

Бары в дисковых галактиках: что стоит за разницей в их морфологии

И. С. Тихоненко^{1*} А. А. Смирнов^{1,2} Н. Я. Сотникова¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Центральная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

семинар кафедры астрофизики СПбГУ, 25.02.2021

Связанные с барами особенности морфологии

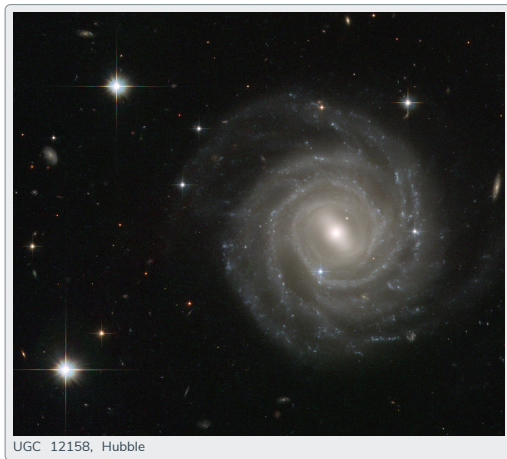
Галактики с баром



Связанные с барами особенности морфологии

Галактики с баром

40% – 60% [16, 8, 26]



Связанные с барами особенности морфологии

Галактики с баром



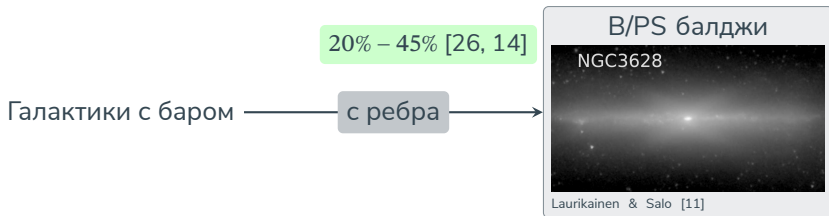
Связанные с барами особенности морфологии

Галактики с баром

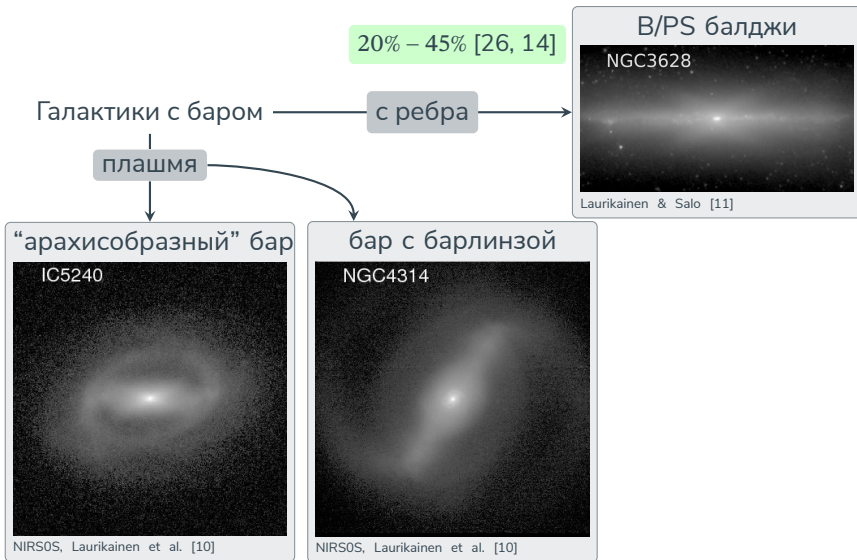
20% – 45% [26, 14]



