АКТИВНЫЕ ЯДРА СРЕДИ ГАЛАКТИК С ПОЛЯРНЫМ КОЛЬЦОМ

Д. В. Смирнов

Санкт-Петербургский государственный университет

Используя данные SDSS, исследована статистика ядерной активности галактик с полярным кольцом (ГПК). Построены и проанализированы BPT-диаграммы для выборок ГПК и выборок сравнения. Полученный результат говорит в пользу избытка активных ядер среди ГПК по сравнению с нормальными объектами. Приведена возможная трактовка наблюдаемого эффекта.

ACTIVE GALACTIC NUCLEI AMONG POLAR-RING GALAXIES

D. V. Smirnov

St. Petersburg State University

Based on SDSS data the nuclear activity statistics of the polar-ring galaxies (PRGs) was investigated. BPT-diagrams for PRGs and comparison samples were plotted and analyzed. Obtained results show evidence of excess of active galactic nuclei among PRGs compared to regular objects. Possible interpretation of such effect is discussed.

Введение

Галактики с полярным кольцом (ГПК) состоят из двух подсистем: центральной галактики и протяженного кольца или диска, расположенного почти перпендикулярно большой оси центрального объекта. В подавляющем большинстве случаев центральные объекты ГПК бедны газом и являются представителями поздних (E/S0) типов. Полярные структуры, наоборот, имеют голубые показатели цвета и богаты газом.

На данный момент предложено несколько сценариев формирования ГПК: слияние двух дисковых галактик, аккреция газа при близком пролете, захват и разрушение спутника. Подобные взаимодействия должны сопровождаться аккрецией газа на центральную галактику, например, численные симуляции показывают, что в случае слияния галактик (merging scenario [1]) около 10–20 % газа попадает в центральные области сформировавшегося объекта. Вековая эволюция полярных структур также может вызывать аккрецию газа к центру. Аккреция газа на центральный массивный объект в ядрах галактик является основным механизмом нетепловой ядерной активности. Учитывая особенности формирования и эволюции ГПК, возникает вопрос о ядерной активности ГПК.

Данные и методика

В работе рассматривались галактики из каталога SPRC [2], в котором приведены данные о 275 кандидатах в ГПК, разделенных на четыре группы: лучшие кандидаты, хорошие кандидаты, связанные объекты и кольца, видимые плашмя. Спектральные наблюдения показывают, что большая часть первой группы — кинематически подтвержденные ГПК. Эта группа была дополнена объектами из работы [3], в ней описывается 31 галактика из SDSS (DR15 [4]), морфологически подобная первой группе из каталога SPRC.

Для всех вышеперечисленных объектов были получены необходимые фотометрические и спектральные данные из обзора SDSS (<https://www.sdss.org>). Фотометрические данные были исправлены за поглощение в Галактике и k -поправку. Спектральные данные были исправлены за поглощение с использованием бальмеровского декримета (истинное отношение было принято равным 2.86) и кривой межзвездного поглощения Калцетти. В дальнейшем при классификации галактик рассматривались только те объекты, для которых выполнялось условие $S/N > 3$ во всех эмиссионных линиях. Это ограничение оставило в рассмотрении 183 объекта.

Для каждой группы ГПК была составлена выборка сравнения, так чтобы распределения объектов в них по абсолютной величине в полосе r , показателю цвета $g - r$ и красному смещению были близки к наблюдаемым распределениям для ГПК. Для этого из обзора SDSS случайным образом извлекались галактики в соответствии с плотностями вероятности, задаваемыми наблюдаемыми распределениями характеристик ГПК. Объем выборок сравнения составил от 17 до 55 тыс. объектов.

Для классификации галактик были использованы классические BPT-диаграммы (Baldwin, Phillips & Telervich [5]). Они позволяют разделить объекты с разными источниками ионизации, сравнивая отношения потоков в разных эмиссионных линиях (см. рисунок). На диаграммы нанесены штриховые линии, отделяющие галактики со звездообразованием (они находятся ниже этой линии) от галактик с активным ядром (выше этой линии). Прямые отделяют сейфертовские (SyG) галактики от LINER (Low-Ionization Narrow Emission-line Region) галактик. В работе была использована классификационная схема из работы [6]. При анализе диаграмм мы считали, что галактика имеет активное ядро, если она расположена выше пунктирной линии на всех трех диаграммах. Таким образом, в категорию галактик с активным ядром попали Sy галактики, LINEAR галактики и так называемые галактики с составным ядром (подробнее см. [7]).

