



UDK: 524.3/4

ABBOS OMONOV,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti
E-mail: abbosomonov998@gmail.com

O'zRFA Astronomiya instituti professori K.Mirtadjiyeva taqrizi asosida

LOPSAIDAL SPIRAL GALAKTIKALAR DISKINING FIZIK XUSUSIYATLARI

Annotatsiya

Ushbu ishda biz 55 ta lopsaidal spiral galaktikalar diskining asosiy fizik xususiyatlari ro'yhatini tuzganmiz. Bizni faqat diskning evolyutsiyasi qiziqirganligi sababli, biz ushbu ishda diskning fizik xususiyatlari o'rtasidagi emperik munosabatlarni o'rgandik. Shuningdek tegishli korrelyatsiya koeffitsientlari ham topildi.

Kalit so'zlar: galaktika: lopsaidal, akkretsiya, galaktik disk, evolyutsiya, qoramtir materiya.

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE DISK OF LOPSIDED SPIRAL GALAXIES

Annotation

In this work, we have compiled a list of the main physical properties of the disks of 55 barred spiral galaxies. Since we are only interested in the evolution of the disk, we have studied the empirical relationships between the physical properties of the disk in this work. The corresponding correlation coefficients have also been found.

Key words: galaxy: lopsided, accretion, galactic disk, evolution, dark matter.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКА ЛОПСАИДАЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

Аннотация

В данной работе мы составили список основных физических свойств диска 55 лопсайдальных спиральных галактик. Поскольку нас интересует только эволюция диска, в данной работе мы изучили эмпирические соотношения между физическими свойствами диска. Также были найдены соответствующие коэффициенты корреляции.

Ключевые слова: галактика: лопсайдальность, аккреция, галактический диск, эволюция, темная материя.

1. Введение. Масса диска спиральных галактик является мерой количества вещества в тонком, плоском компоненте спиральных галактик, который содержит как газ, так и звезды. Массу диска можно оценить различными методами, такими как моделирование кривых вращения галактик или подгонка их спектрального распределения энергии с помощью моделей звездного населения. Эти методы также могут предоставить информацию о соотношении массы звезд к светимости, что указывает на эффективность образования звезд из газа. Масса диска спиральных галактик является важным параметром для понимания их формирования и эволюции, а также их связи с гало темной материи, которое их окружает [1]. Масса диска определяет силу гравитационной неустойчивости в диске, которая может вызвать образование спиральных рукавов и баров. Масса диска влияет на длину и ширину бара, что может повлиять на приток газа и образование звезд в центральной области. Масса диска влияет на изгибную неустойчивость бара, что может повлиять на вертикальную структуру и форму "арахиса" балджа [2-3]. Масса диска также влияет на морфологию, динамику и стабильность спиральных рукавов и центрального бара галактик. Однако не все спиральные галактики идеально симметричны. Анализ многих наблюдательных данных показывает глобальную асимметрию в их распределении массы, когда одна сторона диска шире или ярче другой [4-6]. Эти галактики называются однобокими, и они распространены во Вселенной. Согласно некоторым исследованиям, до 30% спиральных галактик позднего типа демонстрируют значительную лопсайдальность [7]. Лопсайдальность оказывает большое влияние на динамику спиральных галактик, их эволюцию, образование звезд в них, рост центральной черной дыры, ядерное питание и слияние двойных черных дыр.

2. Список физических характеристик диска лопсайдальных спиральных галактик

Многие авторы составили списки и каталоги с различными физическими параметрами дисков галактик [1-3,8-10]. Согласно исследованиям, лопсайдальность – это эффект, который главным образом характерен для спиральных галактик. Также лопсайдальность оказывает значительное влияние на эволюцию диска и на распределение областей звездообразования в нем. Поэтому мы впервые сформулировали список основных физических характеристик диска 55 спиральных галактик с лопсайдальным эффектом. Наш список состоит из: 1. Название галактики, 2. Морфологический тип, 3. Код типа, 4. Масса диска, 5. Возраст звезд в диске, 6. Металличность звезд в диске, 7. Масса черной дыры, 8. Амплитуда лопсайдальности A1.

