м телескоп (APO), спектрографы
BOSS, $3600\text{--}10\,000\text{ \AA}$, $R \sim 2000$ ($\sim 72\text{ км/с}$).
Биннинг Вороного до $S/N \sim 20$.

Спектральный фит

Метод NBursts (Chilingarian et al. 2007).
Сетки SSP E-MILES. Параметризация
ФРЛС функцией Гаусса–Эрмита: ν , σ ,
 h_3 , h_4 . Одновременная подгонка
континуума и эмиссионных линий.

DESI Legacy Survey

Глубокая фотометрия в фильтрах g , r ,
 z . Высокое угловое разрешение.
Используется для MGE-декомпозиции
и построения гравитационного
потенциала.

MGE-декомпозиция (Cappellari 2002)

Двумерное распределение поверхностной яркости аппроксимируется суммой $N = 6$
двумерных гауссиан, что обеспечивает аналитическое вычисление
гравитационного потенциала.

Алгоритм: линейный поиск (200 гауссиан) $\rightarrow$ нелинейная оптимизация (Левенберг–
Марквардт) $\rightarrow$ свёртка с PSF. Точность модели: относительная погрешность $< 5\%$ по
всем азимутальным секторам.

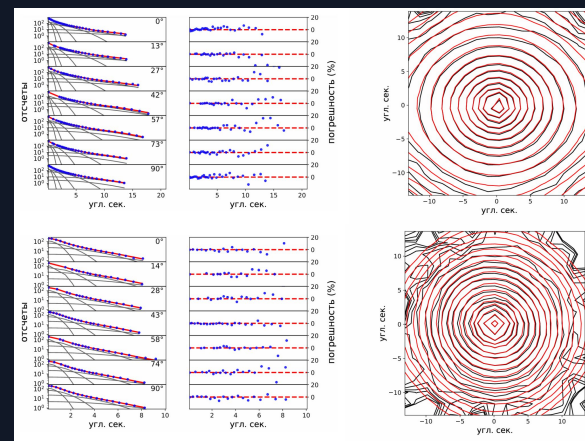


Рис. 2. Профили поверхностной яркости и модель MGE
для NGC 35706 и LEDA 2220522 (Рис. 2 статьи).

Метод суперпозиции орбит Шварцшильда

1. Гравитационный потенциал

Звездный компонент из MGE + тёмное гало NFW с параметрами $vcirc$ и r_{scale} + множитель $M/L = Y$.
Решение уравнения Пуассона через разложение по сферическим гармоникам (AGAMA).

2. Библиотека орбит

$N = 40\,000$ орбит. Дисковые — из Джинсовского моделирования (β, κ). Сферические — из распределения Эддингтона. Интегрирование в 3D потенциале.

3. Оптимизация весов орбит

Задача квадратичного программирования с ограничениями $w_i \geq 0$. Веса подбираются для наилучшего воспроизведения наблюдаемых полей V, σ, h_3, h_4 .

4. Параметры модели

Свободные параметры $vcirc, r_{scale}, Y$ подбираются алгоритмом AdaMet (адаптивный Метрополис-Гастингс, Cappellari et al. 2013). Начальное приближение — алгоритм DIRECT.

Параметр циркулярности

$$\lambda_z = L_z / L_{circ}(E)$$

Сфероид: $|\lambda_z| \leq 0.3$ · Со-диск: $0.3 < \lambda_z < 1$
· Против-диск: $-1 < \lambda_z < -0.3$

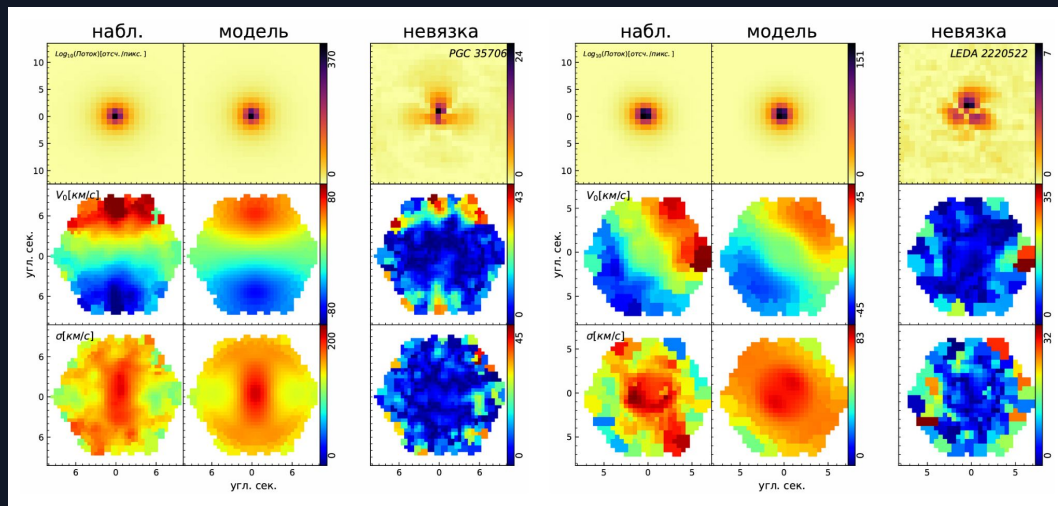


Рис. 3. Сравнение наблюдаемых и модельных полей скоростей и дисперсий (Рис. 5 статьи).