Связанные с барами особенности морфологии



Связанные с барами особенности морфологии



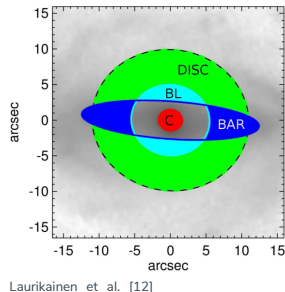
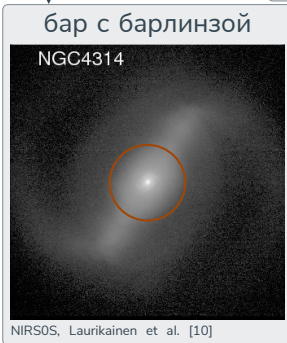
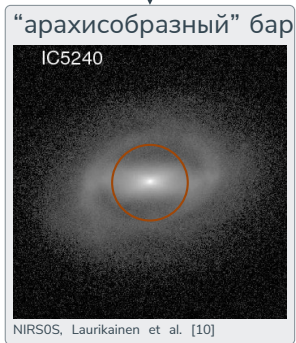
Связанные с барами особенности морфологии

20% – 45% [26, 14]

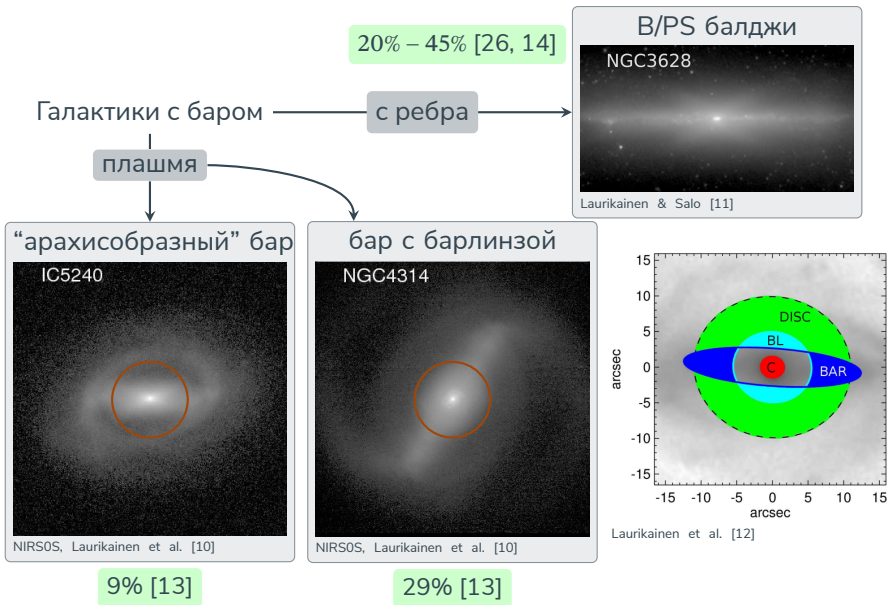
Галактики с баром

с ребра

плашмя

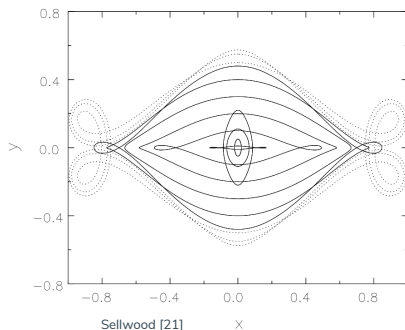


Связанные с барами особенности морфологии



Что такое бар с точки зрения динамики

1. Бар — это стоячая волна плотности, образованная синхронно прецессирующими орбитами.
2. В системе отсчёта бара такие орбиты замыкаются, их динамические частоты соизмеримы: $\exists l, m \in \mathbb{Z} \quad lx + m(\Omega - \Omega_p) = 0$ — резонанс.
3. Структуры, образованные из резонансных орбит, сохраняются длительное время [5].



«Классические» [6, 1] $m : l = 2 : 1$ резонансные орбиты x_1 и x_2 , пунктир — $4 : 1$.

Основная задача: установить связь групп орбит с морфологическими особенностями бара.

1. Самосогласованные N-body модели.

Мотивация Разную морфологию плашмя можно получить в N-body моделях [20];

2. Анализ доминирующих частот (методы спектральной динамики)

Мотивация Структуры, сохраняющиеся длительное время, должны состоять из орбит, близких к резонансным.

Детали N-body расчётов

Начальные условия задаются с помощью `mkgalaxy` [17] на основе Salo & Laurikainen [20], Parul, Smirnov & Sotnikova [19] и Smirnov & Sotnikova [22].
Используется интегратор `gyrfalcon` [7] из пакета NEMO [24]. Эволюция прослежена до ≈ 8 Gyr.

