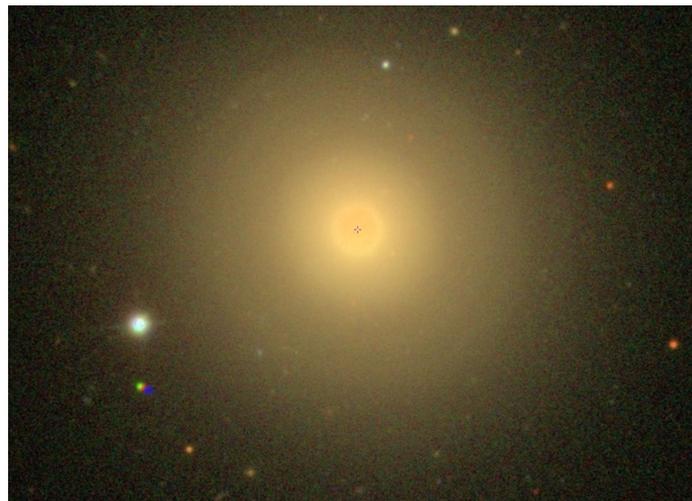


Динамическое
моделирование галактик
с рассогласованной
кинематикой

Гораджанов В.С.

Выборка галактик

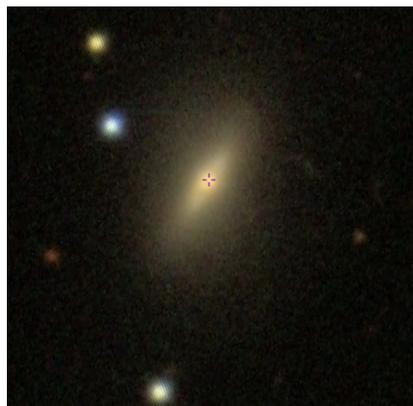
NGC 524 (SAURON + DESI z)



LEDA 2220522 (MaNGA + DESI z)



PGC 21856 (MaNGA + DESI z)

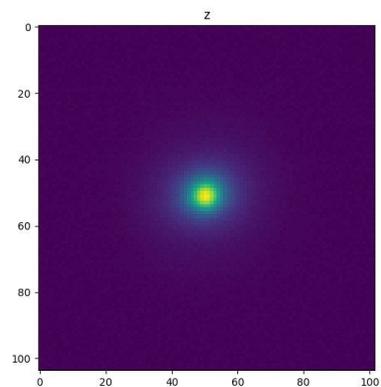


PGC 35706 (MaNGA + DESI z)

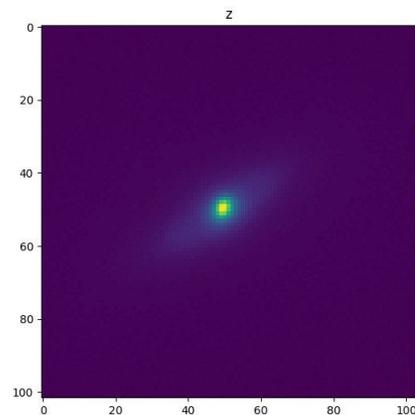


Фотометрия: MGE-разложение

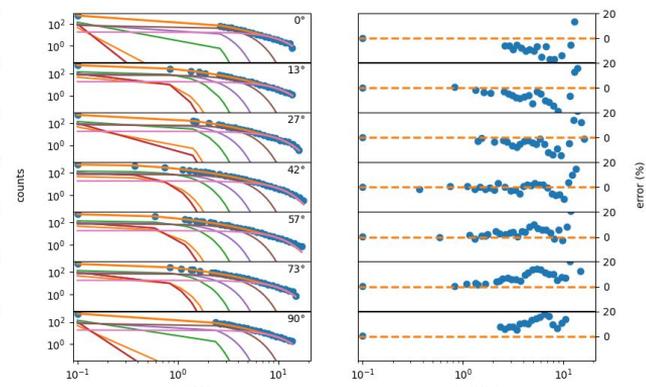
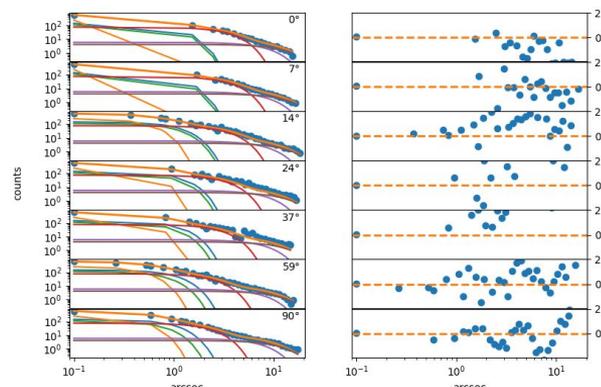
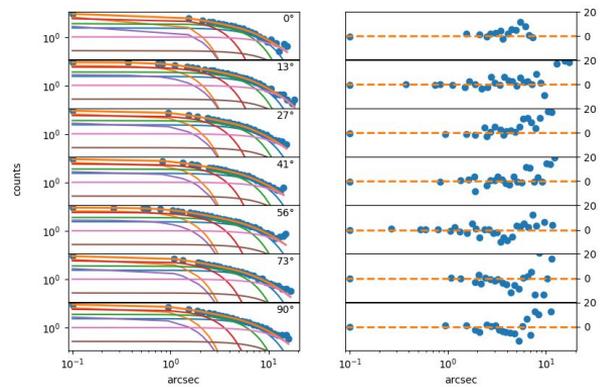
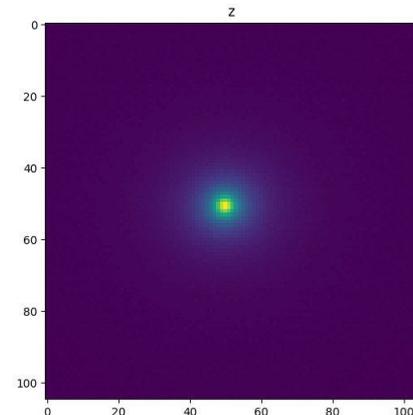
LEDA 2220522



PGC 21856



PGC 35706



Первая итерация: джинсовское моделирование JAM

LEDA 2220522

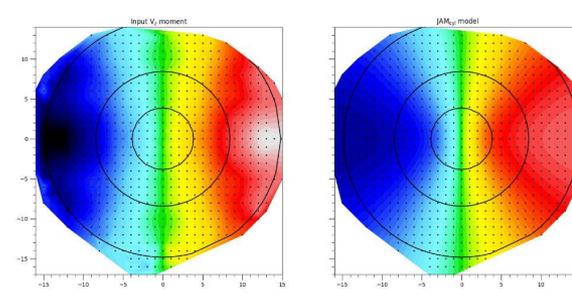
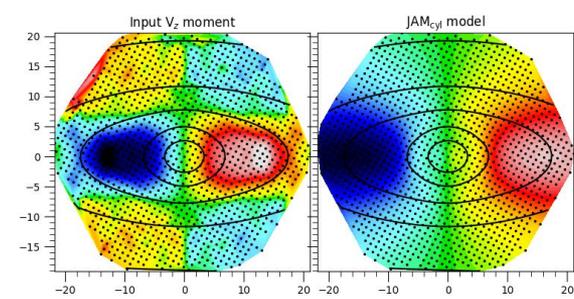
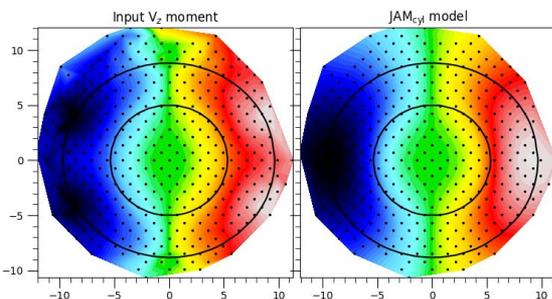
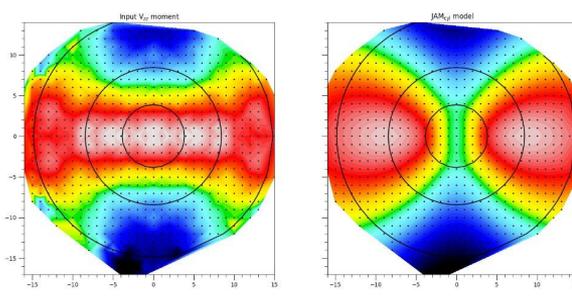
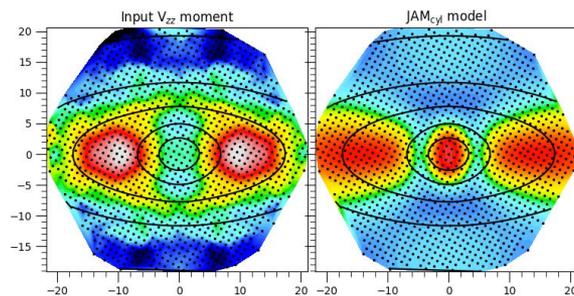
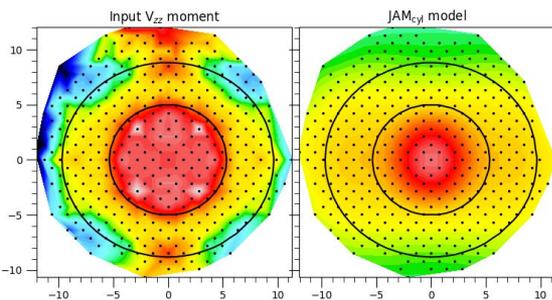
inc=27.0; beta[0]=0.40;
kappa=1.00; M/L=2.24;
BH=2.2e+08; chi2/DOF=9.86
Total mass MGE (MSun):
4.907e+10

PGC 21856

i=70.0; beta[0]=0.40; kappa
= 1.00; M/L=6.97;
BH=7.0e+08; chi2/DOF=7.46
Total mass MGE (MSun):
2.267e+11

PGC 35706

inc=40.0; beta[0]=-5.0;
kappa=1.00; M/L=5.06;
BH=5.1e+08; chi2/DOF=1.99
Total mass MGE (MSun):
3.644e+11



Вторая итерация - моделирование методом Шварцшильда

Идея метода (орбитальное восстановление):

- рассматриваем галактику, которая имеет заданное трехмерное распределение плотности $\rho(x)$.
- делим пространство, занимаемое галактикой, на K ячеек, так что масса в j -й ячейке объема V_j равна $m_j = \rho(x_j) V_j$
- рассчитываем гравитационный потенциал галактики и интегрируем большое количество N орбит в этом потенциале в течение времени t , намного большего, чем время пересечения. И отмечаем долю p_{ij} времени t , которое i -я орбита проводит в j -й ячейке
- набор таких орбит называется **библиотекой орбит**
- на каждой орбите находится большое количество звезд, равномерно распределенных по орбитальной фазе, и что общая масса звезд на орбите i составляет $w_i M$, где w_i - вес, который нужно определить, а M - общая масса галактики

Вторая итерация - моделирование методом Шварцшильда

Идея метода (орбитальное восстановление):

- масса в j -й ячейке будет равна $M \sum w_i p_{ij}$
- такая схема будет представлять собой действительную динамическую модель устойчивого состояния данной галактики при условии выбора весов:

$$0 = \Delta_j \equiv m_j - M \sum_{i=1}^N w_i p_{ij}$$

- это набор K линейных уравнений для N неизвестных весов w_i . Условие $\sum_j m_j = M$ подразумевает, что $\sum_i w_i = 1$. Все веса неотрицательны
- не выгодно ставить N равным K и решать эти уравнения стандартными методами линейной алгебры, так как полученный вектор решения \mathbf{w} почти наверняка будет содержать отрицательные компоненты. Путь вперед состоит в том, чтобы взять $N \gg K$ - гораздо больше орбит, чем пространственных ячеек

Вторая итерация - моделирование методом Шварцшильда

Идея метода (орбитальное восстановление):

- неотрицательное решение $w_i \geq 0$ будет существовать, если это подпространство размерности $N-K$ проходит через область, в которой все координаты положительны. Решений может не быть, а может быть решений слишком много
- чтобы выбрать одно решение вводят объективную функцию $\phi(w)$. Самый простой способ её поиска состоит в том, что эта функция линейна, $\phi(w) = \sum_i \phi_i w_i$
- распределения плотности отдельных орбит имеют на своих краях сингулярности с квадратным корнем. Следовательно, вклад p_{ij} орбиты в данную ячейку сильно зависит от того, лежит ли эта ячейка внутри или вне орбиты. В результате модели получаются шумными и чувствительными к выбору сетки и библиотеки орбит