Результаты динамического моделирования: PGC 35706

$Y = 12.4 M_{\odot}/L_{\odot} \cdot i = 42^{\circ} \cdot D = 117 \text{ Мпк} \cdot M_{\text{total}} = 5.5 \times 10^{10} M_{\odot} \cdot v_{\text{circ}} = 154 \text{ км/с} \cdot r_{\text{scale}} = 107 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный ($|λ_z| \leq 0.3$)



Совращающийся диск ($λ_z > 0.3$)



Противовращающийся диск ($λ_z < -0.3$)



Основные результаты

- Сфероидальный компонент доминирует (~56%); поддерживается дисперсией скоростей
- Противовращающийся компонент содержит признаки полярного кольца и наклонённых структур ($\approx 30^{\circ}$ к плоскости)
- Ионизованный газ (H α) кинематически согласован с противовращающимся диском $\rightarrow$ единое внешнее происхождение
- Кинематическая модель удовлетворительно воспроизводит карты V и σ из MaNGA

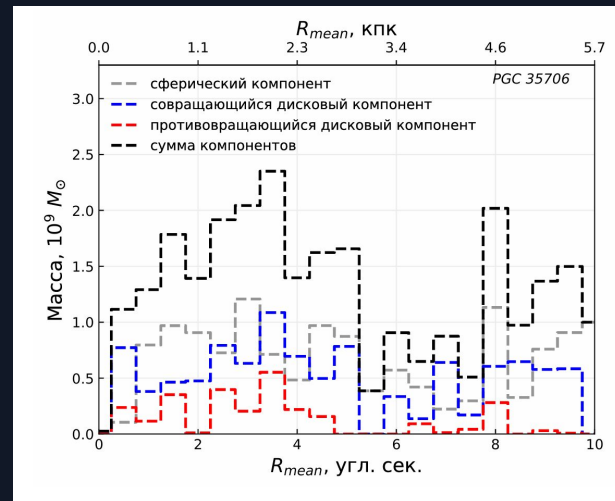


Рис. 4. Профиль масс компонентов.

Газовая кинематика (H α) кинематически согласована с противовращающимся диском $\rightarrow$ общее внешнее происхождение звёзд и газа вторичного диска.

Результаты динамического моделирования: PGC 35706

$Y = 12.4 M_{\odot}/L_{\odot}$ · $i = 42^{\circ}$ · $D = 117 \text{ Мпк}$ · $M_{\text{total}} = 5.5 \times 10^{10} M_{\odot}$ · $v_{\text{circ}} = 154 \text{ км/с}$ · $r_{\text{scale}} = 107 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный ($|l_z| \leq 0.3$)



Совращающийся диск ($l_z > 0.3$)



Противовращающийся диск ($l_z < -0.3$)



Основные результаты

- Сфероидальный компонент доминирует (~56%); поддерживается дисперсией скоростей
- Противовращающийся компонент содержит признаки полярного кольца и наклонённых структур ($\approx 30^{\circ}$ к плоскости)
- Ионизованный газ (H α) кинематически согласован с противовращающимся диском → единое внешнее происхождение
- Кинематическая модель удовлетворительно воспроизводит карты V и σ из MaNGA

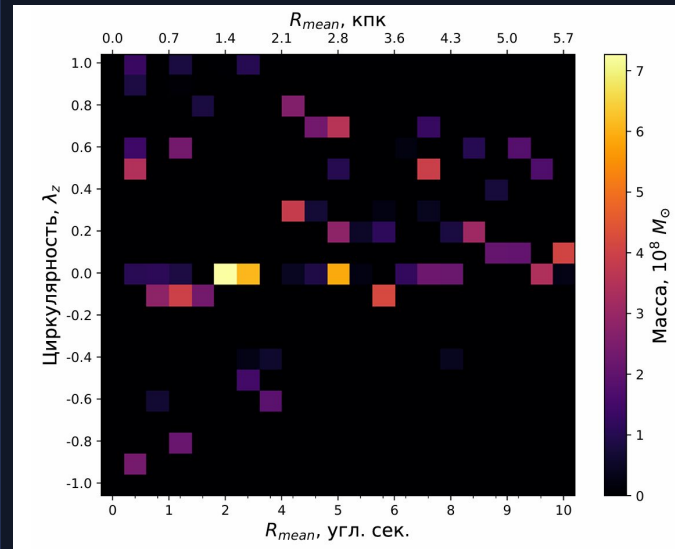


Рис. 5. Распределение орбит в плоскости $R_{\text{mean}} - l_z$.