BPT-диаграммы для лучших кандидатов в ГПК (черные кружки) и выборки сравнения (серые кружки). Линиями обозначены границы для разных типов активных ядер согласно [6]

Результаты и обсуждение

Результаты проведенного анализа даны в таблице, в скобках указано число объектов. Во избежание нежелательных статистических эффектов было рассмотрено 50 реализаций выборок сравнения, в таблице приведено усредненное значение, ошибки $\sim 0.01\%$ и в дальнейшем не указываются. Видно, что выборки ГПК и выборки сравнения показывают хорошее согласие в долях активных ядер. Однако у лучших кандидатов наблюдается некоторое превышение доли активных ядер по сравнению с соответствующей выборкой сравнения (50 против 40 %). Среди лучших кандидатов выделено 6 сейфертовских галактик ($11.5 \pm 4.4\%$) и 16 LINEAR галактик ($30.8 \pm 6.4\%$), в выборке сравнения эти значения составляют 6.9

Выборка	ГПК	Выборка сравнения
Все ГПК	$26 \pm 3\%$ (48)	25 %
Лучшие кандидаты + PM2019	$50 \pm 7\%$ (26)	40 %
Хорошие кандидаты	$12 \pm 4\%$ (10)	16 %
Связанные объекты	$24 \pm 8\%$ (7)	29 %
Кольца плашмя	$24 \pm 9\%$ (5)	26 %

и 23 % соответственно. То есть избыток активных ядер среди лучших кандидатов наблюдается и среди SyG, и среди LINEAR галактик. Детальное рассмотрение показывает, что при $M_r \leq -20^m$ доля активных ядер среди лучших кандидатов в ГПК примерно вдвое превышает долю активных ядер среди обычных галактик той же светимости. Этот факт в условиях скромной статистики может говорить в пользу существования наблюдаемого избытка активных ядер среди лучших кандидатов.

Для зажигания активного ядра необходимо (но недостаточно) наличие холодного газа в центральных областях галактики. Как уже говорилось выше, формирование ГПК может приводить к выпадению газа в центральные области ГПК. Однако на больших временах требуется постоянный приток газа к центральным областям для поддержания ядерной активности. Таким источником может служить взаимодействие полярного кольца и центральной галактики, приводящее к падению газа на последнюю. Признаки такого взаимодействия были обнаружены в некоторых ГПК [8]. Однако механизмы транспортировки этого газа к центральным областям остаются неизученными.

Заключение

На основе спектральных данных из обзора SDSS изучена встречаемость активных ядер среди галактик с полярным кольцом. Анализ BPT-диаграмм указывает на возможный избыток активных ядер среди лучших кандидатов в ГПК. Однако данный результат основан на небольшом числе известных объектов и нуждается в дальнейшем подтверждении.

Автор выражает благодарность В. П. Решетникову, под чьим руководством была выполнена данная работа. Более подробное описание этой работы можно найти в [7].

Библиографические ссылки

- [1] *Bournaud F., Combes F.* Formation of polar ring galaxies // *Astron. Astrophys.* — 2003. — Vol. 401. — P. 817–833. [astro-ph/0301391](#).
- [2] *Moiseev A. V., Smirnova K. I., Smirnova A. A., Reshetnikov V. P.* A new catalogue of polar-ring galaxies selected from the Sloan Digital Sky Survey // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2011. — Vol. 418, № 1. — P. 244–257. [1107.1966](#).
- [3] *Reshetnikov V. P., Mosenkov A. V.* New candidates to polar-ring galaxies from the Sloan Digital Sky Survey // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2019. — Vol. 483, № 2. — P. 1470–1480. [1811.10222](#).
- [4] *Aguado D. S., Ahumada R., Almeida A. et al.* The Fifteenth Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: First Release of MaNGA-derived Quantities, Data Visualization Tools, and Stellar Library // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 2019. — Vol. 240, № 2. — P. 23. [1812.02759](#).

- [5] *Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R.* Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects // *Public. Astron. Soc. Pacific.* — 1981. — Vol. 93. — P. 5–19.
- [6] *Kewley L. J., Groves B., Kauffmann G., Heckman T.* The host galaxies and classification of active galactic nuclei // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2006. — Vol. 372, № 3. — P. 961–976. **astro-ph/0605681**.
- [7] *Smirnov D. V., Reshetnikov V. P.* Active Galactic Nuclei among Polar-Ring Galaxies // *Astronomy Letters.* — 2020. — Vol. 46, № 8. — P. 501–508. **2010.03349**.
- [8] *Egorov O. V., Moiseev A. V.* Metallicity and ionization state of the gas in polar-ring galaxies // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2019. — Vol. 486, № 3. — P. 4186–4197. **1904.02513**.