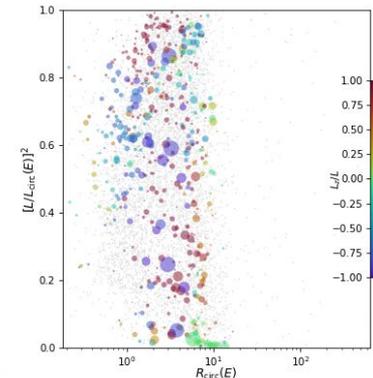
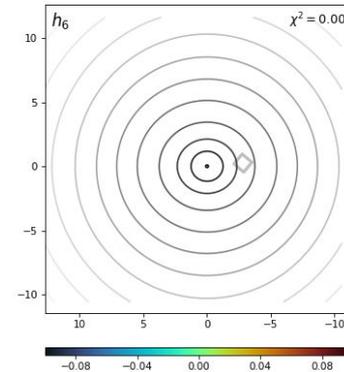
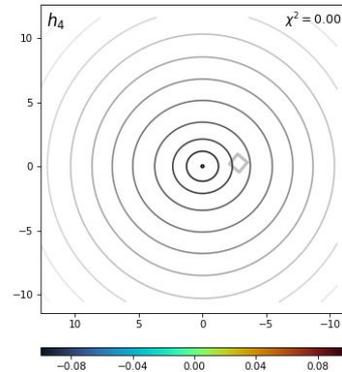
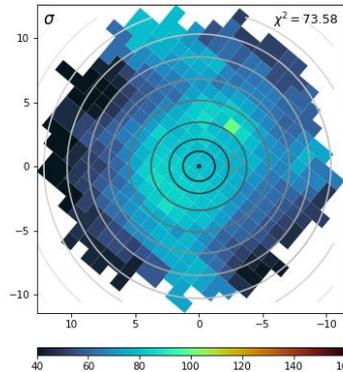
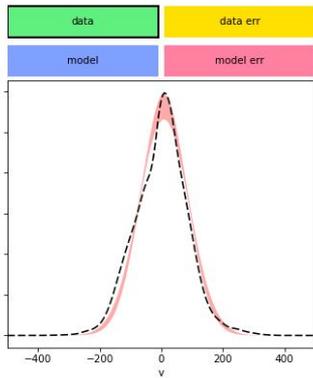
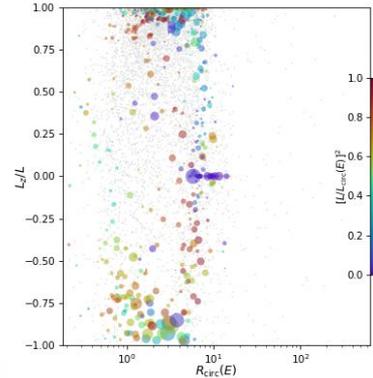
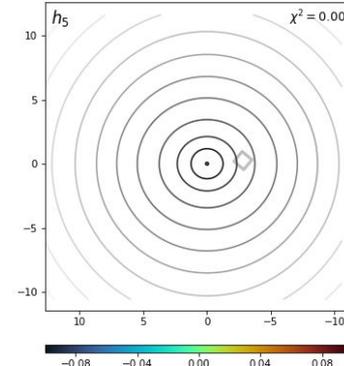
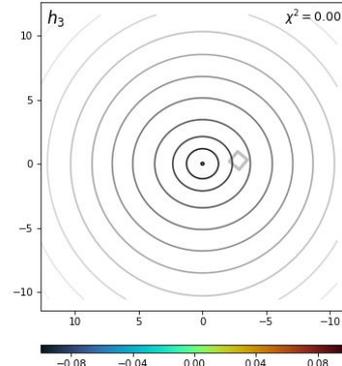
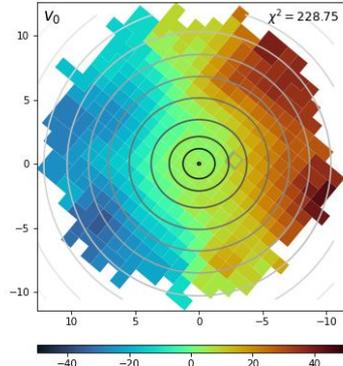
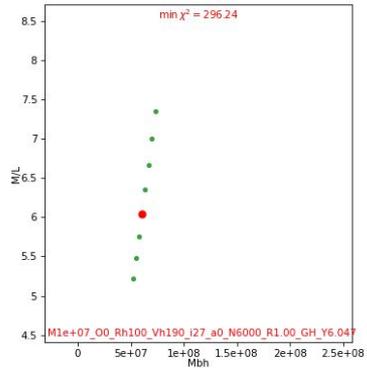
Вторая итерация - моделирование методом Шварцшильда

Идея метода (орбитальное восстановление):

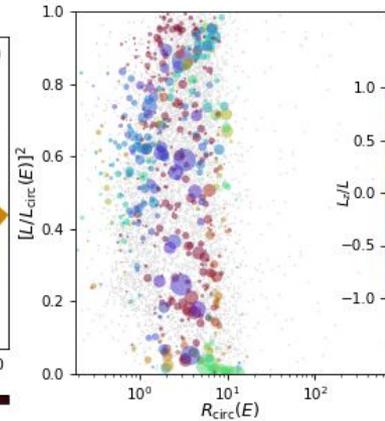
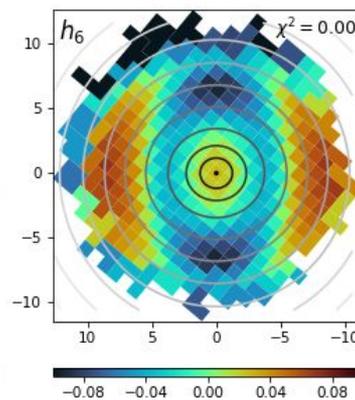
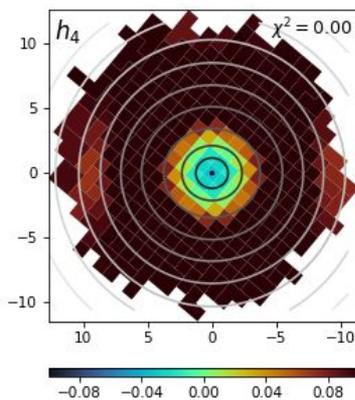
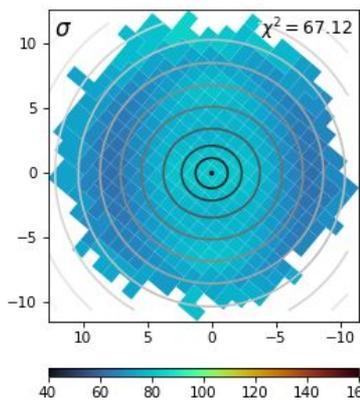
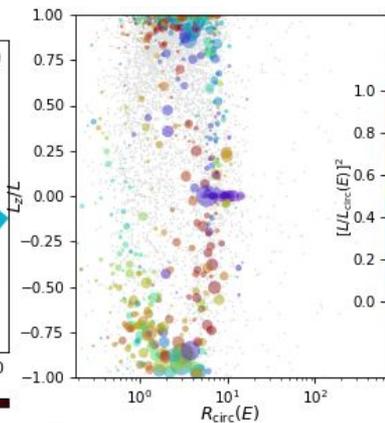
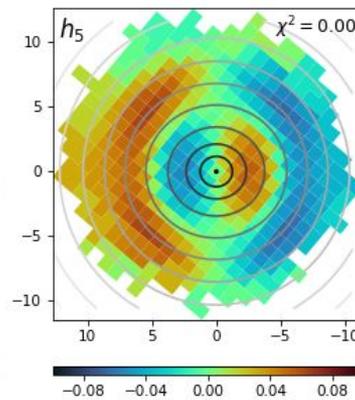
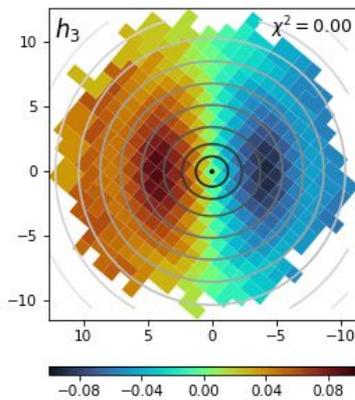
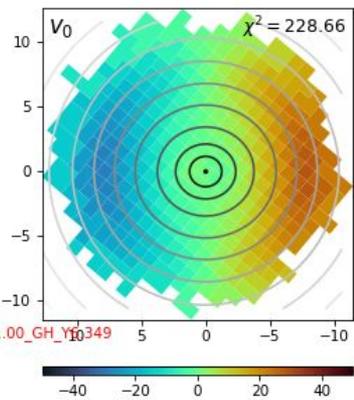
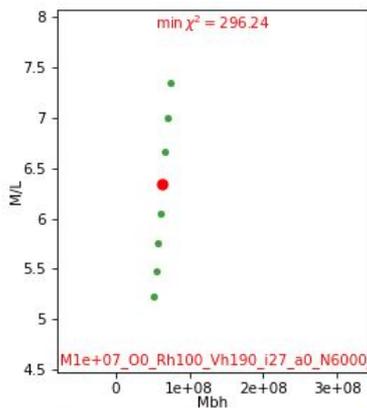
- Если библиотека орбит неадекватна, не будет решения уравнений ограничений с неотрицательными весами. Во-вторых, мы часто хотим исследовать весь диапазон моделей галактик, которые согласуются с наблюдениями, поскольку это позволяет нам назначить доверительные интервалы для производных величин, таких как отношение массы к свету. На практике для создания высококачественной библиотеки необходимо использовать интуицию и опыт
- LOSVD в данной точке является линейной функцией веса орбиты w_i , поэтому χ^2 , описывающая разницу между наблюдаемым и модельным LOSVD, является квадратичной функцией w_i . Следовательно, мы можем минимизировать χ^2 , максимизируя объективную функцию $\phi(w) = -\chi^2$ с помощью квадратичного программирования