Газовая кинематика (H α) кинематически согласована с противовращающимся диском → общее внешнее происхождение звёзд и газа вторичного диска.

Результаты динамического моделирования: PGC 35706

$Y = 12.4 M_{\odot}/L_{\odot}$ · $i = 42^{\circ}$ · $D = 117 \text{ Мпк}$ · $M_{\text{total}} = 5.5 \times 10^{10} M_{\odot}$ · $v_{\text{circ}} = 154 \text{ км/с}$ · $r_{\text{scale}} = 107 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный ($|\lambda_z| \leq 0.3$)

56%

Совращающийся диск ($\lambda_z > 0.3$)

34%

Противовращающийся диск ($\lambda_z < -0.3$)

9%

Основные результаты

- Сфероидальный компонент доминирует (~56%); поддерживается дисперсией скоростей
- Противовращающийся компонент содержит признаки полярного кольца и наклонённых структур ($\approx 30^{\circ}$ к плоскости)
- Ионизованный газ (H α) кинематически согласован с противовращающимся диском → единое внешнее происхождение
- Кинематическая модель удовлетворительно воспроизводит карты V и σ из MaNGA

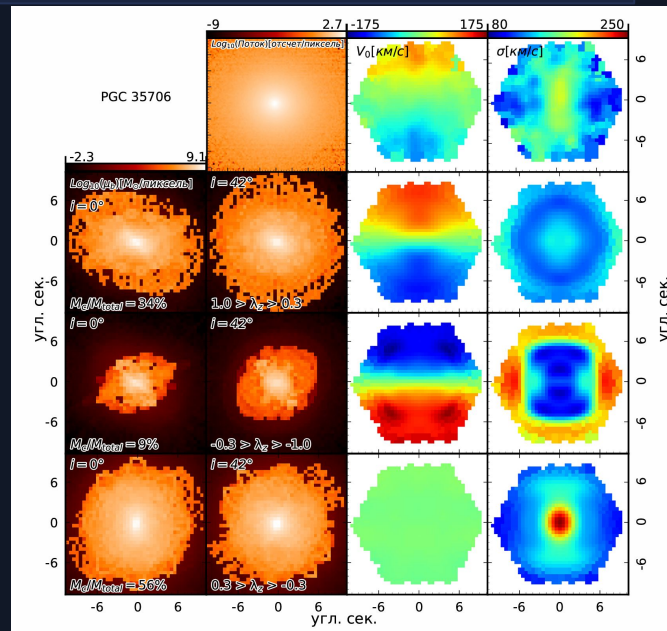


Рис. 6. Морфология и кинематика трёх компонент при $i = 0^{\circ}$ и 42° .

Газовая кинематика (H α) кинематически согласована с противовращающимся диском → общее внешнее происхождение звёзд и газа вторичного диска.

Результаты динамического моделирования: LEDA 2220522

$Y = 3.6 M_{\odot}/L_{\odot} \cdot i = 27^{\circ} \cdot D = 109 \text{ Мпк} \cdot M_{\text{total}} = 0.5 \times 10^{10} M_{\odot} \cdot v_{\text{circ}} = 324 \text{ км/с} \cdot r_{\text{scale}} = 131 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный / слабовращ. ($|\lambda_z| \leq 0.3$)

44%

Совращающийся диск (толстый, $R \lesssim 5''$)

35%

Противовращающийся диск (тонкий, $R \lesssim 3.5''$)

20%

Основные результаты

- Классический объект с двумя сопоставимыми дисками (ср. NGC 4550, Rix et al. 1992)
- Совращающийся диск — первичный, толстый; квазиполярное кольцо ($\approx 60^{\circ}$ к диску)
- Противовращающийся диск — тонкий, $|\lambda_z| \approx 0.7$, меньшая дисперсия → недавнее образование
- $M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57 \rightarrow$ относительно недавний и ограниченный по массе эпизод газовой аккреции

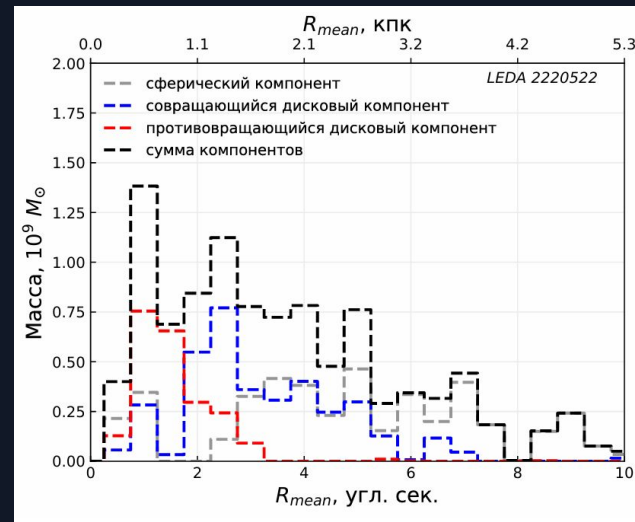


Рис. 7. Профиль масс компонентов.