ед. массы = $5 \cdot 10^{10} M_{\odot}$
ед. длины = 3.5 кпк
 $G = 1$



ед. времени ≈ 13.8 млн. лет.
ед. цикл. частоты ≈ 71 км/с/кпк

Экспоненц. диск

$$\rho \propto \frac{M_d}{R_d z_d} e^{-\frac{R}{R_d}} \operatorname{sech}^2\left(\frac{z}{z_d}\right)$$

$$N = 4 \cdot 10^6$$

$$M_d = 1, R_d = 1$$

$$z_d = 0.05$$

$$Q(2) = 1.2$$



NFW-like гало

обобщенный
профиль NFW [18]

$$N = 4.5 \cdot 10^6$$

$$M_h(r < 4) = 1.5$$



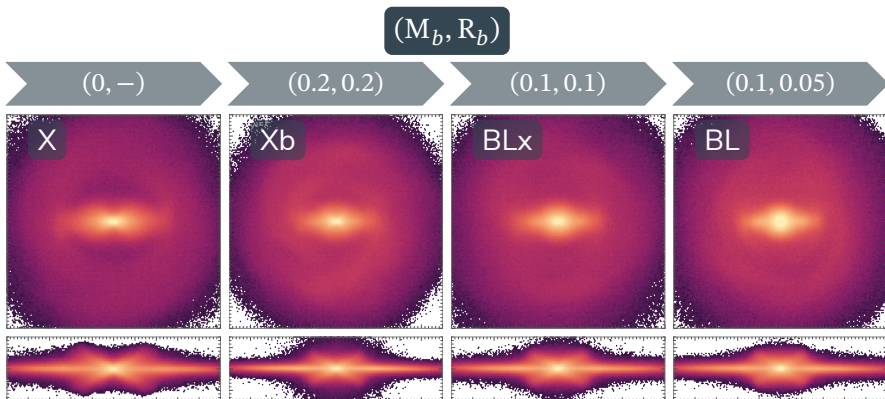
балдж Хернквиста

$$\rho \propto \frac{r_b}{r} \frac{M_b}{(r+r_b)^3}$$

$$N = 4 \cdot 10^5$$

$$M_b, R_b$$

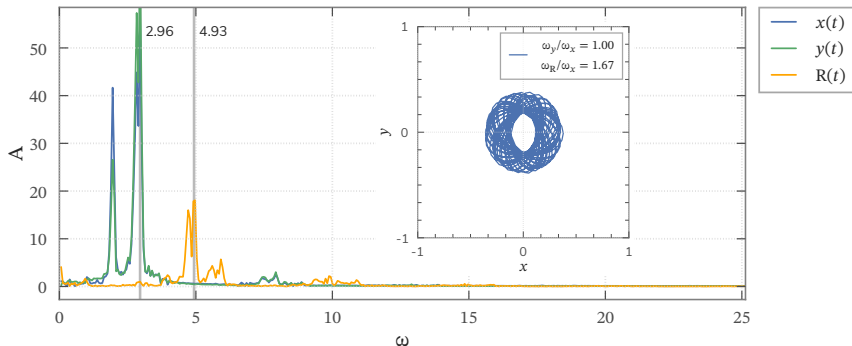
Сетка моделей



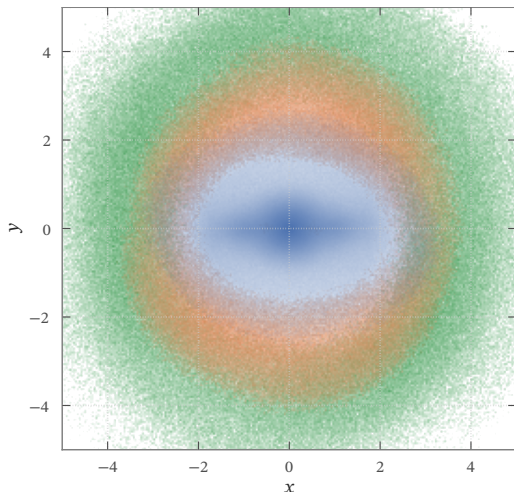
1. У всех 4 моделей с ребра виден B/PS балдж
2. Морфология бара «плашмя» изменяется от «арахиса» к бару с барлинзой с увеличением концентрации балджа.

