

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

УДК 524.7-42

СМИРНОВА Александрина Андреевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК,
НАХОДЯЩИХСЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.**

(01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико–математических наук

Нижний Архыз – 2007

Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории
Российской Академии Наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
В. Л. АФАНАСЬЕВ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
В. П. РЕШЕТНИКОВ

кандидат физико-математических наук
Д. И. МАКАРОВ

Ведущая организация: Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга, Москва

Защита состоится 12 апреля 2007 г. в 10 часов на заседании Диссертационного совета Д 002.203.01 при Специальной Астрофизической Обсерватории РАН по адресу: 369167, КЧР, Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан "07" марта 2007 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

МАЙОРОВА Е.К.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы

Сам термин “активные галактические ядра” говорит о том, что наблюдаемые свойства центральных областей галактик не могут быть объяснены только процессами образования и эволюции звездного населения. Изучаемые в данной работе сейфертовские галактики - это, как правило, дисковые галактики с ярким звездоподобным активным ядром.

Впервые, как отдельный класс объектов, галактики с сильными эмиссионными спектрами в ядрах выделил в своей работе Карл Сейферт. Он опубликовал исследование 6 таких галактик (Сейферт, 1943), впоследствии за ними закрепилось название сейфертовские. Серьезный интерес к этим объектам был вызван публикацией Первого списка Бюраканского обзора “Галактик с УФ континуумом” (Маркарян, 1967), в котором было обнаружено большое число подобных галактик. Уже около полувека исследование сейфертовских галактик ведется довольно интенсивно. Однако, основная проблема - проблема активности их ядер остается неразрешенной до сих пор. По каким причинам ядра одних галактик являются активными, а других нет? Что это: короткая стадия в жизни любой галактики или принципиальное отличие ядра? На все эти вопросы пока нет однозначного ответа. По современным представлениям (согласно картине, являющейся практически общепринятой), основной источник энергии в этих объектах - аккреция на сверхмассивную черную дыру, расположенную в центре галактики. Главной проблемой остается механизм транспортировки газа в область контролируемой гравитацией центрального объекта. Именно, необходимо отнять значительную часть углового момента у газа, изначально находящегося на расстояниях в несколько килопарсек от центра, чтобы обеспечить его движение к ядру (см. обзоры Комб, 2001; Уада, 2004). На протяжении последних десятилетий были предприняты многочисленные попытки связать присутствие сейфертовского ядра с какими-либо свойствами родительской галактики, такими как наличие центральной перемычки или даже двойного бара (Шлосман и др., 1989; Лэйн и др., 2002), либо внутренней мини-спирали (Мартини и др., 2003; Маркес и др., 2004). Многие авторы старались обнаружить связь между наличием у галактики активного ядра и ее окружением: при-

сутствием спутников или следов взаимодействия (Дахари, 1985; де Робертис и др., 1998; Шмит, 2001; Кнайпен, 2005). Однако, ни в одной из перечисленных работ не было найдено значимой корреляции рассматриваемых выше признаков с активностью.

В некоторых работах посвященных этой проблеме высказывалось предположение о том, что механизм возбуждения и поддержания активности может быть многосложным и зависеть сразу от нескольких причин (см., например, статью Мартини и др. (2003) и ссылки в ней). В любом случае ясно, что только при подробном рассмотрении кинематики и динамики внутренних (100 – 1000 пк) областей активных галактик, можно понять почему в данном конкретном случае “топливо” попадает в область действия гравитационных сил “центральной машины”.

Детальному исследованию избранных галактик с активными ядрами и выяснению механизмов поставки “топлива” в их центральные области и посвящена данная диссертация.

Галактики по-разному проявляют свою активность. Одним из наиболее впечатляющих проявлений активности являются джеты – коллимированные истечения из центральных областей галактик. При этом линейные масштабы этих явлений могут сильно различаться. Так, радиоджеты из гигантских радиогалактик могут наблюдаться на расстояниях до сотен килопарсек от центра. В сейфертовских галактиках ситуация иная. С одной стороны, значительно меньше (по сравнению с радиогалактиками) энергетика “центральной машины”. С другой стороны, в дисковых галактиках радиоджет вторгается в плотную межзвездную среду газового диска и начинает взаимодействовать с ней уже на расстоянии несколько десятков парсек от центра. По этим причинам размеры радиоджетов в спиральных и линзовидных галактиках за редкими исключениями не превышают нескольких килопарсек. Для объектов подобного рода требуются наблюдения в радиодиапазоне с высоким угловым разрешением, поэтому, на сегодняшний момент, джеты в них исследованы гораздо меньше, нежели в радиогалактиках. Те или иные признаки существования джета, исходящего из активного ядра обнаружены во многих сейфертовских галактиках. Однако, наибольший интерес представляют объекты, в которых существование коллимированного истечения подтверждено радионаблюдениями. Для таких галактик интересно проследить взаимодействие джета с межзвездными облаками газа. Поскольку размеры джета в большинстве случаев не

превышают нескольких сотен парсек, то о его присутствии мы можем судить по тому влиянию, которое он оказывает на окружающий его газ. Наблюдательные проявления влияния джета на межзвездную среду в галактиках с активными ядрами могут пролить свет на особенности существования и действия их “центральной машины”.