$M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57$. Отсутствие следов крупного слияния в фотометрии DESI согласуется со сценарием внешней газовой аккреции.

Результаты динамического моделирования: LEDA 2220522

$Y = 3.6 M_{\odot}/L_{\odot} \cdot i = 27^{\circ} \cdot D = 109 \text{ Мпк} \cdot M_{\text{total}} = 0.5 \times 10^{10} M_{\odot} \cdot v_{\text{circ}} = 324 \text{ км/с} \cdot r_{\text{scale}} = 131 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный / слабовращ. ($|\lambda_z| \leq 0.3$)



Совращающийся диск (толстый, $R \lesssim 5''$)



Противовращающийся диск (тонкий, $R \lesssim 3.5''$)



Основные результаты

- Классический объект с двумя сопоставимыми дисками (ср. NGC 4550, Rix et al. 1992)
- Совращающийся диск — первичный, толстый; квазиполярное кольцо ($\approx 60^{\circ}$ к диску)
- Противовращающийся диск — тонкий, $|\lambda_z| \approx 0.7$, меньшая дисперсия → недавнее образование
- $M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57 \rightarrow$ относительно недавний и ограниченный по массе эпизод газовой аккреции

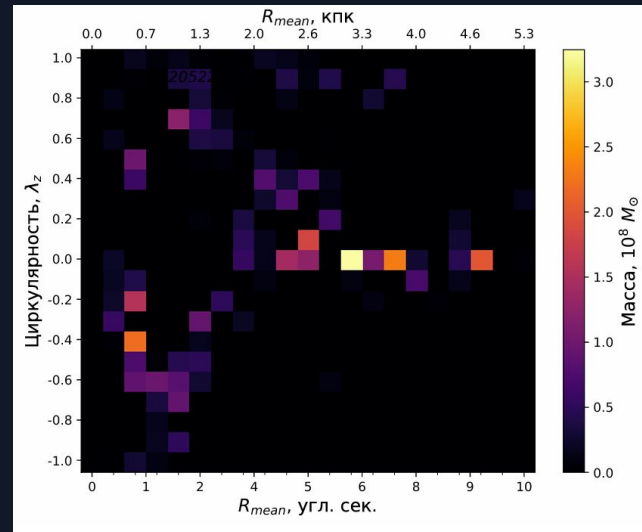


Рис. 8. Распределение орбит в плоскости

$R_{\text{mean}} - \lambda_z$

$M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57$. Отсутствие следов крупного слияния в фотометрии DESI согласуется со сценарием внешней газовой аккреции.

Результаты динамического моделирования: LEDA 2220522

$Y = 3.6 M_{\odot}/L_{\odot} \cdot i = 27^{\circ} \cdot D = 109 \text{ Мпк} \cdot M_{\text{total}} = 0.5 \times 10^{10} M_{\odot} \cdot v_{\text{circ}} = 324 \text{ км/с} \cdot r_{\text{scale}} = 131 \text{ кпк}$

Орбитальный состав

Сфероидальный / слабовращ. ($|\lambda_z| \leq 0.3$)



Совращающийся диск (толстый, $R \leq 5''$)



Противовращающийся диск (тонкий, $R \leq 3.5''$)



Основные результаты

- Классический объект с двумя сопоставимыми дисками (ср. NGC 4550, Rix et al. 1992)
- Совращающийся диск — первичный, толстый; квазиполярное кольцо ($\approx 60^{\circ}$ к диску)
- Противовращающийся диск — тонкий, $|\lambda_z| \approx 0.7$, меньшая дисперсия → недавнее образование
- $M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57 \rightarrow$ относительно недавний и ограниченный по массе эпизод газовой аккреции

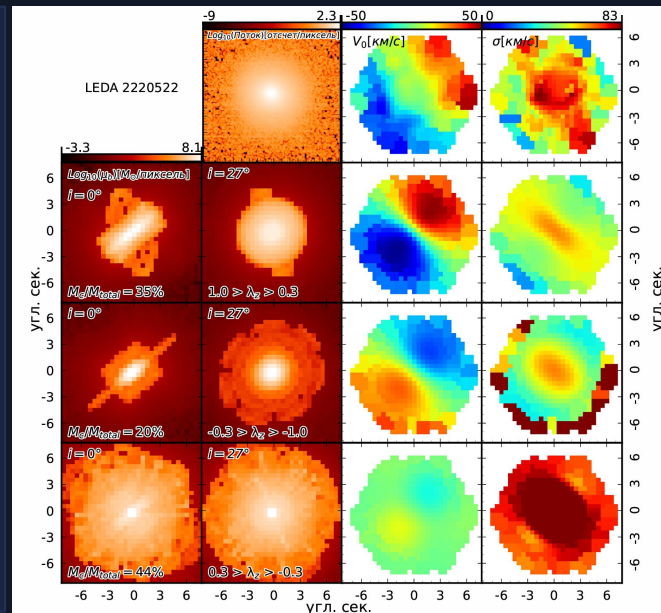


Рис. 9. Морфология и кинематика трёх компонентов при $i = 0^{\circ}$ и 27° (Рис. 7).