Таблица 1. Список физических характеристик диска

Name	Morpho-logical Type	Type code	e_Type code	lgM _{disk}	e_lgM	t_D	e_tD	Z_D	e_ZD	lg(M _{BH})	A1	Article
			±	M _{min}	±	Gyr	Gyr	Sun	Sun	M _{Sun}		
NGC 0755	SBbc	3.6	1.2	9.26						7.21	0.49	12,8,14
NGC 0941	SABc	5.3	0.8	9.15	0.04	6.48	1.08	0.36	0.19	5.59	0.16	12,9,8,13
NGC 0991	SABc	5.2	0.8	9.54	0.08	6.23	1.07	0.39	0.19	5.65	0.165	12,9,8,13

UGC 02443	Sc	5.7	0.7	9.613	0.11	7.55	0.94	0.42	0.21		0.16	12.9.8
NGC 2805	SABc	6.9	0.3	9.57	0.19	6.96	0.97	0.46	0.25	5.14	0.66	12.9.8.13
NGC 2906	Sc	5.7	0.8	10.34	0.05	9.66	0.92	0.6	0.27	8.12	0.11	12.9.8.13
NGC 3057	Sd	7.8	0.8	9	0.01	6.41	1.07	0.32	0.16	4.93	0.30	12.9.8.13
NGC 3381	SBbc	3.6	1.2	9.51	0.12	6.95	1.15	0.41	0.17	5.95	0.35	12.9.8.13
NGC 3614	SABc	5.2	0.6	9.85	0.33	7.87	1.07	0.51	0.22	6.16	0.30	12.9.8.13
NGC 3687	Sbc	3.8	0.7	10.05	0.03	8.74	0.97	0.59	0.25	6.73	0.12	12.9.8.13
NGC 4210	Sb	3.1	0.4	10.23	0.26	8.78	1.02	0.61	0.23	7.84	0.28	12.9.8.14
IC 0776	SBd	7.9	0.7	9.3	0.06	7.41	1.12	0.3	0.16	4.74	0.18	12.9.8.13
NGC 4470	Sab	1.9	2.1	9.94	0.02					7.54	0.15	12.8.14
NGC 4961	Sc	5.6	0.8	9.45	0.05	7.13	1.06	0.29	0.14	5.73	0.14	12.9.8.13
NGC 5016	SABb	4.4	0.5	10.2	0.24	8.73	0.89	0.53	0.28	6.56	0.14	12.9.8.13
NGC 5205	SBbc	4	1.4	9.85	0.14	7.44	0.94	0.44	0.23	6.75	0.14	12.9.8.13
NGC 5289	SABa	2	0.3	9.95	0.08					7.7	0.32	12.8.14
NGC 5320	SABc	5.1	0.5	10.13	0.25	8.85	1	0.51	0.21	6.53	0.19	12.9.8.13
NGC 5443	Sb	2.8	0.7	10.27	0.2					7.8	0.18	12.8.14
NGC 5480	Sc	4.9	0.5	10.08	0.13	7.94	1.06	0.44	0.22		0.25	12.9.8
NGC 5520	Sb	3.1	0.4	9.6	0.01					7.4	0.30	12.8.14
NGC 5587	Sa	0.1	0.7	10.27	0.04					7.7	0.56	12.8.14
NGC 5633	Sb	3.2	0.6	10.25	0.2	8.61	1.01	0.39	0.18	7.75	0.15	12.9.8.14
NGC 5630	SBd	7.8	0.8	9.5	0.01					5.41	0.42	12.8.13
UGC 09291	Sc	6.4	1	9.79	0.27	6.97	1.05	0.41	0.18		0.23	12.9.8
NGC 5665	Sc	5	0.4	10	0.02	7.89	1.14	0.43	0.19	7.06	0.25	12.9.8.13
NGC 5957	Sb	2.9	0.5	9.87	0.11	8.78	0.92	0.75	0.38	7.6	0.071	12.9.8.14
IC 1151	SBc	5.1	0.7	9.46	0.01					6.21	0.26	12.8.13
NGC 6063	Sc	5.8	0.5	9.9	0.05	7.58	1.03	0.5	0.22	6.71	0.20	12.9.8.13
NGC 6155	SBbc	4.1	1.9	10.12	0.12	6.29	1.01	0.44	0.2	6.92	0.17	12.9.8.13
NGC 7716	Sb	3	0.5	10.1	0.03	9.17	0.92	0.5	0.22	8	0.19	12.9.8.14
UGC 01862	SABc	6.4	0.8	9.45	0.29					6.52	0.13	12.3.8.13
NGC2599	SA	1	0.4	10.81	0.30					8.5	0.623	12.10.8.14
UGC 06903	Sc	5.8	0.7	9.73	0.44					5.98	0.12	12.10.8.13
UGC 09837	SABc	5.3	0.6	9.87	0.23	5.57	0.89	0.32	0.14	5.29	0.31	12.9.10.13
NGC 0253	SABc	5.1	0.4	10.66	0.08					7	0.85	12.11.8
NGC 1068	Sb	3	0.3	10.62	0.21					6.75	0.030	12.11.8
NGC 1097	SBb	3.3	0.5	11.27	0.13					8.38	0.75	12.11.8
NGC 1300	Sbc	4	0.2	10.24	0.17					7.71	0.096	12.11.8
NGC 1398	Sbab	2	0.3	11.14	0.18					8.03	0.18	12.11.8
NGC 2748	Sbc	4	0.1	10.09	0.22					7.54	0.20	12.11.8
NGC 3031	Sab	2.4	0.6	10.47	0.1					7.83	0.89	12.11.8
NGC 3079	SBc	6.4	1.1	10.6	0.2					6.38	0.33	12.11.8
NGC 3368	Sab	2.1	0.7	10.63	0.09					6.89	0.96	12.11.8
NGC 3627	Sb	3.1	0.4	10.73	0.1					6.95	0.95	12.11.8
NGC 4258	Sbc	4	0.2	10.62	0.1					7.6	0.97	12.11.8
NGC 4303	Sbc	4	0.1	10.44	0.09					6.58	0.215	12.11.8
NGC 4388	SBb	2.8	0.7	10.2	0.24					6.9	0.058	12.11.8
NGC 4395	Sm	8.8	0.5	9.45	0.08					5.64	0.41	12.11.8
NGC 4501	Sb	3.3	0.6	10.53	0.11					7.13	0.76	12.11.8
NGC 4699	SABb	2.9	0.4	10.79	0.58					8.34	0.20	12.11.8
NGC 4736	SABa	2.3	0.8	10.19	0.09					6.78	0.12	12.11.8
NGC 4826	SABa	2.2	0.6	10.35	0.21					6.07	0.99	12.11.8
NGC 5055	Sbc	4	0.2	10.52	0.15					8.94	0.56	12.11.8
NGC 7582	Sbab	2.1	0.5	10.65	0.14					7.67	0.021	12.11.8