Результаты моделирования при помощи AGAMA

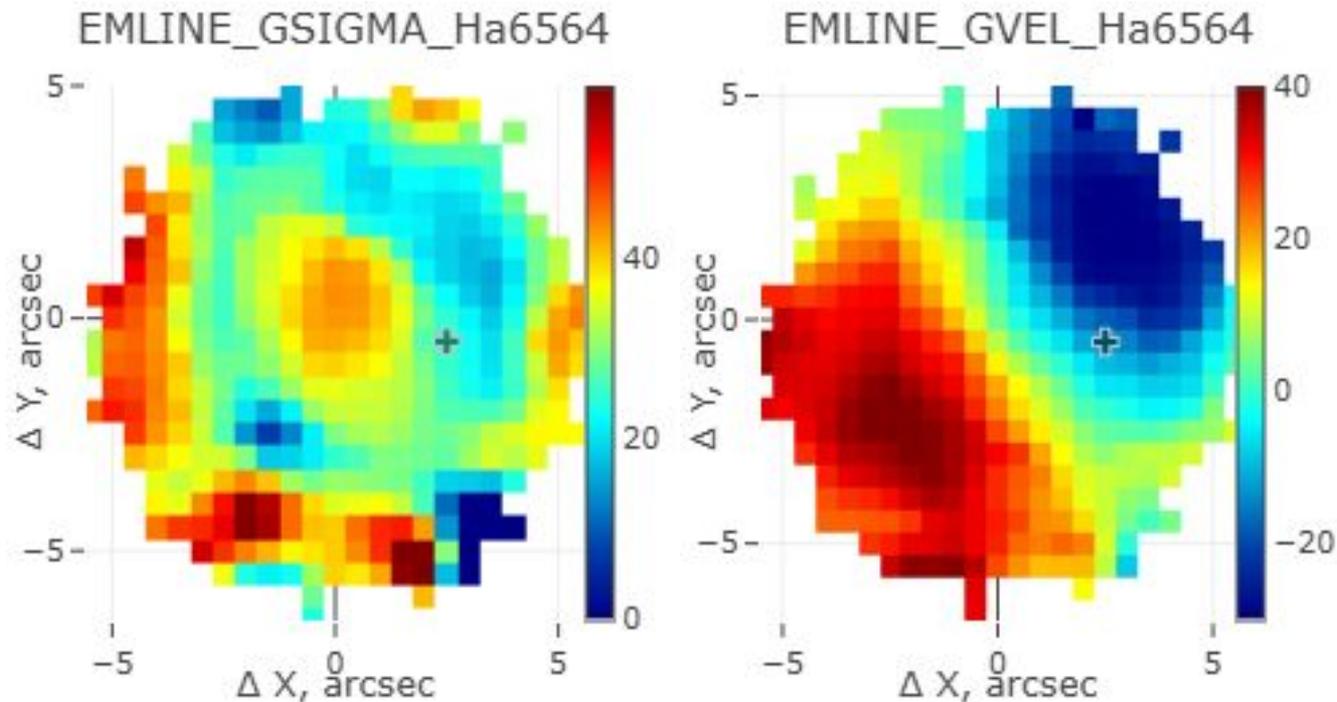
LEDA 2220522 - data



LEDA 2220522 - model

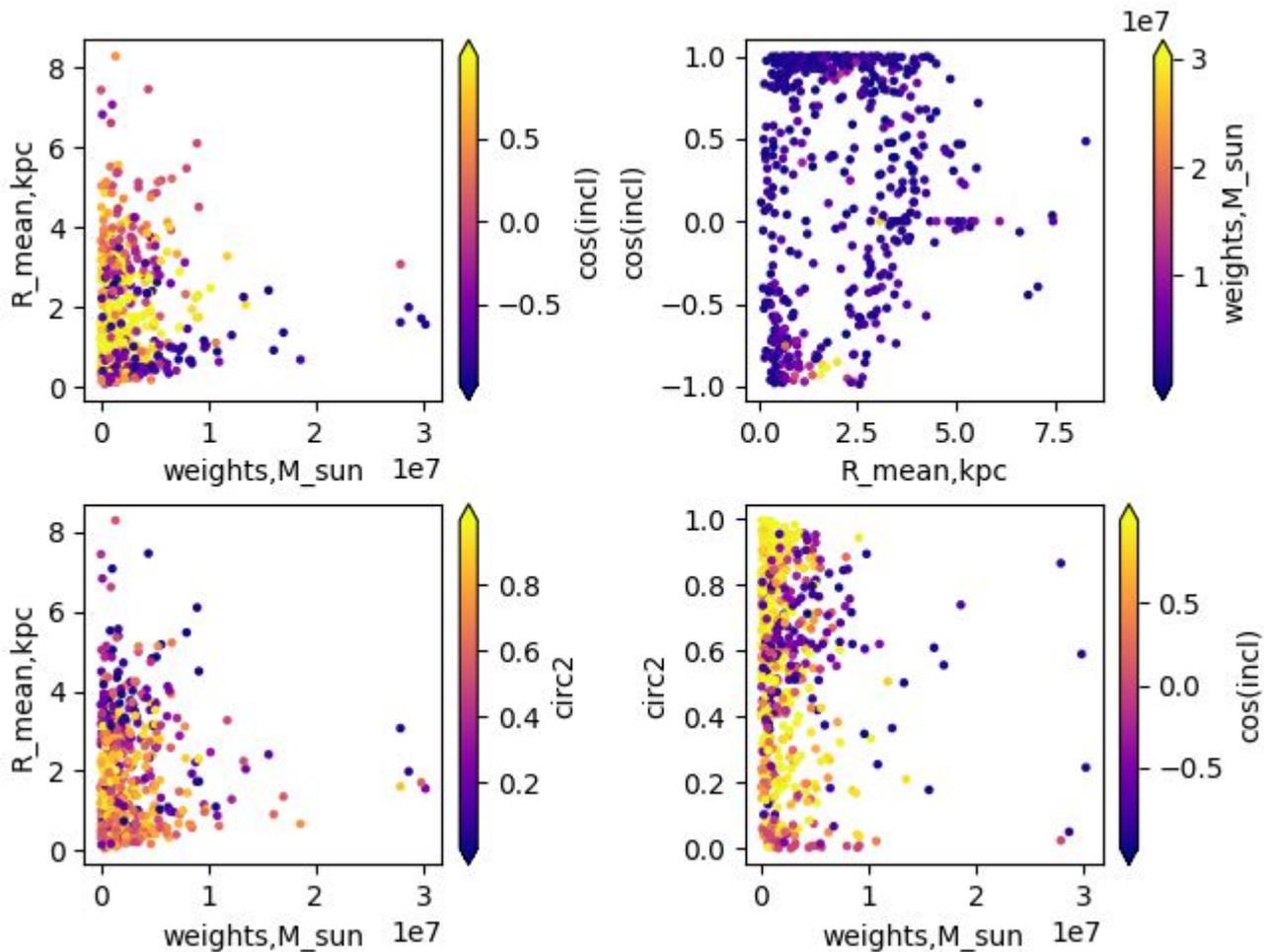


Дополнительно: кинематика газа
(<https://manga.voxastro.org/>)

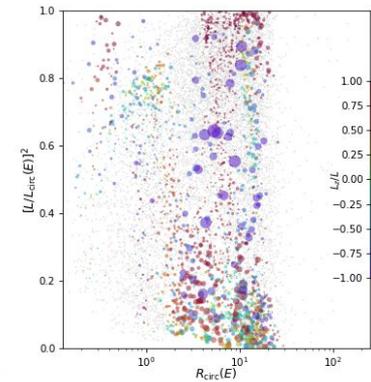
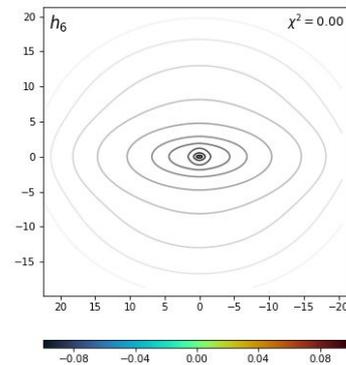
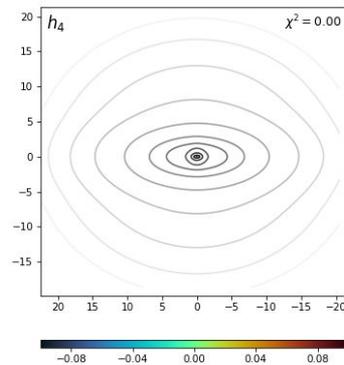
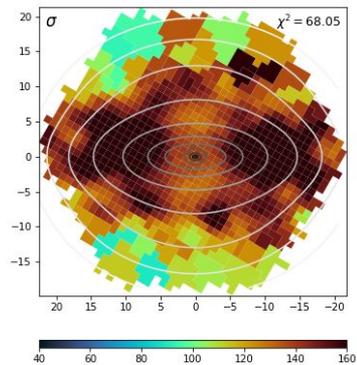
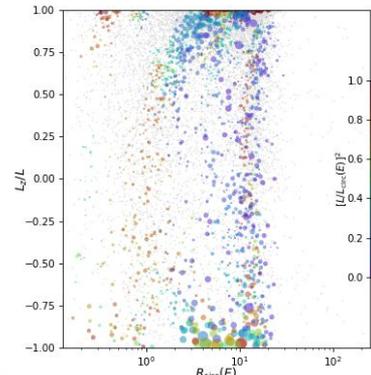
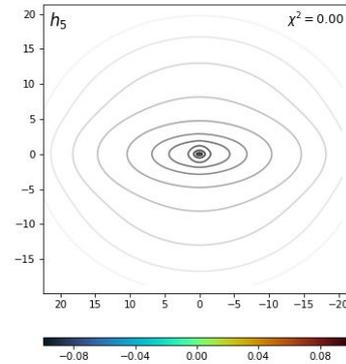
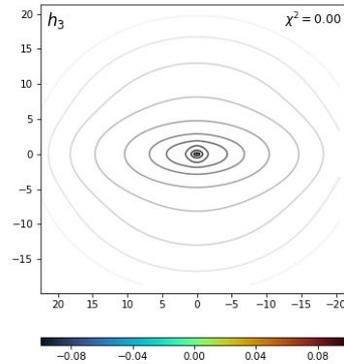
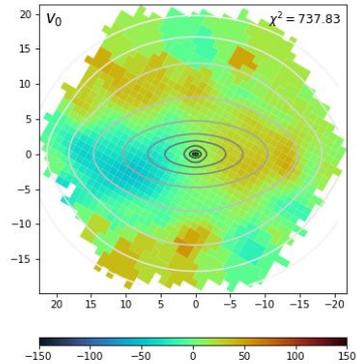
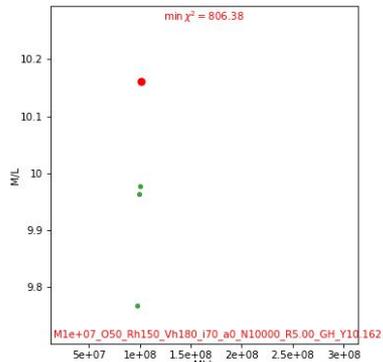