$M_{\text{прот}}/M_{\text{совр}} \approx 0.57$. Отсутствие следов крупного слияния в фотометрии DESI согласуется со сценарием внешней газовой аккреции.

Сценарии формирования и заключение

Сценарии формирования противовращающихся дисков

Аккреция газа из межгалактической среды или космологических филаментов, либо малые слияния с газонасыщенными спутниками. Глубокая фотометрия DESI не выявляет признаков крупного слияния (отсутствие приливных хвостов, оболочек, сильных искажений морфологии).

Орбитальная декомпозиция

В обеих галактиках выделены три компонента по λ_z : сфероидальный, вращающийся и противовращающийся диски. Суммарная динамическая масса согласуется с фотометрическими оценками (Wake et al. 2017).

Газовая кинематика

Поле лучевых скоростей ионизованного газа ($H\alpha$) в обеих галактиках соответствует вращению противовращающегося звёздного диска. Это свидетельствует об общем происхождении из внешнего источника с противоположным угловым моментом.

Перспективы

Популяционно-орбитальное моделирование: сопоставление карт возраста и металличности с орбитальными компонентами для датировки эпизодов аккреции. Расширение на большую выборку MaNGA.

Orbital decomposition of the nuclear regions in the early-type galaxy FCC 47: Unveiling the nuclear cluster origin

J. Lamprecht^{1,2,*}, A. Feldmeier-Krause², M. Lyubenova³, K. Fahrion², S. Thater², P. Jethwa², S. Reiter²,
J. Falcón-Barroso^{4,5}, T. I. Maindl^{2,6}, G. Santucci⁷, and I. Breda²

¹ Department of Theoretical Physics and Astrophysics, Masaryk University, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, Czech Republic

² Department of Astrophysics, University of Vienna, Türkenschanzstraße 17, 1180 Vienna, Austria

³ European Southern Observatory (ESO), Karl-Schwarzschild-Straße 2, 85748 Garching, Germany

⁴ Instituto de Astrofísica de Canarias, Vía Láctea s/n, E-38205 La Laguna, Tenerife, Spain

⁵ Departamento de Astrofísica, Universidad de La Laguna, E-38200 La Laguna, Tenerife, Spain

⁶ SDB Science-driven Business Ltd., Faneromenis Avenue 85, Ria Court 46, Suite 301, 6025 Larnaca, Cyprus

⁷ CSIRO Space & Astronomy, PO Box 1130, Bentley, Western Australia 6102, Australia

Received 14 November 2025 / Accepted 24 January 2026

Ядерные звёздные скопления и галактика FCC 47

Ядерные звёздные скопления (НЗС)

- Плотнейшие звёздные системы Вселенной; >70% галактик 10^8 – $10^{10} M_{\odot}$ имеют ЯЗС
- $R_{\text{eff}} = 3$ – 10 пк, $M = 10^5$ – $10^9 M_{\odot}$; часто сосуществуют со СМЧД
- Два канала формирования (Neumayer et al. 2020):
- In situ: аккреция газа, звездообразование → высокая металличность, сильное вращение
- Аккреция ШС: динамическое трение → случайные орбиты, металличность $\approx$ ШС
- Гибридный сценарий: оба процесса (Guillard et al. 2016)
- Орбитальные структуры НЗС сохраняют следы истории формирования

FCC 47 (NGC 1336)

Тип:	S0 (линзовидная)
D:	18.3 ± 0.6 Мпк (Fornax)
Наклон:	$47 \pm 4^\circ$
$M_{\star}$:	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^{10} M_{\odot}$
σ_{cen} :	106 ± 5 км/с
R_{eff} ЯЗС:	66.5 ± 11.1 пк
$M_{\text{ЯЗС}}$:	$7.3 \pm 1.2 \times 10^8 M_{\odot}$
$M_{\text{ЧД}}$:	$(4.4 + 1.2 / - 2.1) \times 10^7 M_{\odot}$