Мы получили физические характеристики, такие как название, морфологический тип, код типа галактик из баз данных NED и HYPERLEDA, массу диска, возраст и металличность звезд в диске из работ авторов [8-10]. Также мы получили массу черной дыры из работ авторов [11,13-14], и амплитуду асимметрии из работ авторов [12].

3. Поиск эмпирических соотношений

Нашей целью также было изучение статистической связи между физическими характеристиками диска лопсаидальных спиральных галактик. Для этого мы использовали метод наименьших квадратов, например: Коэффициент корреляции между массой диска и кодом типа составляет $\rho = -0.60$, и соответствующая зависимость выглядит следующим образом:

$$\lg M_{\text{disk}} = (-0.17 \pm 0.03) T + (10.77 \pm 0.14). \quad (1)$$

Лопсаидальность может влиять на скорости аккреции газа, что приводит к неравномерному звездообразанию по всему диску.

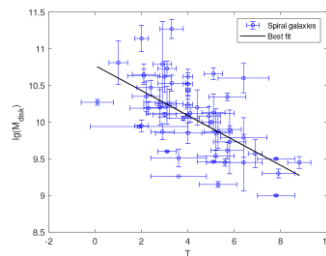


Рис. 1. Соотношение между массой диска и кодом типа лопсаидальных спиральных галактик.

Это, в свою очередь, влияет на массу диска и его эволюцию. На (рис.1) видно, что масса диска максимальна у спиральных галактик типа Sa, но минимальна у спиральных галактик типа Sm.

Мы впервые нашли эмпирическую зависимость между массой диска и возрастом звезд в диске лопсаидальных спиральных галактик, $\rho = 0.75$. Зависимость оказалась следующей.

$$\lg M_{\text{disk}} = (0.28 \pm 0.05)t_D + (7.69 \pm 0.42), \quad (2)$$

Возраст диска может влиять на скорость звездообразования. Более старые диски могут иметь более низкие скорости звездообразования из-за истощения газа, в то время как более молодые диски могут быть более активными в формировании новых звезд. Как видно на (рис.2), чем старше звезды в диске, тем больше масса диска.

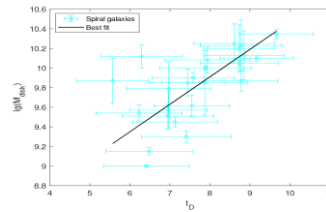


Рис. 2. Соотношение между массой диска и возрастом звезд в диске лопсидальных спиральных галактик.

Мы впервые рассчитали коэффициент корреляции $\text{cc}=0,64$, чтобы определить зависимость между массой диска и металличностью, анализируя образец лопсидальных спиральных галактик. Мы получили следующую эмпирическую зависимость.

$$\lg M_{\text{disk}} = (2.17 \pm 0.57)Z_D + (8.82 \pm 0.27). \quad (3)$$

Металличность диска галактики влияет на ее общую динамику и эволюцию. Наблюдательные исследования показали, что более массивные диски, как правило, имеют более высокую металличность. Это происходит потому, что последовательные поколения звезд производят и рассеиваются [15-16]. Более высокая металличность может влиять на скорость звездообразования, поскольку металлы способствуют охлаждению в межзвездной среде, позволяя газовым облакам коллапсировать и формировать новые звезды из более тяжелых элементов в межзвездной среде [17-18]. Эти идеи можно подтвердить на (рис.3): диск с более высокой металличностью имеет большую массу.