LEDA 2220522

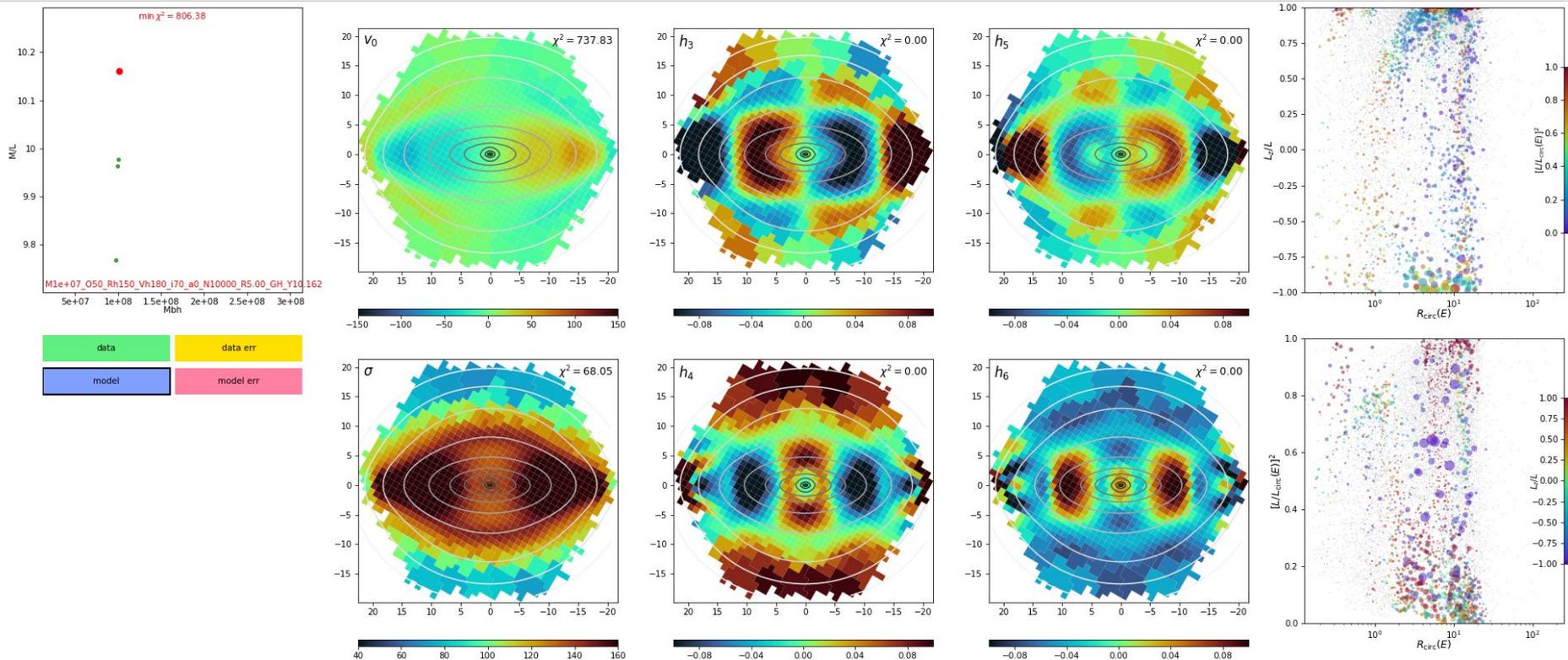
LEDA 2220522



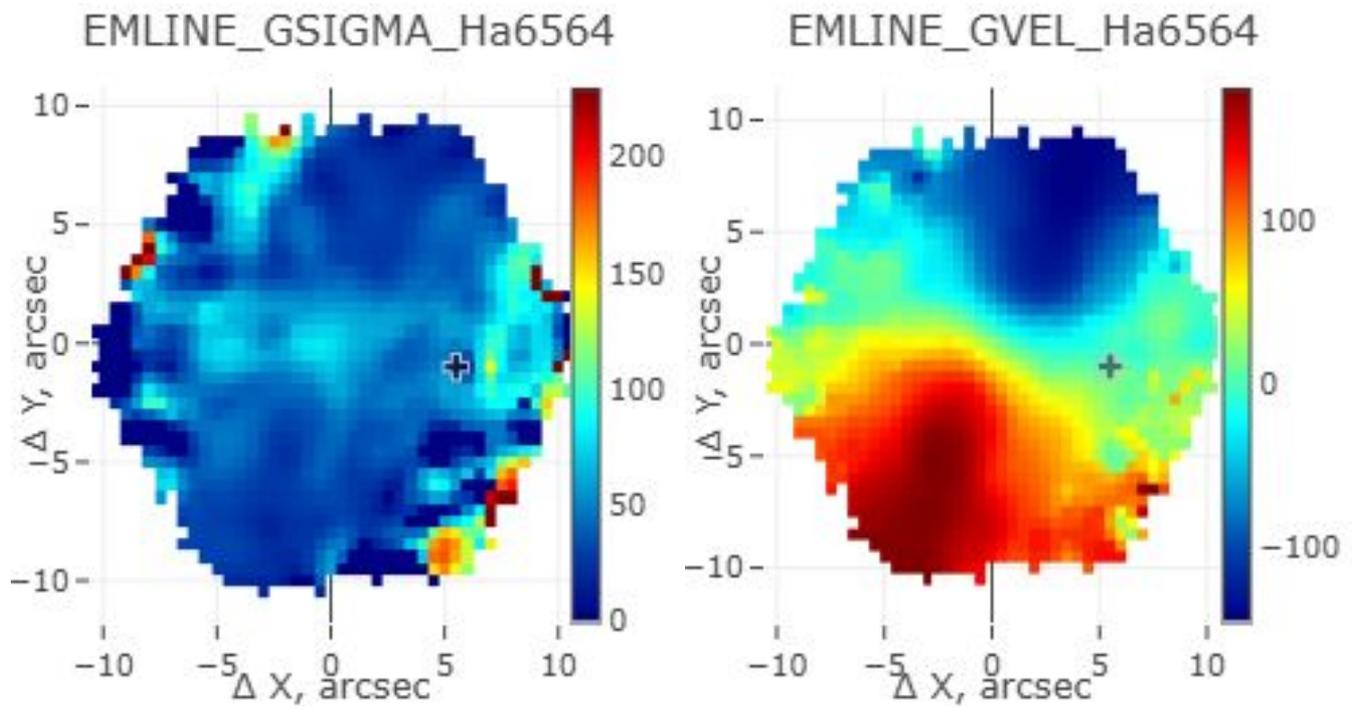
PGC 21856 - data



PGC 21856 - model

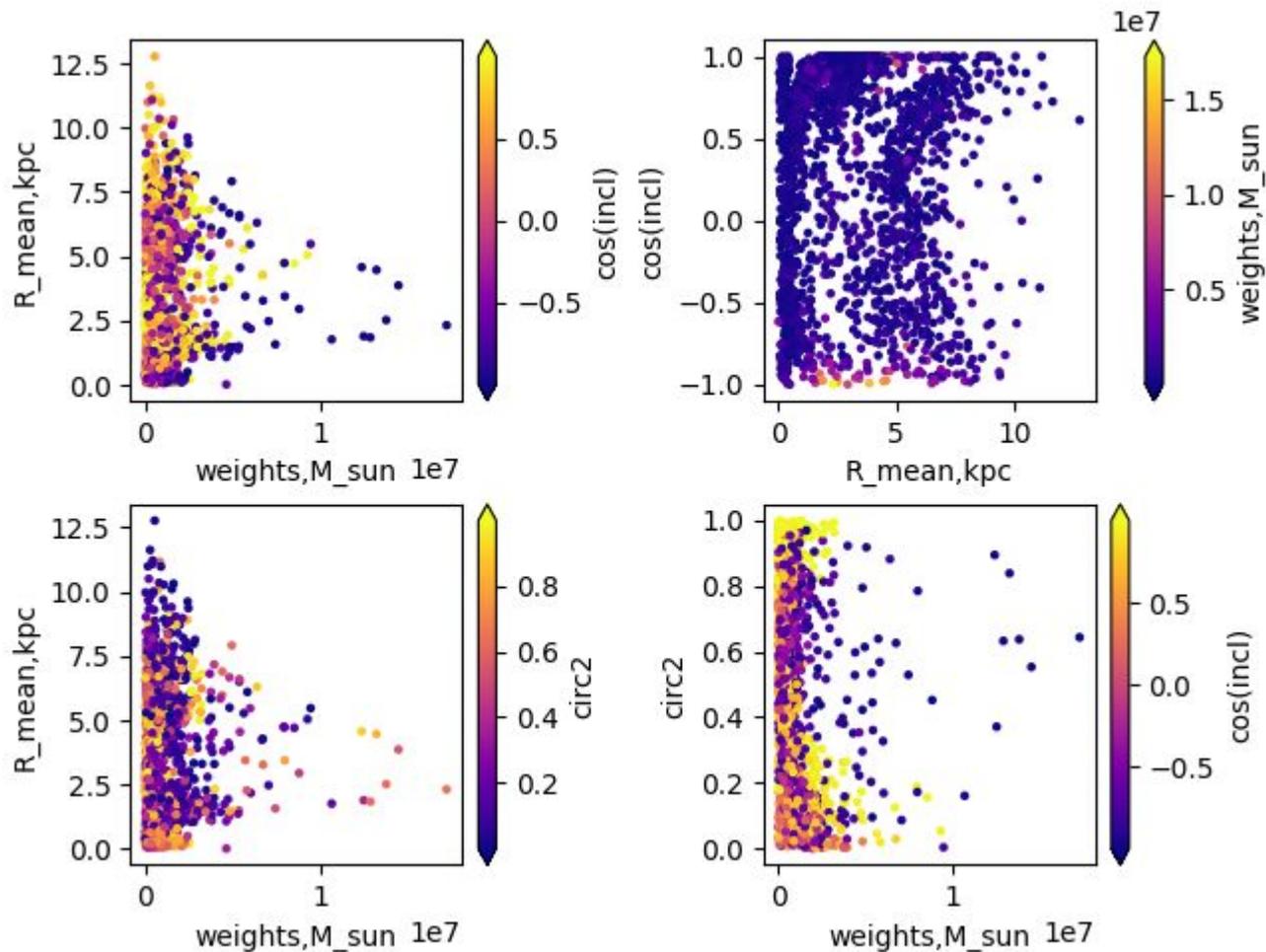


Дополнительно: кинематика газа
(<https://manga.voxastro.org/>)