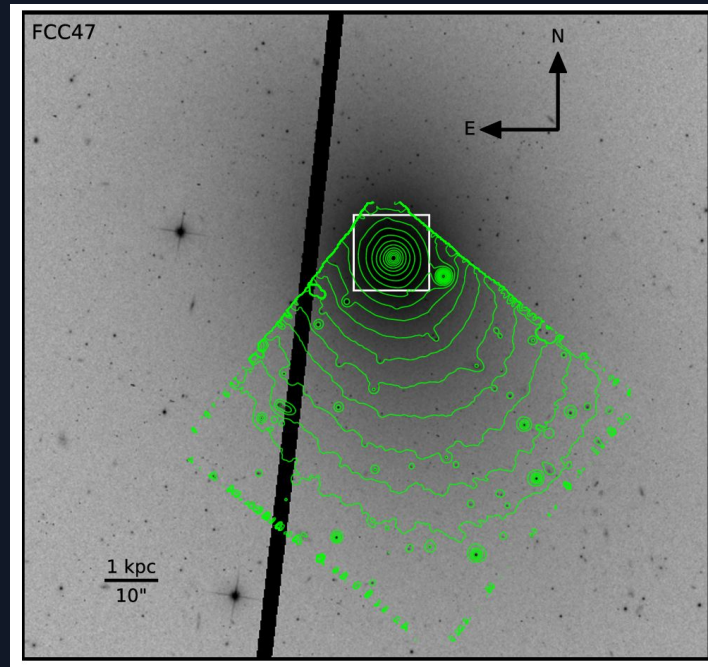


Рис. 9. Изображение FCC 47 (HST/ACS, F850LP) с контурами MUSE. Белым — вырезка $15'' \times 15''$ для кинематического анализа.

Кинематический анализ: метод Bayes-LOSVD

Наблюдательные данные

- VLT/MUSE (AO): $\lambda = 4650\text{--}9300 \text{ \AA}$, FWHM = $0.7'' \approx \text{Reff,H3C}$, поле $60'' \times 60''$ (60.A-9192)
- Вырезка $15'' \times 15''$ вокруг ядра; биннинг Вороного (S/N = 100) $\rightarrow$ 828 ячеек
- HST/ACS (F850LP, ACSFCS): разрешение $0.09''$; карта $M\star/L$ с переменным IMF $\rightarrow$ MGE-модель
- Диапазон подгонки: $4750\text{--}5450 \text{ \AA}$ (H β , Mg b, Fe) — свободен от загрязнения неба

Метод Bayes-LOSVD

- Байесовский непараметрический подход: ФРЛС задаётся набором весов на шаблонных спектрах без ограничений на форму
- Позволяет выявлять трёхпиковые ФРЛС в ядерных ячейках — недостижимо при параметрическом Гаусс-Эрмитовом разложении
- Библиотека MILES, PCA до 5 компонентов (99.5% дисперсии); регуляризация отключена для сохранения мелкомасштабной структуры

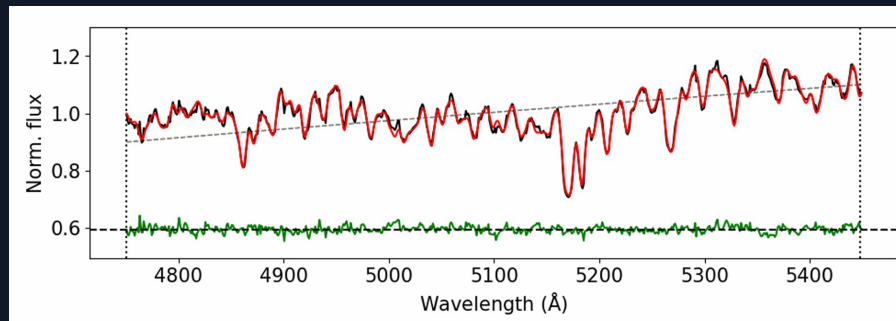


Рис. 10. Пример подгонки Bayes-LOSVD. Модельный спектр (красный) воспроизводит наблюдаемый с минимальными невязками.

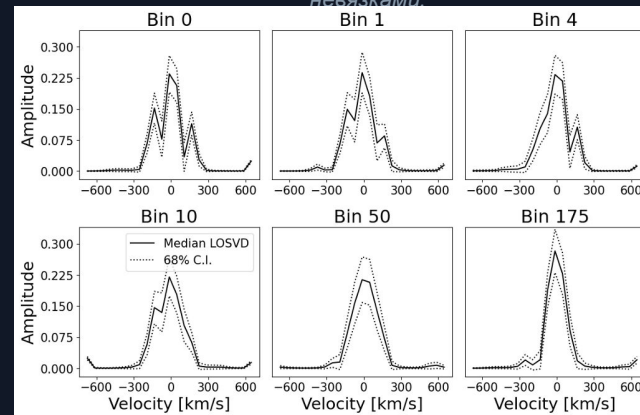


Рис. 11. ФРЛС в отдельных ячейках: одно-, двух- и трёхпиковые распределения (ячейки 0, 1, 4, 10 — ядро; 50, 175 — периферия).

Динамическая модель: DYNAMITE, триаксиальный Шварцшильд

Звёзды

MGE из HST с картой $M_{\star}/L$ (переменный IMF). M/L — свободный параметр.

