



UDK: 524.6-1/-7

Madina PO'LATOVA,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti
E-mail: polatovamadina84@gmail.com
Salohiddin NURITDINOV,
O'zbekiston Milliy universiteti professori, f.-m.f.d

ChDPU proffesori, f.-m.f.d I.Tajibayev taqrizi asosida

KARRALI TIZIMLARDA QO'SHALOQ GALAKTIKALARNI TOPPISH

Аннотация

Ushbu maqolada 89 ta karrali galaktikalar ro'yxati tuzilgan va ularning morfologik turlari, ular orasidagi masofalar va radial tezlik farqlari asosida statistik tahlil qilingan. Galaktikalar massalari va ularning markazlaridagi qora tuynuklar o'rtasida empirik bog'liqlik aniqlandi. Fizik va optik qo'shaloq galaktikalar uchta mezon asosida ajratildi. Tahlillarga ko'ra, ushbu ro'yxatdagi galaktikalarning 29% fizik juftlik, 71% optik juftlik va juftliklarning aksariyati spiral galaktikalardir.

Kalit so'zlar: Qo'shaloq galaktikalar, karrali galaktikalar, statistik tahlil.

SEARCH FOR BINARY GALAXIES IN MULTIPLE SYSTEMS

Annotation

In this paper, a list of 89 multiple galaxies was compiled and a statistical analysis was performed based on their morphological types, distances between them, and radial velocity differences. An empirical relationship was determined between the masses of the galaxies and the black holes at their centers. Physical and optical binary galaxies were distinguished based on three criteria. According to the analysis, 29% of the galaxies in this list are physical pairs, 71% are optical pairs, and the majority of pairs are spiral galaxies.

Keywords: Binary galaxies, multiple galaxies, statistical analysis.

ПОИСК ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИК В КРАТНЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация

В данной работе составлен список из 89 кратных галактик и на основе их морфологических типов, расстояний между ними и разностей лучевых скоростей проведён статистический анализ. Определена эмпирическая зависимость между массами галактик и чёрных дыр в их центрах. На основе трех критериев выделены физические и оптические двойные галактики. Согласно результатам анализа, 29% галактик в этом списке являются физическими парами, 71% – оптическими парами, а большинство пар – спиральными галактиками.

Ключевые слова: Двойные галактики, кратные галактики, статистический анализ.

Введение. Галактики во Вселенной часто встречаются в их кратных системах и группах различных размеров. Взаимные гравитационные силы, динамические процессы и эволюционные изменения в этих группах делают их важными объектами астрофизических исследований. Одной из простейших многоэлементных систем в популяции галактик является тройная галактика, представляющая собой компактную систему из трёх гравитационно связанных галактик. Однако динамика таких малых систем часто сложна, поскольку их орбитальное поведение, распределение масс и эволюционное состояние зависят от многих факторов [1]. Важность изучения тройных галактик заключается в том, что они являются более простыми системами. Гораздо легче наблюдать такие процессы, как гравитационная неустойчивость, взаимная конвергенция, обмен гравитационной энергией и наличие распределения скрытой массы. В частности, дисбаланс между массой и светимостью галактики, т.е. оценка доли тёмной материи, может быть весьма существенным в тройных системах [2]. В таких системах галактики не подчиняются строгим законам Кеплера, как в двойных системах, а хаотически движутся вокруг общего центра масс. Однако, если одна из галактик в тройной системе доминирует по массе или светимости, движение двух других галактик можно описать как почти замкнутую кеплеровскую орбиту вокруг главного компонента. Согласно исследованиям, галактики, образующие тройные системы, составляют около 5 % от общего числа галактик [3]. Такие системы представляют собой один из важных этапов эволюции галактик и их взаимодействие оказывает существенное влияние на такие процессы, как темпы звездообразования, газодинамика, морфологические изменения и активация центральных сверхмассивных чёрных дыр (СМЧД). Эти процессы изменяют не только внешнюю форму галактик, но также их звездное население и газовый состав [4-6]. Изучение кратных галактик играет решающую роль в ответе на несколько важных вопросов астрофизики: как слияния галактик влияют на скорость звездообразования и морфологическую эволюцию; как происходят слияния сверхмассивных черных дыр и как можно обнаружить их электромагнитные и гравитационные волновые излучения [7]. Изучение кратных галактик углубляет наше общее понимание эволюции целых групп галактик. Согласно классической модели, предложенной Toomre & Toomre (1972), межгалактические взаимодействия являются одним из основных механизмов, которые, в частности, преобразуют спиральные галактики в эллиптические. В ходе этого процесса газ направляется к центру, что приводит к активации

центральных активных ядер. Эта ситуация демонстрирует сильную корреляцию между морфологией галактик, темпами звездообразования и ростом чёрных дыр [8-9].