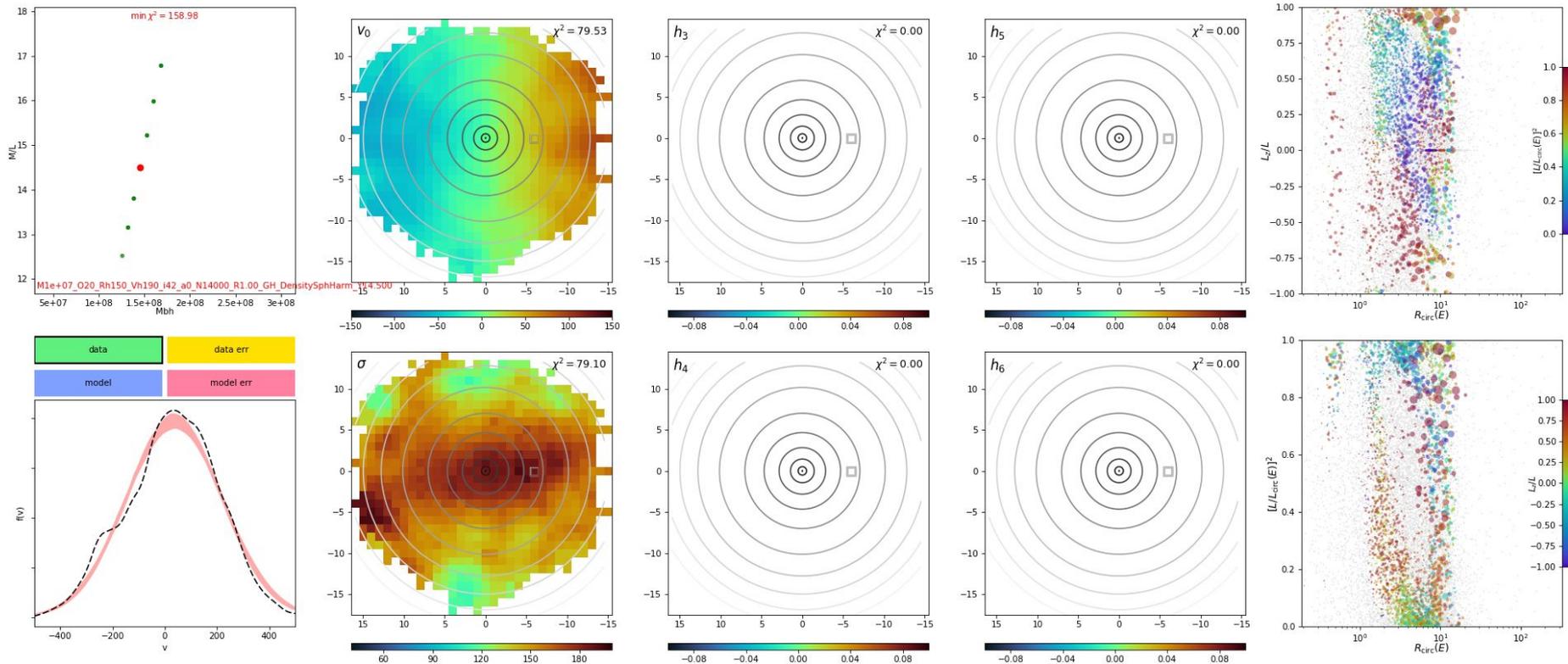


PGC 21856

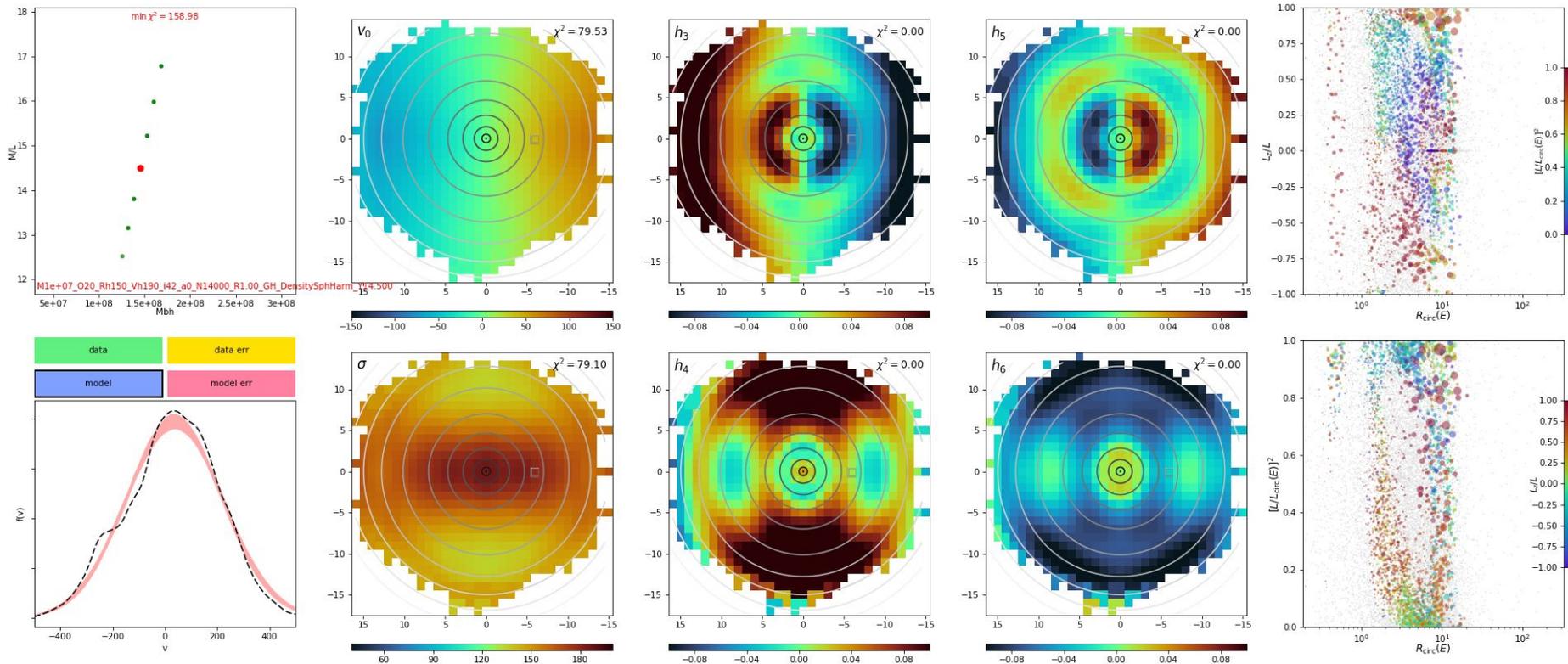
PGC 21856



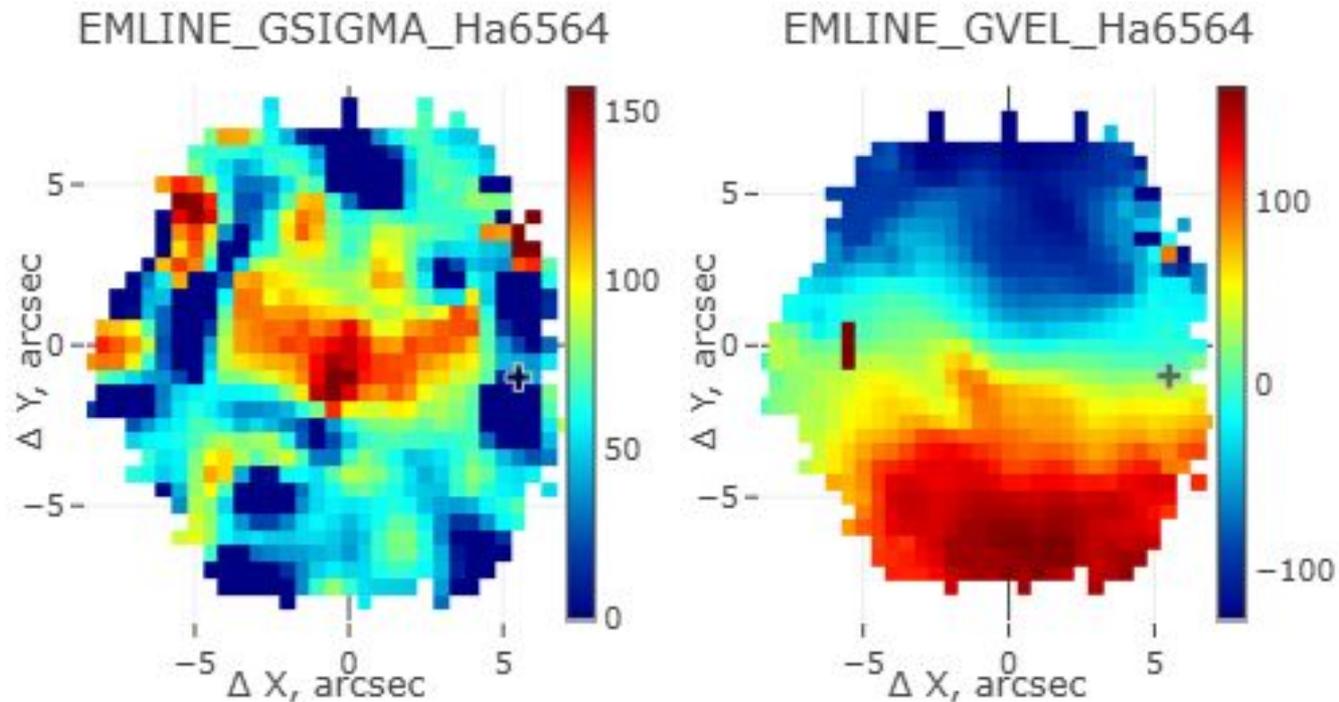
PGC 35706 - data



PGC 35706 - model

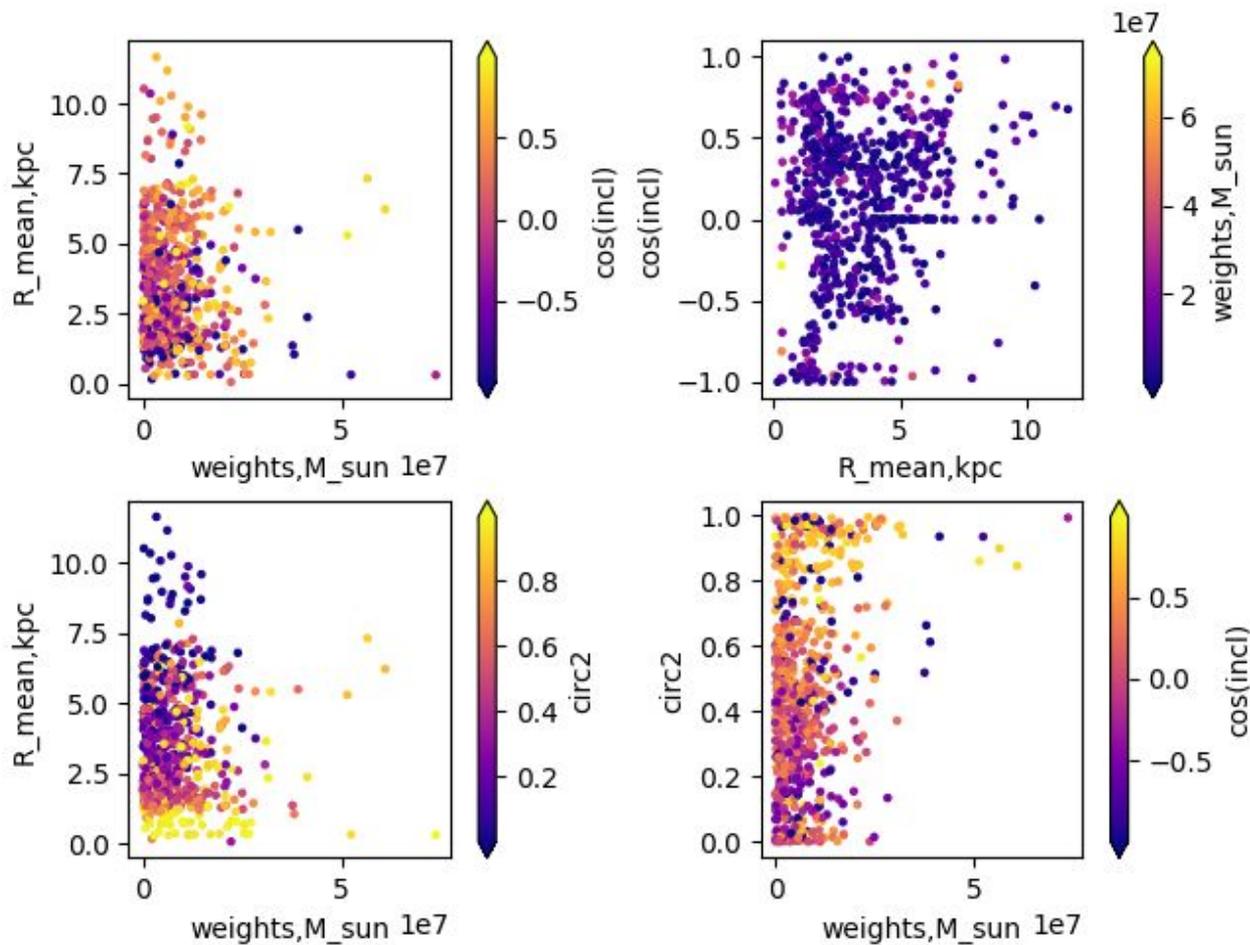


Дополнительно: кинематика газа
(<https://manga.voxastro.org/>)



PGC 35706

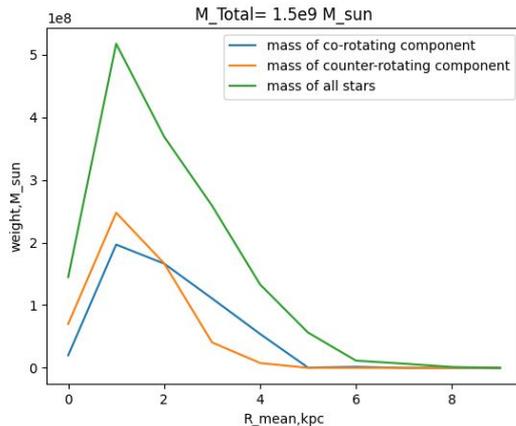
PGC 35706



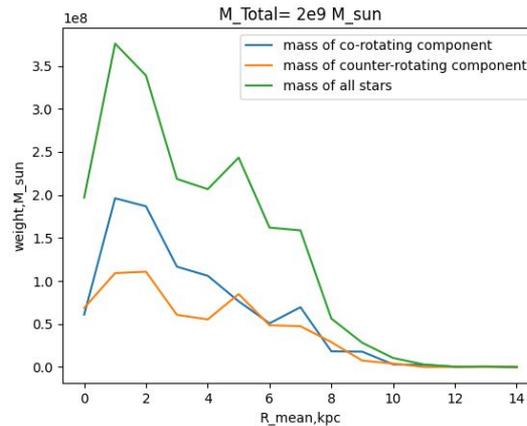
Видно, что:

- Восстановление орбит методом Шварцшильда лучше описывает динамику дисков с рассогласованной кинематикой
- Во всех галактиках наблюдается значительное число орбит с противовращением или вовсе в иных плоскостях

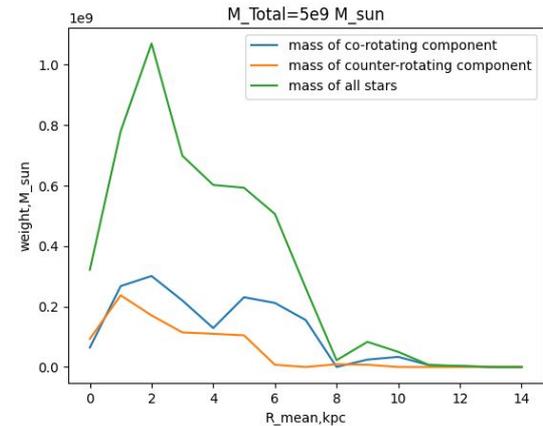
LEDA 2220522



PGC 21856



PGC 35706



Uncovering the formation of the counter-rotating stellar discs in SDSS J074834.64+444117.8

Min Bao ,^{1,2,3} Yanmei Chen ,^{1,2,3}★ Meng Yang ,⁴★ Ling Zhu ,⁴ Yong Shi ^{1,2,3} and Qiusheng Gu ^{1,2,3}

¹*School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China*

²*Key Laboratory of Modern Astronomy and Astrophysics (Nanjing University), Ministry of Education, Nanjing 210023, China*

³*Collaborative Innovation Center of Modern Astronomy and Space Exploration, Nanjing 210023, China*

⁴*Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, 80 Nandan Road, Shanghai 200030, China*

Accepted 2024 January 19. Received 2024 January 4; in original form 2023 September 25

ABSTRACT

Using the integral field spectroscopic data from Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory survey, we study the kinematics and stellar population properties of the two counter-rotating stellar discs in a nearby galaxy SDSS J074834.64+444117.8. We disentangle the two stellar discs by three methods, including Ca II $\lambda 8542$ double Gaussian fit, penalized pixel fitting (pPXF) spectral decomposition, and orbit-based dynamical model. These three different methods give consistent stellar kinematics. The pPXF spectral decomposition provides the spectra of two stellar discs, with one being more luminous across the whole galaxy named primary disc, and the other named secondary disc. The primary disc is counter-rotating with ionized gas, while the secondary disc is co-rotating with ionized gas. The secondary disc has younger stellar population and poorer stellar metallicity than the primary disc. We estimate the stellar mass ratio between the primary and secondary discs to be ~ 5.2 . The DESI g, r, z colour image does not show any merger remnant feature in this galaxy. These findings support a scenario that the counter-rotating stellar discs in SDSS J074834.64+444117.8 formed through gas accretion from the cosmic web or a gas-rich companion.

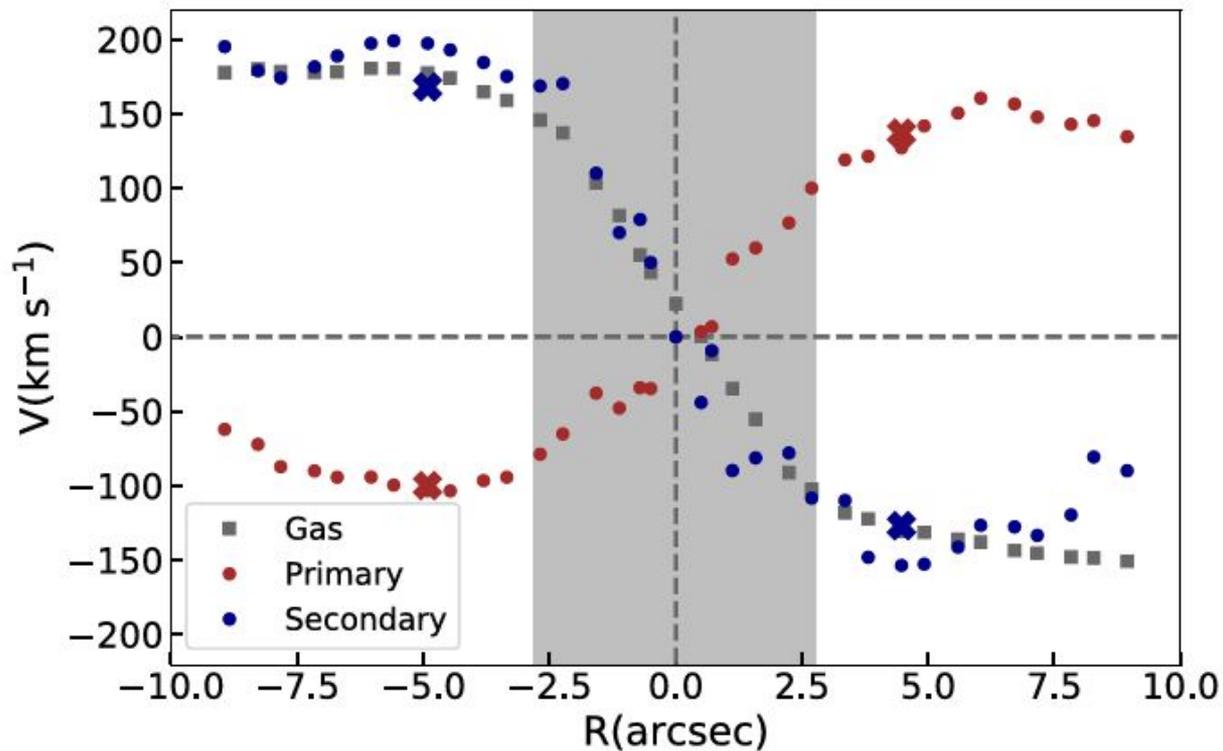


Figure 5. Line-of-sight velocities as functions of radii along the major axis. The circles represent the velocities from the pPXF spectral decomposition, with primary and secondary discs in red and blue. The red (primary disc) and blue (secondary disc) crosses represent the velocities from double Gaussian fit on $\text{Ca II } \lambda 8542$. The grey squares represent the gas velocity traced by $\text{H}\alpha$ emission from the MaNGA DAP file.