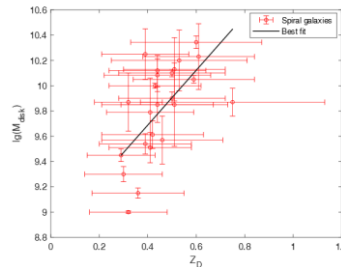


Рис. 3. Соотношение между массой диска и металличностью звезд в диске лопсидальных спиральных галактик.

Мы также впервые обнаружили корреляцию между возрастом и металличностью асимметричного диска с более высоким коэффициентом корреляции $\text{cc}=0,72$. Мы получили эмпирическую корреляцию следующим образом.

$$t_D = (7.05 \pm 1.45)Z_D + (4.46 \pm 0.68) \quad (4)$$

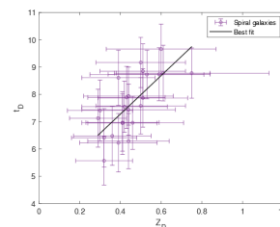


Рис. 4. Соотношение между возрастом и металличностью звезд в диске лопсидальных спиральных галактик.

Это означает, что чем выше металличность диска, тем старше звезды в нем (рис. 4). Такие богатые металлами звезды с большей вероятностью можно найти в спиральных галактиках типа Sa.

Заключение. Впервые составлен список основных физических характеристик диска лопсидальных спиральных галактик. Впервые найдены эмпирические соотношения между основными физическими характеристиками асимметричного диска. Наибольшие значения массы диска соответствуют спиральным галактикам Sa-типа, наименьшие значения массы диска соответствуют спиральным галактикам Sm-типа. Найденные эмпирические соотношения позволяют изучать эволюцию диска.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Salucci, I. A. Yegorova, and N. Drory. MNRAS, **388**, No. 1, 159–164, (2008). doi:10.1111/j.1365-2966.2008.13295.x.
2. A.Kumar, D. Kataria, K. MNRAS, **506**, Issue 1, (2021).
3. T. A. Michtchenko, J. R. Lépine, D. A.Barros, A&A, **615**, A10 (2018).
4. J. E. Baldwin, Lopsided galaxies, MNRAS, **193**, (1980).
5. H.-W. Rix, D. Zaritsky, ApJ, **447**, (1995).
6. J.Ch. Jog, ApJ, **488**, 2, (1997).

7. J. Chanda Jog & Francoise Combes, *Physics Reports*, **471**, 2, (2009).
8. C. Catalán-Torrecilla, *The Astrophysical Journal*, **848**, No. 2, Art. 87, (2017). doi:10.3847/1538-4357/aa8a6d.
9. I. Breda, and P. Papaderos, *Astronomy and Astrophysics*, **614**, Art.A48, (2018). doi:10.1051/0004-6361/201731705.
10. T. P. K. Martinsson, M. A. W. Verheijen, K. B. Westfall, M. A. Bershad, D. R. Andersen, and R. A. Swaters, *Astronomy and Astrophysics*, **557**, Art. A131, (2013). doi:10.1051/0004-6361/201321390.
11. B. L. Davis, A. W. Graham, and E. Cameron, *The Astrophysical Journal*, **869**, No. 2, Art.113, (2018). doi:10.3847/1538-4357/aae820.
12. B. W. Holwerda, *The Astrophysical Journal*, **781**, No.1, Art. 12, (2014). doi:10.1088/0004-637X/781/1/12.
13. B. T. Dullo, A. Y. K. Bouquin, A. Gil de Paz, J. H. Knapen, and J. Gorgas, *The Astrophysical Journal*, 898, No.1 (2020). doi:10.3847/1538-4357/ab9dff.
14. L. I. Caramete, and P. L. Biermann, *Astronomy and Astrophysics*, **521**, Art. A55, (2010). doi:10.1051/0004-6361/200913146.
15. F. Bresolin, *MNRAS*, **488**, No.3, 3826–3843, (2019) doi:10.1093/mnras/stz1947.
16. S. Khoperskov, *Astronomy and Astrophysics*, **671**, Art.A56, (2023). doi:10.1051/0004-6361/202142581.
17. T. J. Looser, *MNRAS*, **532**, No.2, 2832–2841, (2024). doi:10.1093/mnras/stae1581.
18. F. Mannucci, G. Cresci, R. Maiolino, A. Marconi, and A. Gnerucci, *MN RAS*, **408**, No.4, 2115–2127, (2010). doi:10.1111/j.1365-2966.2010.17291.x.