Тёмное гало

NFW-профиль; abundance matching ($C = 6.4$, $M_{200}/M_{\star} = 1.8$). Параметры фиксированы.

СМЧД

Потенциал Пламмера ($M_{\text{чд}}$ — свободный параметр, $a = 10^{-3''}$).

Библиотека орбит

- $n_E \times n_{I_2} \times n_{I_3} = 35 \times 11 \times 11 = 4235$ комбинаций; с дизерингом (3^3) $\rightarrow$ 343 035 орбит
- Трубочатые (про- и ретроградные) + боксовые орбиты; $\log r_{\min} = -2.0''$, $\log r_{\max} = 2.2''$
- Интегрирование: 200 орбитальных периодов, 50 000 точек. Веса: NNLS-решатель
- Оценено 1481 модель; наилучшая: $\chi^2_r = 0.95$ (весь FOV)
- Результат: $M_{\text{чд}} = 6.2 (+2.6/-4.5) \times 10^7 M_{\odot}$ (согласуется с Thater et al. 2023)

Классификация орбит по λ_z

Cold (холодные):

$$\lambda_z > 0.8$$

Warm (тёплые):

$$0.25 < \lambda_z \leq 0.8$$

Hot (горячие):

$$|\lambda_z| \leq 0.25$$

CR (против-вращ.):

$$\lambda_z < -0.25$$

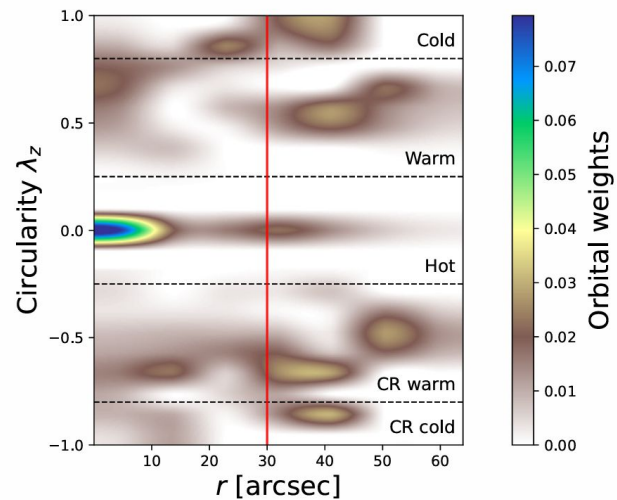
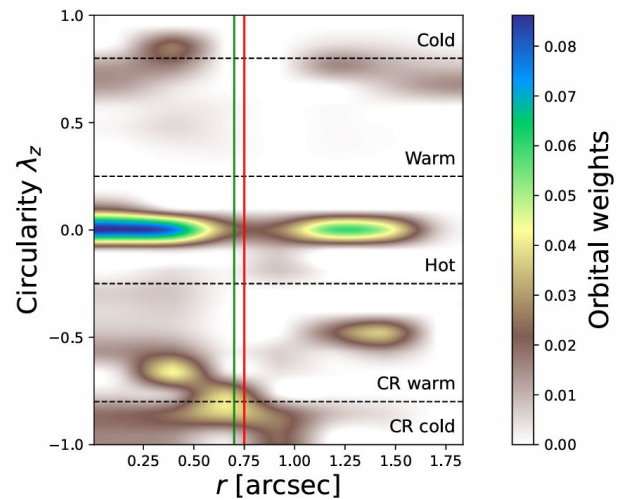


Рис. 12. Распределение орбит в плоскости r - λ_z .

Орбитальный состав НЗС в FCC 47

Доли светимости (поле $15'' \times 15''$)

Горячий (Hot) — 43%



$\sigma_{\text{max}} = 106 \text{ км/с}$, $v_{\text{max}} = 9 \text{ км/с}$

Тёплый диск (Warm disk) — 22%



$v_{\text{max}} = 56 \text{ км/с}$

ПВ тёплый (CR warm) — 22%



$v_{\text{max}} = 55 \text{ км/с}$, протяжённый

Холодный диск (Cold disk) — 8%



$v_{\text{max}} = 75 \text{ км/с}$, компактный

ПВ холодный (CR cold) — 5%



$v_{\text{max}} = 77 \text{ км/с}$, ядерный

Основные результаты

- Горячий компонент (43%) — дисперсионно-поддерживаемый; доминирует до $r \approx 15''$ ($\sim 0.5 \text{ Reff}$). Соответствует аккреции ШС (диссипационно-независимый канал)
- П-В холодный (5%) — концентрирован в ядре, высокий $|\lambda z|$; компактный $\rightarrow$ in situ формирование из газа с обратным угловым моментом
- П-В тёплый (22%) — протяжённый, слабее вращается $\rightarrow$ нагретые или мигрировавшие звёзды
- Трёхпиковые ФРПС в центральных ячейках $\rightarrow$ три кинематически различные подструктуры ЯЗС