Анализ частот

На промежутке $t = 400 - 500$ (5.5–7 млрд. лет) получены временные ряды $R(t)$, $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ для всех орбит [5] в системе отсчёта, связанной с баром [25] и определены частоты ω_x , ω_y , ω_z , ω_R ($\omega_x \approx \Omega - \Omega_p$, $\omega_R = \kappa$) по положению наивысших пиков на их периодограммах [3, 9].

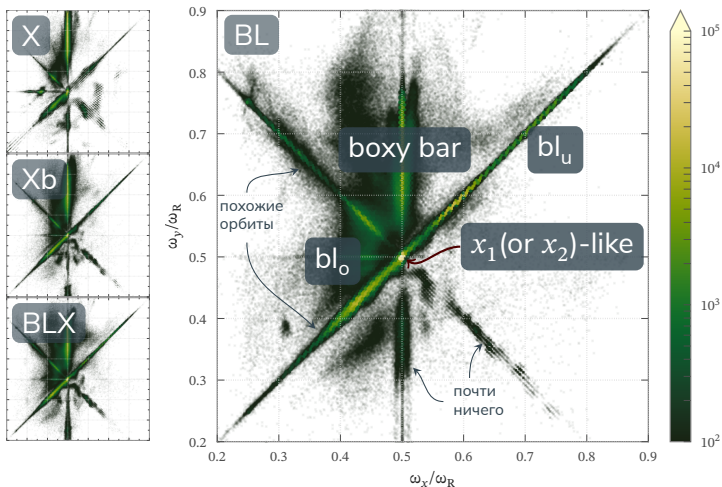


Отделение бара от диска



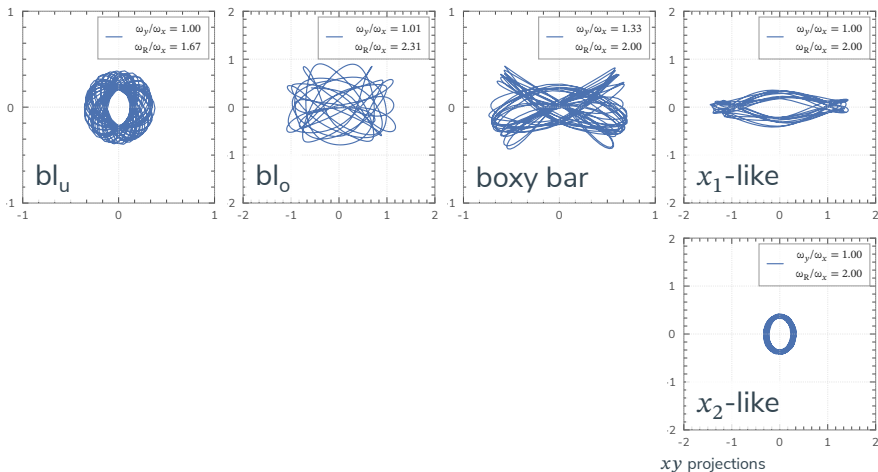
В моделях из анализа частот удалось выделить коротацию. Бар лежит внутри радиуса коротации. Цветом отмечены полученные компоненты: бар, кольцо вблизи коротации и внешний диск.