В данной работе было обнаружено, что стабильные двойные галактики существуют в кратных системах и на основе наблюдательных данных были проанализированы их статистические свойства, а также выделены физически двойные галактики.

Список кратных галактик. Нами сначала был составлен список из 89 пар кратных галактик. Этот список был выбран из каталогов галактик, изученных И.Д. Караченцевым [10], Э. Тернером [11], Петерсоном [12], Морганом и Хартвиком [13], Редузи [14], Соаресом [15], Фокарди [16] и Чамаро [17] с учетом наблюдательных данных последних лет. Координаты, морфологические типы и лучевые скорости галактик были обновлены к эпохе 2000.0 с использованием баз данных NED (NASA Extragalactic Database) и HyperLeda. Масса центральной черной дыры и полная звездная масса каждой галактики были получены на основе научных работ соответствующих авторов [18-28]. В таблице 1 в первом столбце указан номер пары в списке, во втором столбце - количество галактик в паре (строчными латинскими буквами), в третьем столбце - названия галактик (NGC, UGC, IC и т.д.), в четвертом столбце - координаты галактики в 2000 г. (в экваториальной системе координат), в пятом столбце - морфологический тип (E - эллиптические, S — спиральные, SB – бароподобные, SO - линзовидные и Ir - неправильные), в шестом столбце - лучевая скорость в км/с, в седьмом столбце - полная звездная масса, а в восьмом столбце - логарифмическое представление масс центральной черной дыры в единицах массы Солнца. Из-за размера таблицы мы предоставили ее в виде приложения.

Статистический анализ. На основе наблюдательных данных галактик из этого составленного списка был проанализированы их статистические свойства. В ходе анализа была построена гистограмма, соответствующая морфологическим типам галактик. Как видно из рисунка 1, наиболее распространены три кратные галактики S-S-S (27%) далее E-S-S (12%), S-S-SO галактики (12%), SO-SO-S галактики (9%), S-S-Ir и E-SO-S галактики (7%), E-E-S галактики (4%), а E – SO галактики являются наименее распространенными. Из гистограммы видно, что наиболее распространенные спиральные и наименее распространенные эллиптические и линзовидные галактики взаимодействуют друг с другом. Это означает, что спиральные галактики часто образуют связанные пары, тогда как эллиптические галактики обычно одиночные.

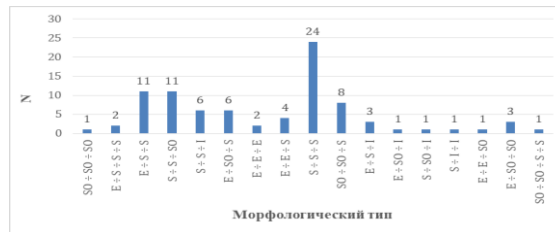


Рисунок 1. Морфологический тип галактик с перемычкой

Наиболее полным, единообразным и детально изученным является каталог И.Д. Караченцева (2008). Исходя из приведенного в его статье условия отрицательности полной энергии и отношения кинетической и потенциальной энергий меньше единицы, из списка кратных галактик были отобраны физически связанные пары. Это условие выглядит следующим образом:

$$E = T + U < 0 \tag{1}$$

Сюда, если поставить свои выражения для T и U

$$T = \frac{1}{2} \mu \Delta V^2 \tag{2}$$

$$U = - \frac{G M_1 M_2}{R} \tag{3}$$

тогда имеем следующее неравенство:

$$\frac{\Delta V^2 R}{2G(M_1 + M_2)} < 1 \tag{4}$$

Итак, в (1) – (4) использованы нижеследующие обозначения:

E — полная энергия пары галактик, T — кинетическая энергия, U — потенциальная энергия, μ — редуцированная масса (эквивалентная масса), M_1 и M_2 — полные звездные массы каждой галактики, ΔV — разность лучевых скоростей двух двойных галактик, R — угловое расстояние между двойными галактиками, G — гравитационная постоянная.

Формула (1) требует, чтобы полная энергия пары галактик была отрицательной, (2) и (3) — формулы для нахождения кинетической и потенциальной энергий пар, и условие (4) требует отношение кинетической энергии к потенциальной меньше единицы. На основании этих условий были выделены физические (т.е. гравитационно связанные и действующие вместе как единая динамическая система) и оптические (т.е. только с точки наблюдения их угловые направления на небе кажутся одинаковыми, но в пространстве они находятся далеко друг от друга) двойные галактики от кратных. В результате расчёта оказалось, что 29% из них связаны физически, а оставшиеся 71% — оптически.