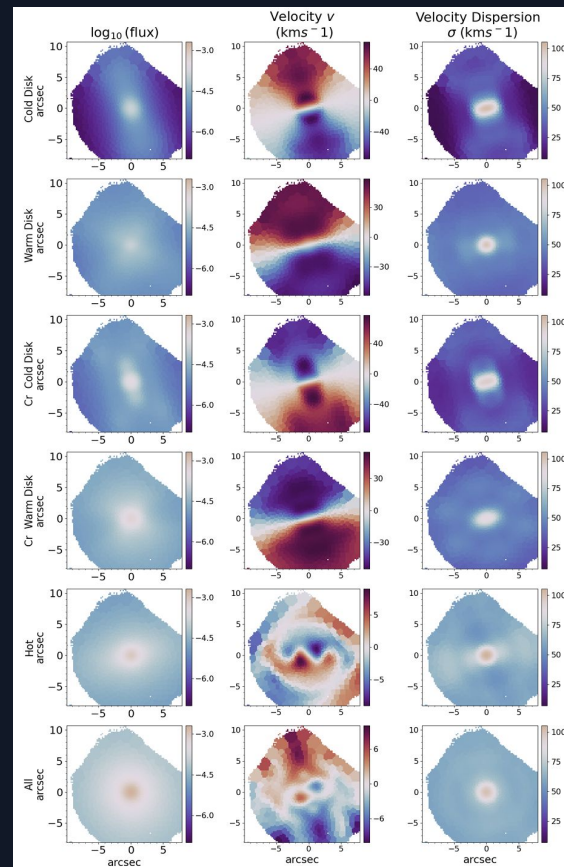


Рис. 13.
Орбитальная
декомпозиция:
поля яркости,
 v , σ для
каждого
компонента.

Связь орбитального состава и звёздных населений FCC 47

Звёздные населения FCC 47 (Fahrion et al. 2019)

Галактика стара (>8 Гyr). НЗС: возраст ~ 13 Гyr, суперсолнечная металличность (67% массы) + вторичная металло-бедная составляющая; $M_{\star}/L_g \sim 5.3$. Металло-богатая и металло-бедная компоненты не имеют существенно различных историй звездообразования — если НЗС формировался *in situ*, то ранняя и кратковременная.

ПВ холодный диск (CR cold, $\sim 5\%$)

Концентрирован в ядре; высокий L_z — диссипативное происхождение. Возможно: *in situ* из аккрецированного газа, либо звёздные скопления, динамически осевшие в дисковую конфигурацию. Отсутствие различных SFH не исключает ранний, кратковременный эпизод.

ПВ тёплый диск (CR warm, $\sim 22\%$)

Протяжённый, ниже вращение — вероятно нагретые или мигрировавшие звёзды. Вклад ~ 8 Гyr-старых звёзд в дисковой области (Fahrion 2019) согласуется с динамическими процессами перераспределения уже сложившегося населения.

Горячий (Hot, $\sim 43\%$)

Дисперсионно-поддерживаемый, случайные орбиты — аккреция ШС. Масса ШС-системы FCC 47: $\sim 1.2 \times 10^8 M_{\odot} \approx 17\% M_{\text{ЯЗС}}$, металличность ШС ≈ -1.5 дексс, тогда как ЯЗС — суперсолнечная. Масса и металличность несовместимы с ШС как единственным каналом $\rightarrow$ требуется дополнительный (ранняя богатая аккреция).

Совокупность результатов поддерживает гибридный сценарий формирования НЗС: диссипативное (*in situ* / аккреция газа) + диссипационно-независимое (аккреция ШС).

Сравнение подходов и общие выводы

Характеристика	Гораджанов и др.	Lamprecht et al. 2026
Программный код	FORSTAND / AGAMA	DYNAMITE v4.3
Приближение	Осесимметричное	Триаксиальное
Кинематический ввод	Гаусс-Эрмит (NBursts)	Непараметрич. Bayes-LOSVD
Объект / масштаб	Галактики целиком (кпк)	H3C в ранней галактике (пк)
Число компонентов	3 (сфероид + 2 диска)	5 (cold/warm/hot/CR cold/CR warm)

Метод Шварцшильда

Универсальный инструмент для орбитальной декомпозиции галактик — от масштабов целых галактик (кпк) до ядерных структур (пк). Обе работы демонстрируют его применимость в принципиально разных режимах.

Непараметрическая кинематика

Bayes-LOSVD выявляет трёхпиковые ФРЛС и кинематические подструктуры, недоступные при параметрическом подходе. Использование параметрических ФРЛС систематически завышает дисперсию скоростей и $M_{\star}/L$.

Противовращающиеся компоненты

Во всех рассмотренных системах присутствуют противовращающиеся составляющие. Внешние процессы — аккреция газа и слияния — играют ключевую роль в формировании сложной орбитальной структуры галактик.