Классификация на основе отношения частот

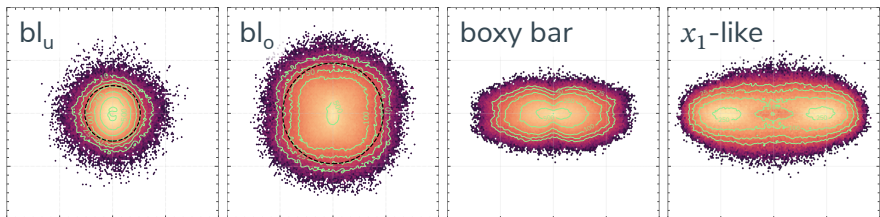


$$(\Omega - \Omega_p)/\kappa = 0.5 \approx \omega_x/\omega_R$$

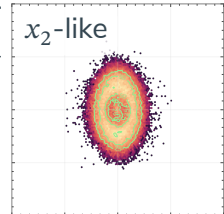
Примеры характерных орбит



Выделенные группы



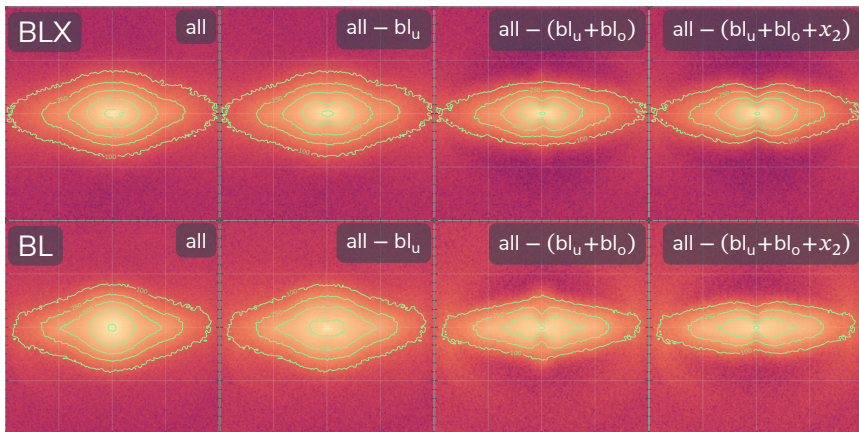
family	X	Xbl	BLx	BL	(% disc)
bl_o	5.36	7.82	9.98	13.49	
bl_u	0.96	1.05	3.42	9.22	
boxy bar	45.19	25.68	23.88	10.45	
x_1	3.48	5.70	7.60	9.64	
x_2	0.30	0.83	1.91	1.71	



xy projections, $[-2; 2] \times [-2; 2]$

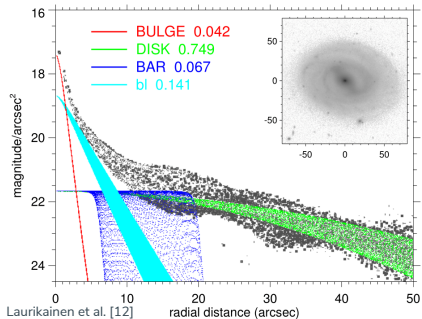
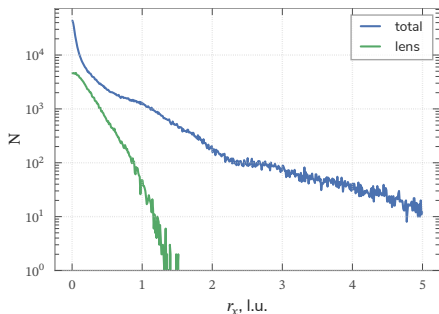
Доля ' bl_o ' и ' bl_u ' орбит увеличивается от X к BL модели, в то время как доля 'boxy bar' уменьшается. Компактное и округлое ' bl_u ' особенно выражено в модели с барлинзой и скорее всего является её основным ингредиентом, а 'boxy bar' отвечает на «арахис» в модели X.