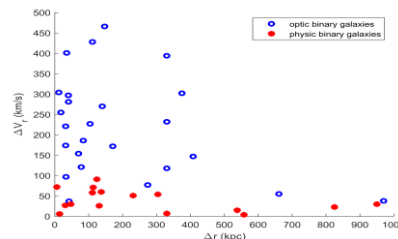


Рисунок 2. Распределение расстояний между двойными галактиками и разности их лучевых скоростей.

Как видно из рисунка 2, расстояние между физически связанными парами не превышает 500 кпк, а между оптическими парами – менее 1000 кпк. Разность лучевых скоростей для физически связанных пар лежит в диапазоне (0 ÷ 100) км/с, а для оптических пар – в диапазоне (50 ÷ 500) км/с. Действительно, мы видим, что среднее расстояние между физически двойными галактиками, приведённое в статье И.Д. Караченцева (2008), соответствует значениям 123 кпк, а средняя разность лучевых скоростей – 35 км/с. Отсюда следует, что наше распределение верно.

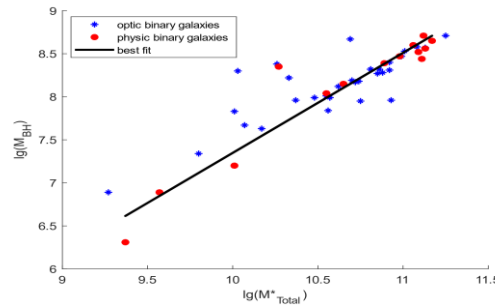


Рисунок 3. Соотношение между общей звездной массой каждой галактики и массой ее центральной черной дыры

На рисунке 3 красным цветом обозначены физические двойные галактики, синим — оптические двойные галактики, а прямой линией обозначена наилучшая связь. Для физически связанных пар было найдено эмпирическое соотношение между полной звездной массой каждой галактики и массой центральной чёрной дыры:

$$M_{BH} = (1,16 \pm 0,11)M^* + (-4,28 \pm 1,14), \quad c = 0,95 \quad (5)$$

Это соотношение (5) показывает, что в физически связанных парах масса центральной чёрной дыры каждой из них тесно связана с их полной звездной массой. Это означает, что эволюция галактик и рост центральной чёрной дыры являются взаимосвязанными процессами.

Заключение. В данной работе на основе наблюдательных данных был проанализирован статистический анализ 89 двойных галактик. На основании полученных результатов галактики были классифицированы по морфологическим типам, и наиболее распространёнными среди них оказались спиральные типы. В ходе исследования физические и оптические двойные галактики были выделены из кратных систем и проанализированы распределения их основных параметров (расстояние между парами, разности лучевых скоростей, полной звездной массы каждой галактики и масс центральных черных дыр). Результаты расчетов показали, что 29% пар физически связаны взаимным гравитационным притяжением, а остальные 71% представляют собой пары, которые находятся лишь оптически близко из точки наблюдения. Расстояние между физически связанными парами составляет менее 500 кпк, а оптических пар — менее 1000 кпк, а разность лучевых скоростей находится в диапазоне (0 ÷ 100) км/с в физических парах и в диапазоне (50 ÷ 500) км/с в оптических парах. Эти результаты помогут глубже понять природу взаимодействий между кратными галактиками, определить роль слияний и гравитационных процессов в эволюции галактик. В будущем более детальное изучение этих систем на основе многоволновых наблюдений (оптических, инфракрасных, радиоволновых) позволит нам определить процессы звездообразования и динамику роста центральных чёрных дыр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karachentsev I. D. Observational Properties of Triple Galaxies // Small Galaxy Groups. ASP Conference Series. — Vol. 209. — 2000. — Eds. M. Valtonen, C. Flynn.
2. Karachentsev D., Karachentseva V. E., Lebedev V. S. Triple Galaxies and a Hidden Mass Problem // Paired and Interacting Galaxies : Proceedings of the IAU Colloquium No. 124. — 1990. — P. 69–78. — DOI: 10.1017/S0252921100004978.
3. Chermín, A. D., „Triplets of Galaxies: Their Dynamics, Evolution, and the Origin of Chaos in Them“ (1990)
4. Toomre, A. and Toomre, J. (1972). *Galactic bridges and tails*. *The Astrophysical Journal*, 178, 623–666.
5. Barnes, J. E. (1992). *Transformations of galaxies. II. Mergers of disk galaxies*. *The Astrophysical Journal*, 393, 484–507.
6. Mihos, J. C. and Hernquist, L. (1996). *Gasdynamics and starbursts in major mergers*. *The Astrophysical Journal*, 464, 641–663.
7. Capelo, P. R., Volonteri, M., Dotti, M., Bellovary, J. M., Mayer, L., & Governato, F. (2017). *A survey of dual active galactic nuclei in simulations of galaxy mergers: Frequency and properties*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 469(4), 4437–4455.
8. Hopkins, P. F., Hernquist, L., Cox, T. J., Di Matteo, T., Robertson, B., & Springel, V. (2006). *A unified, merger-driven model of the origin of starbursts, quasars, the cosmic X-ray background, supermassive black holes, and galaxy spheroids*. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 163, 1–49.
9. Springel, V., Di Matteo, T. and Hernquist, L. (2005). *Modelling feedback from stars and black holes in galaxy mergers*. *Nature*, 435, 629–636.
10. Karachentsev, I. D. (2008). Двойные галактики в местном сверхскоплении и его окрестностях. *Astrophysical Bulletin*, 63(5), 299–309.
11. Turner E.L. Binary Galaxies. I. *Astrophysical Journal*. 208: P.20-29, 1976
12. Peterson, S. D. (1979). *Double galaxies. I. Observational data on a well-defined sample*. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 40, 527–562.
13. Morgan, C. G., & Hartwick, F. D. A. (1988). Cosmology from a Galaxy Group Catalog. I. Binaries. *The Astrophysical Journal*, 328, 49–66.