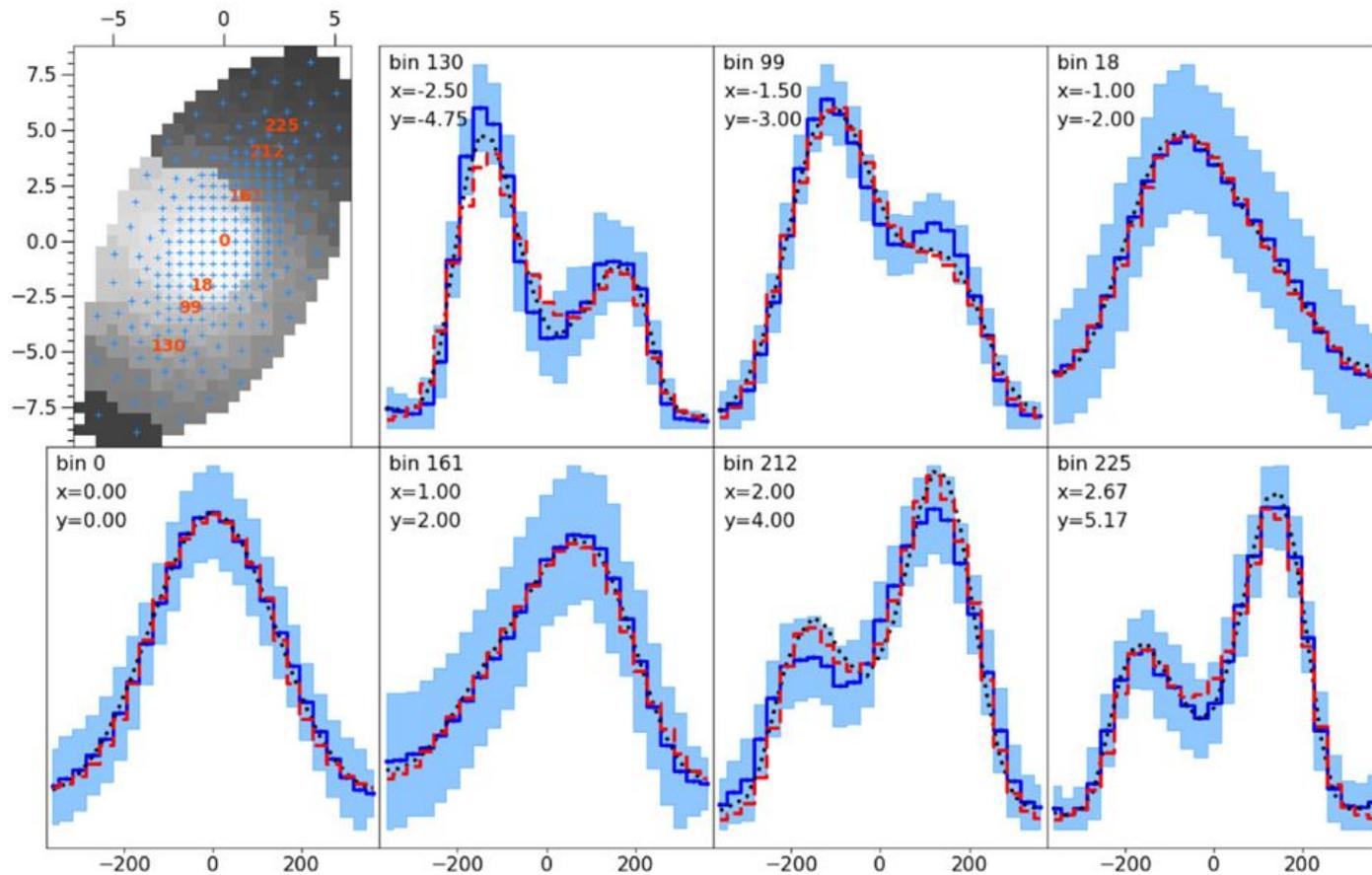


Figure 7. Fitting LOSVD along the major axis in orbit-based dynamical model. First panel: the binning map showing the ids and positions (in arcsec) of all the bins shown in the following panels. Other panels: the blue solid line and shadow are the LOSVD and $\pm 1\sigma$ error obtained with BAYES-LOSVD, the red dashed line are the best-fitting model, and the black dotted line are the symmetrized data for comparison because the model is axis-symmetric.

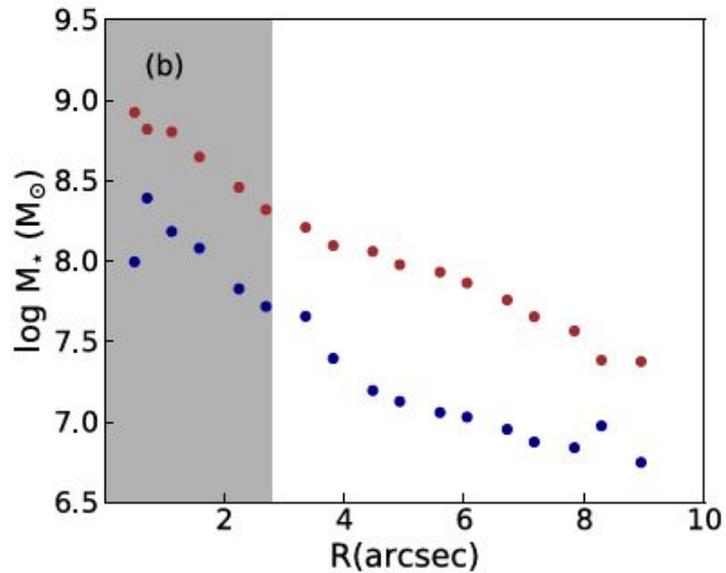
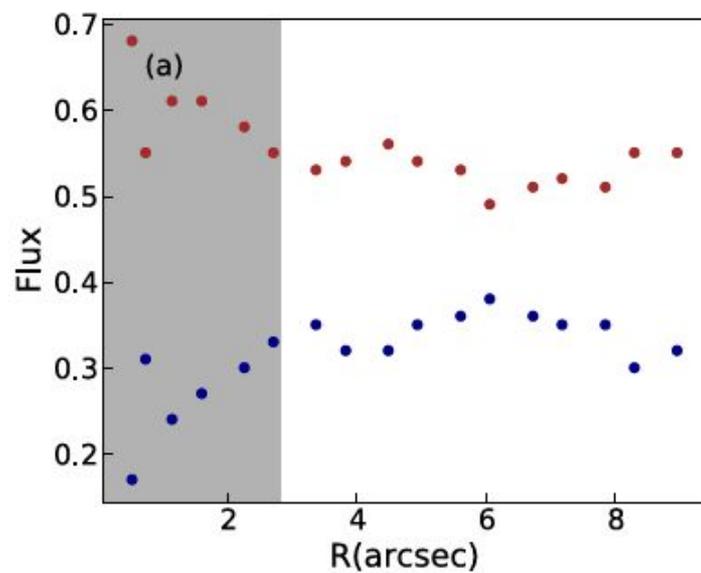


Figure 10. Contributions of two stellar discs along the major axis. (a) and (b) The circles show the fluxes and stellar masses as functions of radii, with the primary and secondary discs in red and blue.

No evidence for excess AGN activity in recently quenched massive galaxies at cosmic noon

Omar Almaini¹*, Vivienne Wild², David Maltby¹, Elizabeth Taylor¹, Kate Rowlands^{3,4}, Thomas de Lisle¹, Katherine Alatalo^{5,3}, Jimi Harrold¹, Guillaume Hewitt¹, Pallavi Patil³, Maya Skarbinski³

¹ School of Physics and Astronomy, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, U.K.

² School of Physics and Astronomy, University of St Andrews, North Haugh, St Andrews, KY16 9SS, U.K.

³ William H. Miller III Department of Physics and Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21218, USA

⁴ AURA for ESA, Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Dr., Baltimore, MD 21218, USA

⁵ Space Telescope Science Institute, 3700 San Martin Dr., Baltimore, MD 21218, USA

Accepted XXX. Received YYY; in original form ZZZ

ABSTRACT

We present an analysis of AGN activity within recently quenched massive galaxies at cosmic noon ($z \sim 2$), using deep *Chandra* X-ray observations of the Ultra-Deep Survey (UDS) field. Our sample includes over 4000 massive galaxies ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$) in the redshift range $1 < z < 3$, including more than 200 transitional post-starburst (PSB) systems. We find that X-ray emitting AGN are detected in $6.2 \pm 1.5\%$ of massive PSBs at these redshifts, a detection rate that lies between those of star-forming and passive galaxies ($8.2 \pm 0.5\%$ and $5.7 \pm 0.8\%$, respectively). A stacking analysis shows that the average X-ray luminosity for PSBs is comparable to older passive galaxies, but a factor of 2.6 ± 0.3 below star-forming galaxies of similar redshift and stellar mass. The average X-ray luminosity in all populations appears to trace the star-formation rate, with PSBs showing low levels of AGN activity consistent with their reduced levels of star formation. We conclude that, on average, we see no evidence for excess AGN activity in the post-starburst phase. However, the low levels of AGN activity can be reconciled with the high-velocity outflows observed in many PSBs, assuming the rare X-ray detections represent short-lived bursts of black hole activity, visible $\sim 5\%$ of the time. Thus, X-ray AGN may help to maintain quiescence in massive galaxies at cosmic noon, but the evidence for a direct link to the primary quenching event remains elusive.

Key words: galaxies: evolution – galaxies: formation – galaxies: high-redshift – galaxies: active.

Изучение активности активных ядер галактик (АЯГ) в недавно "потухших" массивных галактиках (пост-звздообразующих, PSB) на красном смещении $z \sim 2$ ("космический полдень"), чтобы проверить гипотезу о связи АЯГ с процессом прекращения звездообразования.

Методы:

- Использованы глубокие рентгеновские наблюдения поля Ultra-Deep Survey (UDS) с телескопа **Chandra**.
- Выделены три типа галактик: звездообразующие, пассивные и PSB (пост-звздообразующие).
- Применены методы фотометрического анализа (РСА) для классификации галактик и определения их свойств (масса, скорость звездообразования и т.д.).
- Проведён анализ как индивидуальных детектированных АЯГ, так и усреднённых данных (stacking analysis) для недетектированных источников.

Выборка: более 4000 массивных галактик ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$) в диапазоне $1 < z < 3$, в том числе более 200 переходных пост-звздообразующих галактик.

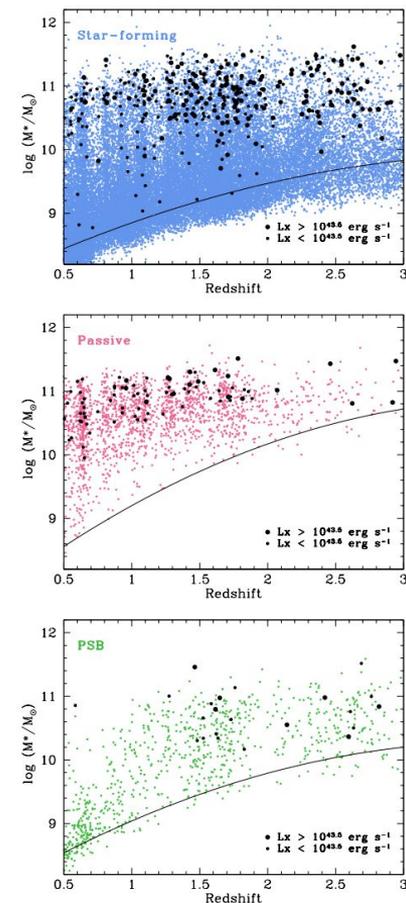


Figure 1. The stellar mass versus redshift relation for star-forming, passive, and post-starburst galaxies within the region of the UDS field with deep Chandra X-ray imaging. The solid black curves represent the 90% stellar mass completeness limits, determined separately for each galaxy class. Chandra X-ray detections are highlighted with solid black symbols, in two luminosity bins ($0.5 - 8$ keV). The upper luminosity range ($L_X > 10^{43.5} \text{ erg s}^{-1}$) corresponds to the approximate X-ray detection limit at $z = 3$.