«Разборка» барлинзы



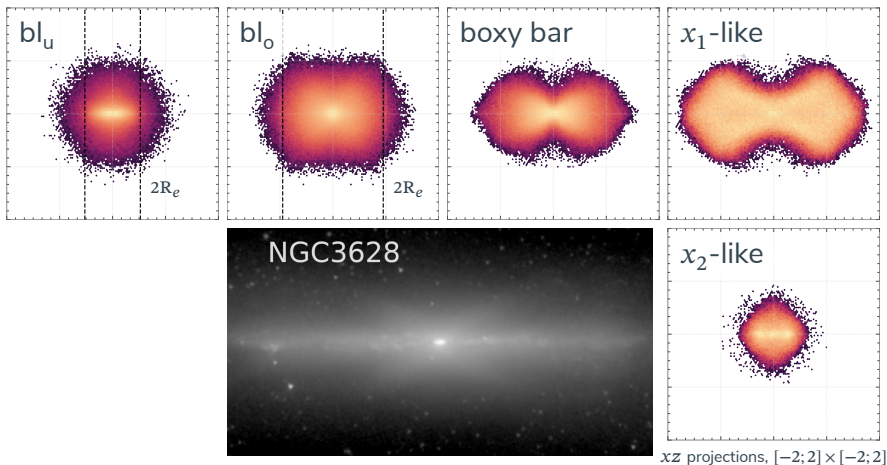
За округлые изофоты в центре модели отвечает компонента bl_U , а на периферии — bl_O . Группа x_2 оставляет небольшие выступы, но значительного вклада не вносит.

Сравнение с наблюдениями - I



Профиль суммы обоих компонент барлинзы: $bl_o + bl_u$ — экспоненциальный, согласно с тем как они и были определены в Laurikainen et al. [10].

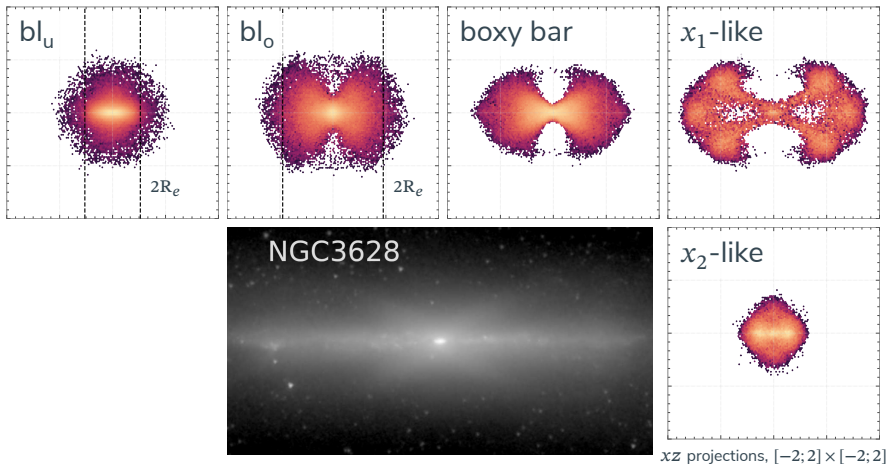
Выделенные группы (вид с ребра)



Есть распространённая точка зрения, что барлинзы и V/PS балджи — одна и та же структура. Это вывод делается, в основном, на основе совпадения их размеров [11, 2].

Однако, **bl_u** компонента совсем не похожа на V/PS-балдж.

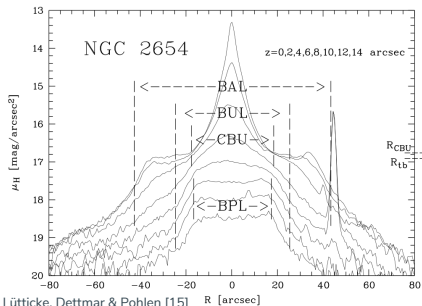
Выделенные группы (с ребра, unsharp-mask)



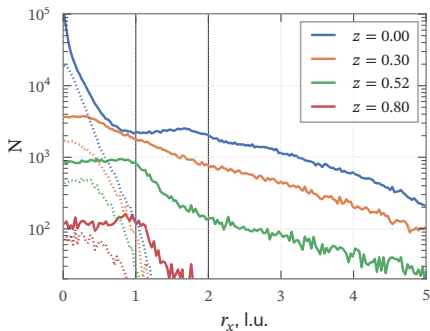
На изображениях после применения процедуры нерезкого маскирования [4] следы x присутствуют только в bl_o -компоненте барлинзы.

Однако, bl_u компонента совсем не похожа на V/PS-балдж.

Сравнение с наблюдениями - II



здесь BAL — длина бара, а BPL — размер В/PS структуры.



В работах [2, 11] барлинза выделяется визуально.