14. Reduzzi, L., & Rampazzo, R. (1995). *The ESO–LV galaxy pairs atlas*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 109, 133–188.
15. Soares, D. S. L., R. E. de Souza, R. R. de Carvalho, and T. C. Couto da Silva. “Southern Binary Galaxies. I. A Sample of Isolated Pairs.” *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*
16. Focardi, P., & Kelm, B. (2006). *A new sample of bright galaxy pairs in UZC*. Astronomy & Astrophysics, 456, 467–479. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053861>
17. Chamaraux, Pierre, Luc Nottale, and Laurence Peretto. “A Catalog of UGC Isolated Galaxy Pairs with Accurate Radial Velocities.” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 592, 2016, p. A95.
18. Caramete, L. I., & Biermann, P. L. (2010). *The mass function of nearby black hole candidates*. Astronomy & Astrophysics, 521, A55.
19. Biteau, Jonathan. “Stellar Mass and Star Formation Rate within a Billion Light-Years.” *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2021. arXiv:2105.11345 [astro-ph.CO].
20. Mineo, S., M. Gilfanov, and R. Sunyaev. “X-ray Emission from Star-Forming Galaxies – I. High-Mass X-ray Binaries.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 419, no. 3, 2012, pp. 2095–2115.
21. Koss, M. J., Trakhtenbrot, B., Ricci, C., Oh, K., Bauer, F. E., Stern, D., Caglar, T., den Brok, J. S., Mushotzky, R., Ricci, F., Mejía-Restrepo, J. E., Lamperti, I., Treister, E., Bar, R. E., Harrison, F., Powell, M. C., Privon, G. C., Riffel, R., Rojas, A. F., Schawinski, K., & Urry, C. M. (2022). *BASS XXVI: DR2 Host Galaxy Stellar Velocity Dispersions*. The Astrophysical Journal Supplement Series, 261(6).
22. Pérez-Díaz, B., Masegosa, J., Márquez, I., & Pérez-Montero, E. (2021). *Chemical abundances in the nuclear region of nearby galaxies from the Palomar Survey*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 505, 4289–4309.
23. Nuritdinov, S., Mirtadjieva, K., & Omonov, A. (2011). *Analysis of data on lopsided galaxies and theories of their formation*. *Astrophysics*, 54(1), 71–78.
24. Georgiev, Iskren Y., Torsten Böker, Nathan Leigh, Nora Lützgendorf, and Nadine Neumayer. “Masses and Scaling Relations for Nuclear Star Clusters, and Their Coexistence with Central Black Holes.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 000, 2016, pp. 1–22. arXiv:1601.02613 [astro-ph.GA].
25. Reines, A. E., & Volonteri, M. (2015). *Relations between central black hole mass and total galaxy stellar mass in the local universe*. *The Astrophysical Journal*, 813(2), 82.
25. Van den Bosch, R. C. E. (2016). *Unification of the fundamental plane and supermassive black hole masses*. *The Astrophysical Journal*, 831(2), 134.
26. Williams, D. R. A., Baldi, R. D., Beswick, R. J., Maccarone, T. J., McHardy, I. M., Panessa, F., Pérez-Torres, M. A., & Wrigley, N. (2022). *LeMMINGS IV: The X-ray properties of a statistically-complete sample of the nuclei in active and inactive galaxies from the Palomar sample*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 514(1), 590–617.
27. Greene, J. E., et al. “Megamaser Disks Reveal a Broad Distribution of Black Hole Mass in Spiral Galaxies.” *The Astrophysical Journal*, draft version July 31, 2018. arXiv preprint [astro-ph.GA].