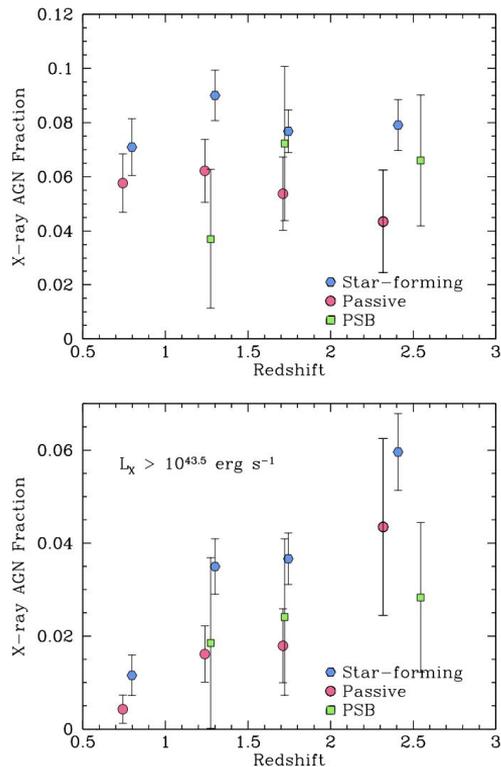


Figure 2. The X-ray detected fraction as a function of redshift for the three primary galaxy populations, for galaxies with high stellar mass ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$). Redshift bins of width $\Delta z = 0.5$ are used in the range $0.5 < z < 2$, with a single bin for the range $2 < z < 3$. Points are plotted at the mean redshift within each bin. The upper plot is based on all X-ray detections, while the lower plot is restricted to AGN with luminosities $L_X > 10^{43.5} \text{ erg s}^{-1}$ (0.5–8 keV). This X-ray luminosity corresponds to the approximate detection limit at $z = 3$, allowing a fairer comparison of X-ray activity between redshift bins. Note the difference in scale on the two figures. All bins displayed contain a minimum of 50 galaxies. For clarity, the low-redshift PSB bin containing only two galaxies is excluded. One of these PSBs is detected by *Chandra* at low luminosity (see Figure 1).

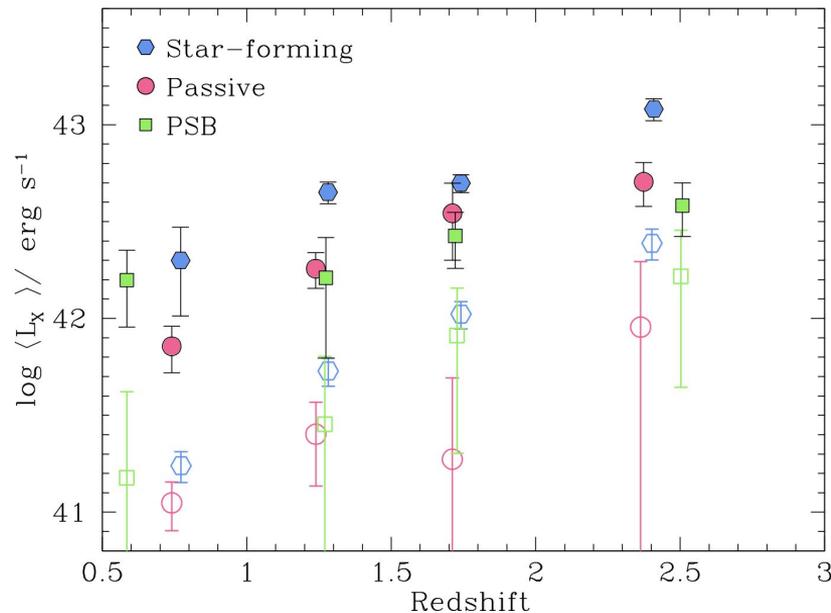


Figure 3. The mean 0.5–8 keV X-ray luminosity as a function of redshift for the three primary galaxy populations, determined for galaxies at high stellar mass ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$). The unfilled points denote the average luminosity from a stacking analysis, excluding individual X-ray detections. The filled points combine stacked data and individual detections to produce the overall mean X-ray luminosity for each population. Redshift bins of width $\Delta z = 0.5$ are used in the range $0.5 < z < 2$, with a single bin for the range $2 < z < 3$. Points are plotted at the mean redshift within each bin.

Из выборки удалены яркие квазары*

В PSB галактиках обнаружено $6.2 \pm 1.5\%$ АЯГ, что промежуточно между звездообразующими ($8.2 \pm 0.5\%$) и пассивными ($5.7 \pm 0.8\%$) галактиками. Средняя рентгеновская светимость PSB галактик схожа с пассивными, но в 2.6 ± 0.3 раза ниже, чем у звездообразующих.

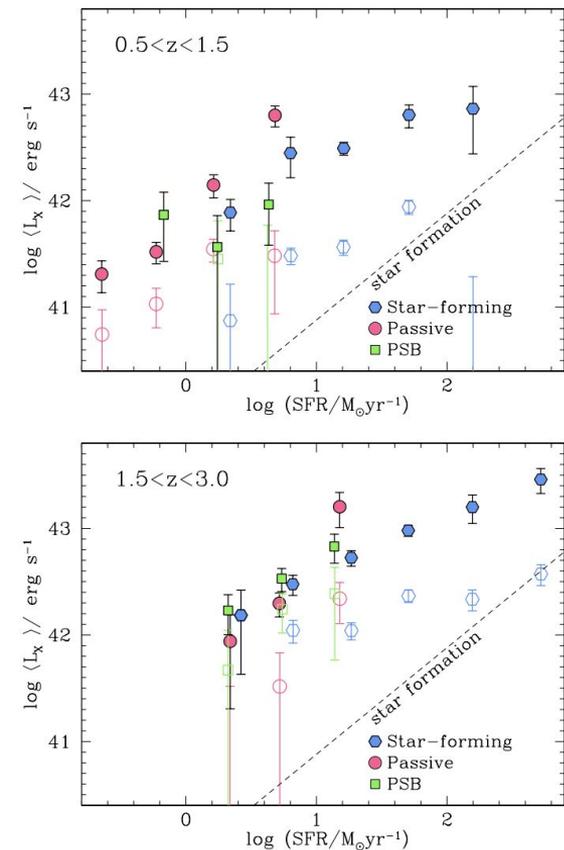


Figure 4. The mean X-ray luminosity as a function of star-formation rate for the three primary galaxy populations, determined for galaxies at high stellar mass ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$). The unfilled points denote the average luminosity from a stacking analysis, excluding individual detections. The filled points combine stacked data and individual detections. The dashed line denotes the expected relation if the X-rays are produced by processes related to star formation (e.g., massive X-ray binaries), from [Aird et al. \(2017\)](#).

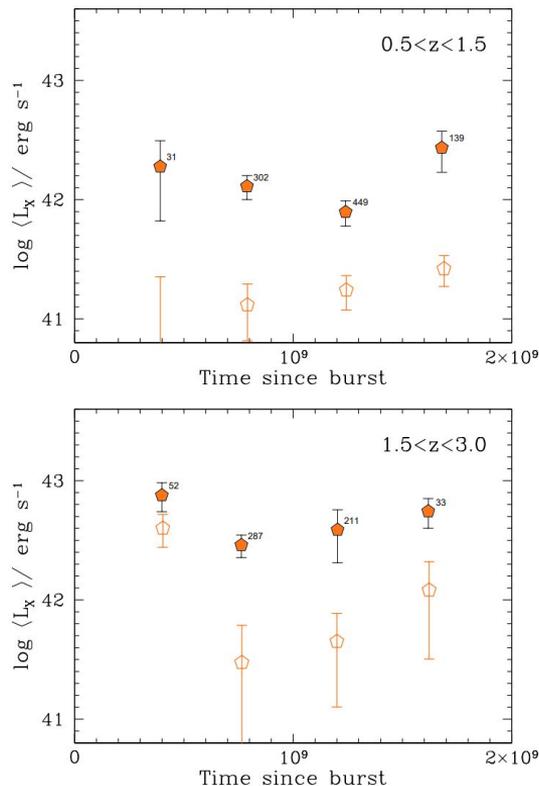


Figure 5. The mean X-ray luminosity for quenched galaxies (PSB and passive) at high stellar mass ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$), binned as a function of time since the last burst of star formation. Burst ages are determined from the SED fitting outlined in Section 2.2. We caution that these ages are derived from photometric data, so may be subject to degeneracies between the age and strength of the burst (see Section 4.3). Four equally spaced age bins are used up to 2×10^9 years, with the points plotted at the mean age within each bin. The unfilled points denote the average luminosity from a stacking analysis, excluding individual detections. The filled points combine stacked data and individual detections to produce the overall mean luminosity for each population. The numbers denote the number of galaxies within each bin.

В PSB галактиках обнаружено $6.2 \pm 1.5\%$ АЯГ, что промежуточно между звездообразующими ($8.2 \pm 0.5\%$) и пассивными ($5.7 \pm 0.8\%$) галактиками. Средняя рентгеновская светимость PSB галактик схожа с пассивными, но в 2.6 ± 0.3 раза ниже, чем у звездообразующих.

Наличие ярких АЯГ может исказить фотометрическую классификацию галактик. В частности, относительно голубое излучение АЯГ может привести к ошибочному отнесению "потухшей" галактики к звездообразующим системам. Мы разработали простую модель для изучения этого эффекта, добавляя свет АЯГ к спектральному распределению энергии типичной PSB-галактики перед повторной оценкой её классификации методом главных компонент (PCA). Этот процесс повторялся для различных уровней аккреции АЯГ и значений покраснения ядра. Основные этапы моделирования следующие:

- 1) **Моделирование излучения АЯГ:** Для описания широкополосного излучения АЯГ использовалось SED радиоспокойного квазара (Elvis et al., 1994), дополненное данными в УФ и среднем ИК-диапазонах (Assef et al., 2010).

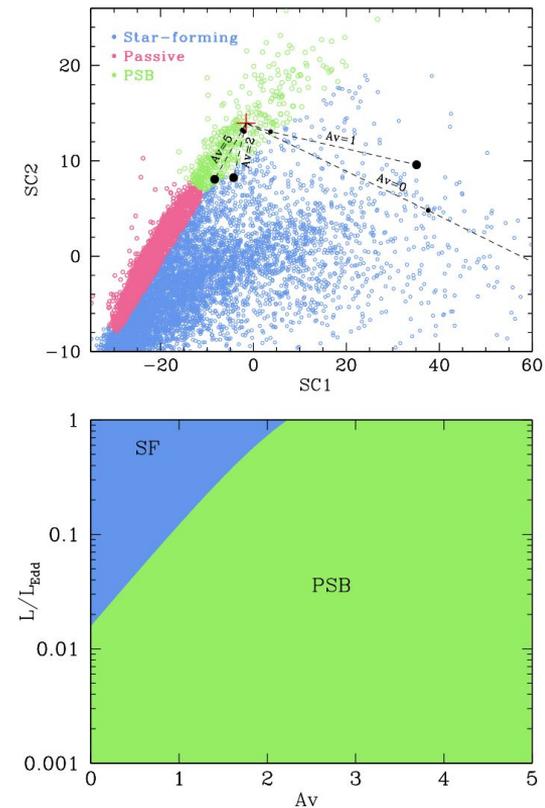


Figure 6. The upper figure shows the PCA 'supercolour' diagram, used to classify galaxies into star-forming, passive and PSB categories (Wild et al. 2014; Wilkinson et al. 2021). The black curves show the impact of adding AGN light to a typical PSB (initially located at the red cross). Four curves are shown, representing AGN reddened by dust with $A_V = 0, 1, 2$ and 5 . The small and large black points (linked by dashed lines) represent accretion at $L/L_{Edd} = 0.1$ and 1.0 respectively. The lower figure shows the impact on galaxy classification for this typical object for a wider range of A_V and L/L_{Edd} .

2) **Нормировка SED АЯГ:** Предполагалось, что болометрическая светимость создаётся чёрной дырой, излучающей с фиксированной долей от эддингтоновской светимости. Масса чёрной дыры оценивалась исходя из соотношения $M_{\text{BH}}/M_* = 0.15\%$. Использовался широкий диапазон темпов аккреции: $L/L_{\text{Edd}} = 10^{-3}-1$

3) **Учёт покраснения ядра:** Большинство АЯГ, обнаруживаемых в рентгене, сильно покраснены в оптике (Lawrence & Elvis, 2010). Моделировалось покраснение с значениями A_V от 0 до 5. Для простоты применялся закон экстинкции Млечного Пути ($R_V = 3.1$)

4) **Влияние на классификацию:** Полученные SED АЯГ добавлялись к SED PSB-галактики ($z \approx 1.5$, $M_* = 10^{11} M_\odot$), после чего анализировалось изменение её положения на диаграммах PCA и UVJ.

Коррекция систематических ошибок: Около 20% PSB и пассивных галактик с $L_X > 10^{43}$ эрг/с и $A_V \lesssim 1$ могут "маскироваться" под звездообразующие. После поправки средняя светимость PSB и пассивных галактик увеличивается на 0.09 и 0.14 dex соответственно, но их соотношение со звездообразующими галактиками сохраняется ($\times 2.6$ и ниже).