Однако, сравнение размеров по разрезам, параллельным большой оси бара на разных расстояниях от плоскости диска (наподобие Lütticke, Dettmar & Pohlen [15]) показывает, что барлинза меньше В/PS структуры по размеру.

- На основе орбитального анализа четырёх моделей выделены группы орбит, отвечающие за смену морфологию бара «плашмя». **Барлинза полностью отделена от подстилающей галактики.**

Smirnov, Tikhonenko & Sotnikova (2021, MNRAS) [23]

- Изучена вертикальная структура выделенных групп: **по нашему мнению барлинзу нельзя отождествлять с B/PS балджем.**

(статья подготовлена к публикации)

Работа проделана в рамках гранта РФФИ №19-02-00249.

Выводы

- На основе орбитального анализа четырёх моделей выделены группы орбит, отвечающие за смену морфологию бара «плашмя». **Барлинза полностью отделена от подстилающей галактики.**

Smirnov, Tikhonenko & Sotnikova (2021, MNRAS) [23]

- Изучена вертикальная структура выделенных групп: **по нашему мнению барлинзу нельзя отождествлять с B/PS балджем.**

(статья подготовлена к публикации)

Спасибо за внимание.
Вопросы?

Работа проделана в рамках гранта РФФИ №19-02-00249.

Библиография I

- [1] E. Athanassoula. MNRAS, 341 (2003), 1179–1198.
- [2] E. Athanassoula et al. MNRAS, 454 (2015), 3843–3863.
- [3] J. Binney & D. Spergel. ApJ, 252 (1982), 308–321.
- [4] M. Bureau et al. MNRAS, 370 (2006), 753–772.
- [5] D. Ceverino & A. Klypin. MNRAS, 379 (2007), 1155–1168.
- [6] G. Contopoulos & T. Papayannopoulos. A&A, 92 (1980), 33–46.
- [7] W. Dehnen. J. Comput. Phys., 179.1 (2002), 27–42.
- [8] P. Erwin & V. P. Debattista. MNRAS, 468 (2017), 2058–2080.
- [9] G. Gajda, E. L. Łokas & E. Athanassoula. ApJ, 830.2 (2016), 108.
- [10] E. Laurikainen et al. MNRAS, 418 (2011), 1452–1490.
- [11] E. Laurikainen & H. Salo. A&A, 598 (2017), A10.
- [12] E. Laurikainen et al. astronomy and astrophysics, 618 (2018), a34.
- [13] Z.-Y. Li, L. C. Ho & A. J. Barth. ApJ, 845.1 (2017), 87.
- [14] R. Lütticke, R.-J. Dettmar & M. Pohlen. A&A Supplement Series, 145 (2000), 405–414.
- [15] R. Lütticke, R.-J. Dettmar & M. Pohlen. A&A, 362 (2000), 435–446.

Библиография II

- [16] I. Marinova & S. Joglee. ApJ, 659.2 (2007), 1176–1197.
- [17] P. J. McMillan & W. Dehnen. MNRAS, 378 (2007), 541–550.
- [18] J. F. Navarro, C. S. Frenk & S. D. M. White. ApJ, 462 (1996), 563.
- [19] H. D. Parul, A. A. Smirnov & N. Y. Sotnikova. (2020). arXiv: 2002.06627.
- [20] H. Salo & E. Laurikainen. ApJ, 835.2 (2017), 252.
- [21] J. A. Sellwood. Reviews of Modern Physics, 86 (2014), 1–46.
- [22] A. A. Smirnov & N. Y. Sotnikova. MNRAS, 481.3 (2018), 4058–4076. arXiv: 1809.06167.
- [23] A. A. Smirnov, I. S. Tikhonenko & N. Y. Sotnikova. MNRAS, (2021). arXiv: 2007.09090 [astro-ph.GA].
- [24] P. Teuben. “The Stellar Dynamics Toolbox NEMO”. Astronomical Data Analysis Software and Systems IV. Vol. 77. 1995, 398.
- [25] M. Valluri et al. ApJ, 818.2 (2016), 141.
- [26] A. Yoshino & C. Yamauchi. MNRAS, 446 (2015), 3749–3767.