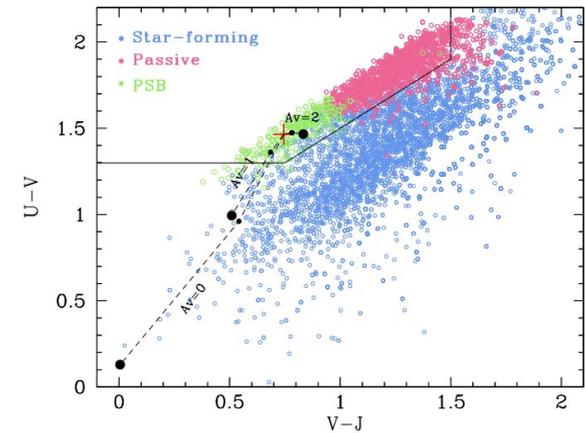


Figure 7. This figure shows the rest-frame UVJ colour-colour diagram, with the classification boundaries from Whitaker et al. (2012). Galaxies classified by the PCA supercolour technique are overlaid for comparison. Rest-frame UVJ colours are determined from the best-fitting supercolour SED for each galaxy. The black curves show the impact of adding AGN light to a typical PSB (initially located at the red cross). Three curves are shown, representing AGN reddened by dust with $A_V = 0, 1$ and 2 . For clarity, curves with stronger dust reddening ($A_V > 2$) are not shown, as these lie entirely within the PSB region and strongly overlap the curve at $A_V = 2$. The small and large black points (linked by dashed lines) represent accretion at $L/L_{\text{Edd}} = 0.1$ and 1.0 respectively.

Результаты моделирования:

- 1) Масса галактик: Остаётся относительно устойчивой при умеренной активности АЯГ ($L/L_{\text{Edd}} < 0.1$), с ошибками $< 20\%$. Существенные искажения ($\times 2$) возникают только при экстремальных темпах аккреции ($L/L_{\text{Edd}} > 0.8$).
- 2) Темпы звёздообразования: Сильно зависит от светимости АЯГ при низком покраснении ($A_V \lesssim 1$). Например, при $L/L_{\text{Edd}} > 0.1$ SFR PSB и пассивных галактик может завышаться в 2 и более раза. Для сильно покрасневших АЯГ ($A_V \gtrsim 2$) влияние на SFR пренебрежимо мало.
- 3) Классификация галактик: PSB могут ошибочно классифицироваться как звездообразующие, если содержат незатенённые АЯГ с $A_V \lesssim 1$ и $L/L_{\text{Edd}} > 0.1$. При $A_V > 2$ классификация остаётся надёжной.

Вывод:

- Фотометрические методы могут пропускать часть потухших галактик с яркими, мало затенёнными АЯГ.
- Однако даже с учётом этого эффекта основные выводы статьи (отсутствие избыточной активности АЯГ в PSB) остаются в силе.

Авторы статьи предупреждает о возможных ограничениях исследования, связанных с **сильно затенёнными** (в том числе комптоновски толстыми) АЯГ, которые могли остаться неучтёнными. Авторы отмечают, что рентгеновские методы **могут пропускать до 50% таких объектов**, особенно на ранних стадиях роста чёрных дыр. Хотя анализ показателей жёсткости излучения не выявил различий между PSB, звездообразующими и пассивными галактиками, малая выборка PSB **оставляет этот вопрос открытым**.

Подчёркивается, что текущие результаты могли недооценить истинную активность АЯГ в PSB-галактиках. Для окончательных выводов требуются дополнительные исследования с большими выборками, включая спектральный анализ и данные ИК-диапазона (например, с JWST/MIRI). Раздел служит важным методологическим предостережением, но не отменяет основных выводов работы. Проблема затенённых АЯГ остаётся ключевой для будущих исследований механизмов галактического "затухания".

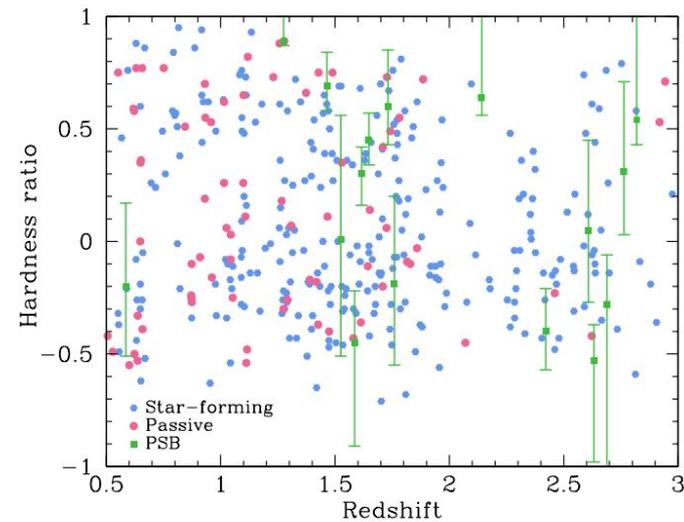


Figure 8. The *Chandra* X-ray hardness ratios as a function of redshift for the high-mass ($M_* > 10^{10.5} M_\odot$) star-forming, passive, and PSB galaxies detected as X-ray sources. For clarity the 1σ uncertainties are displayed for the PSBs only. Hardness ratios and their uncertainties were obtained from the catalogue of [Kocevski et al. \(2018\)](#). We find no evidence that the PSBs show a significantly different distribution of hardness ratios compared to passive or star-forming galaxies, according to a K-S test.

Авторы утверждают, что их результаты согласуются с некоторыми исследованиями PSB-галактик, где также не было обнаружено значительного избытка АЯГ-активности (Georgakakis et al. 2008; Lanz et al. 2022). Однако они расходятся с недавними открытиями JWST, где в небольших выборках "потухших" галактик при $z > 2$ были обнаружены признаки высокой доли АЯГ (Belli et al. 2024; Davies et al. 2024). Это расхождение может объясняться разными методами отбора или тем, что оптические исследования чувствительны к более длительным временным масштабам активности АЯГ по сравнению с рентгеновскими.

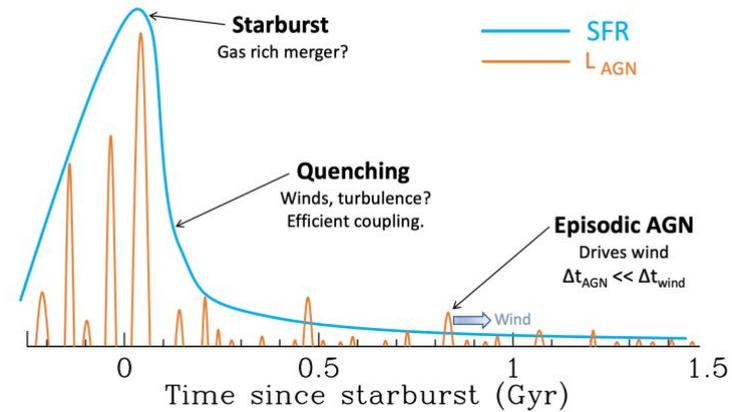


Figure 9. An illustration of a plausible scenario for the co-evolution of AGN activity and star formation in a recently quenched galaxy, consistent with our *Chandra* observations. AGN activity broadly traces the SFR (displayed with arbitrary scaling), but there is no excess of X-ray activity associated with quenching. Occasional stochastic bursts of nuclear activity (visible $\sim 5\%$ of the time) are sufficient to couple strongly to the surrounding gas and drive a powerful AGN-driven wind. If the AGN duty cycle is short, the relic outflow can persist for significantly longer than the visible X-ray AGN. Continued bursts of activity may eventually deplete the gas reservoir.

Многие массивные PSB демонстрируют высокоскоростные (>1000 км/с) межзвёздные выбросы. Данные показывают, что около 5% PSB содержат активные АЯГ ($L_x \approx 5 \times 10^{43}$ эрг/с) в данный момент времени. Энергетически даже таких кратковременных вспышек (при эффективности связи 1-5%) достаточно для создания наблюдаемых выбросов. Если АЯГ активен ~ 1 млн лет, а выброс виден ~ 10 млн лет, это объясняет частые детектирования выбросов при редких обнаружениях активных ядер.

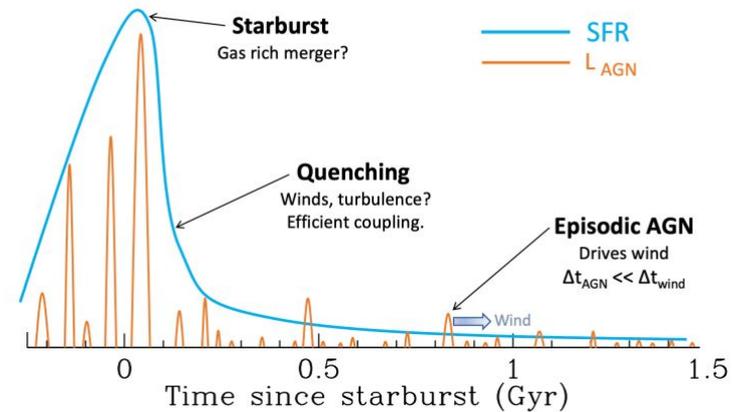


Figure 9. An illustration of a plausible scenario for the co-evolution of AGN activity and star formation in a recently quenched galaxy, consistent with our *Chandra* observations. AGN activity broadly traces the SFR (displayed with arbitrary scaling), but there is no excess of X-ray activity associated with quenching. Occasional stochastic bursts of nuclear activity (visible ~ 5% of the time) are sufficient to couple strongly to the surrounding gas and drive a powerful AGN-driven wind. If the AGN duty cycle is short, the relic outflow can persist for significantly longer than the visible X-ray AGN. Continued bursts of activity may eventually deplete the gas reservoir.

Авторы не могут исключить усиленную активность АЯГ на самых ранних стадиях "затухания" (первые ~250 млн лет). Фотометрические методы идентификации PSB имеют ограниченное временное разрешение (~ 1 млрд лет). Будущие спектроскопические исследования с JWST смогут точнее отслеживать эволюцию АЯГ-активности относительно момента прекращения звездообразования.

Ключевой вывод: наблюдаемая низкая активность АЯГ в PSB совместима с их переходным статусом, если учитывать кратковременные, но мощные вспышки активности. Однако прямое доказательство роли АЯГ в первоначальном "затухании" остаётся неуловимым.

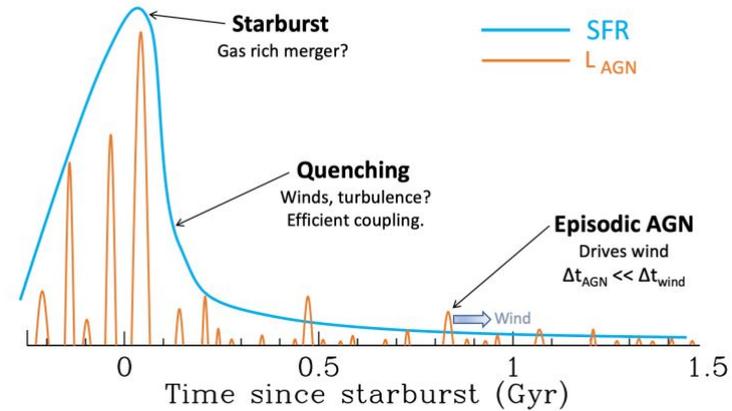


Figure 9. An illustration of a plausible scenario for the co-evolution of AGN activity and star formation in a recently quenched galaxy, consistent with our *Chandra* observations. AGN activity broadly traces the SFR (displayed with arbitrary scaling), but there is no excess of X-ray activity associated with quenching. Occasional stochastic bursts of nuclear activity (visible ~ 5% of the time) are sufficient to couple strongly to the surrounding gas and drive a powerful AGN-driven wind. If the AGN duty cycle is short, the relic outflow can persist for significantly longer than the visible X-ray AGN. Continued bursts of activity may eventually deplete the gas reservoir.

Выводы:

Активность АЯГ в PSB галактиках не превышает уровни, ожидаемые для их остаточного звездообразования.

Эпизодические вспышки АЯГ могут играть роль в поддержании "потухшего" состояния, но их связь с первоначальным прекращением звездообразования остаётся недоказанной.

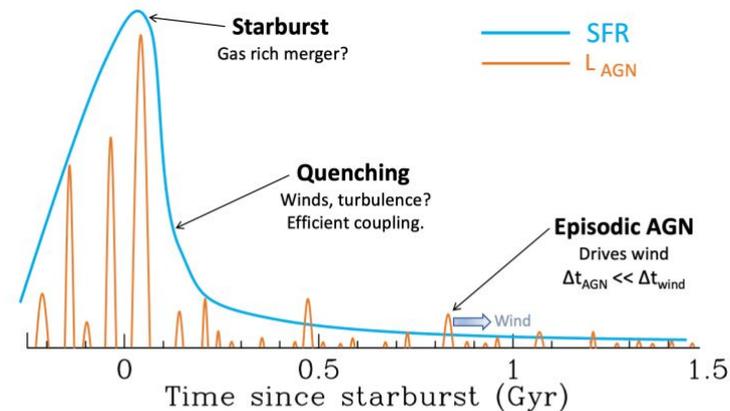


Figure 9. An illustration of a plausible scenario for the co-evolution of AGN activity and star formation in a recently quenched galaxy, consistent with our *Chandra* observations. AGN activity broadly traces the SFR (displayed with arbitrary scaling), but there is no excess of X-ray activity associated with quenching. Occasional stochastic bursts of nuclear activity (visible $\sim 5\%$ of the time) are sufficient to couple strongly to the surrounding gas and drive a powerful AGN-driven wind. If the AGN duty cycle is short, the relic outflow can persist for significantly longer than the visible X-ray AGN. Continued bursts of activity may eventually deplete the gas reservoir.