Однако, несмотря на обилие теоретических работ (Феррари и др., 2000; Сакстон и др., 2005), наблюдательное изучение процессов взаимодействия джета и межзвездной среды рассмотрено лишь на примере нескольких близких сейфертовских галактик с наиболее протяженными радиоструктурами.

Наш опыт панорамной спектроскопии с прибором MPFS показал, что материал, полученный на 6-м телескопе САО РАН, может использоваться для анализа проявлений джетов даже в тех объектах, где радиоструктуры весьма компактны (размером менее 1 кпк или 2-3'' в угловой мере). Панорамная спектроскопия является мощным инструментом в исследовании галактик с активными ядрами. Применение этого метода позволяет получать независимую спектральную информацию от отдельных участков протяженного объекта, равномерно заполняющих поле зрения прибора. Существенное отличие наблюдений на 6-м телескопе БТА - это использование как сканирующего интерферометра Фабри-Перо (ИФП), так и полевого спектрографа MPFS для исследования одного и того же объекта. С одной стороны, MPFS позволяет получать спектры в широком диапазоне длин волн (тысячи Å), что необходимо для спектrophотометрических исследований, изучения движения газа в различных эмиссионных линиях, измерения лучевых скоростей и дисперсии скоростей звезд. Единственный недостаток – небольшое поле зрения (до 16''). С другой стороны, сканирующий интерферометр Фабри-Перо, хотя и обладает небольшим спектральным диапазоном, в который попадает только одна эмиссионная линия (или две близкие), но зато имеет очень большое поле зрения (до 6'), намного превосходящее поле зрения не только современных, но и проектируемых интегрально-полевых спектрографов. Наблюдая один объект с помощью обоих вышеперечисленных методов, можно скомпенсировать их недостатки и объединить достоинства и, таким образом, увеличить количество анализируемой информации. Впервые этот принцип был продемонстрирован Афанасьевым и др. (1996), а в представленной диссертации он реализован на новом аппаратно-методическом уровне.

Задача изучения сейфертовских галактик на 6-м телескопе по

прежнему не потеряла актуальности, хотя наш телескоп и не является крупнейшим в мире, а пространственное разрешение наших спектрографов заметно уступает таковому на 8-м метровых телескопах (с приборами подобными SINFONI или GMOS). Однако, в задаче изучения активных галактик, наличие большего поля зрения оказывается часто более важным чем высокое пространственное разрешение, а комбинация сканирующего ИФП и MPFS позволяет получать разнообразные данные как по кинематике, так и по спектрофотометрии.

Цели и задачи исследования

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Детальное изучение методами двумерной спектроскопии кинематики и морфологии избранных сейфертовских галактик для выявления наиболее вероятного механизма поставки “топлива” в их центральные области.
2. Использование глубоких изображений в различных цветовых полосах, эмиссионных линиях и континууме для выявления следов недавнего взаимодействия как то: оболочек низкой поверхностной яркости, ярких конденсаций – остатков от разрушенного спутника.
3. Используя методы панорамной спектроскопии с высоким отношением сигнал/шум, детально исследовать морфологические и кинематические особенности центральных областей избранных сейфертовских галактик на предмет изучения взаимодействия центрального радиоджета с окружающей его межзвездной средой.

В работе рассматриваются галактики на разных стадиях взаимодействия - от довольно экзотичного слияния сразу с двумя спутниками до взаимодействия с ближайшим членом окружения.

Научная новизна

В данной работе *впервые* проведено детальное исследование галактик с активными ядрами с использованием двух принципиально раз-

ных методов панорамной спектроскопии: мультиспектрального спектрографа MPFS и сканирующего интерферометра Фабри-Перо. Исследование сейфертовских галактик с MPFS позволяет изучить движение газа и звезд в непосредственной окрестности активного ядра, в то время как использование ИФП дает нам возможность проследить движение газа на гораздо больших масштабах и получить информацию о распределении газовой и звездной составляющих галактик по всему диску.

Впервые получены доказательства взаимодействия галактики Mrk315 сразу с двумя спутниками и объяснена природа структур низкой поверхностной яркости, расположенных в окрестности этого объекта. *Впервые* обнаружено поглощение галактикой NGC6104 спутника, а в Mrk533 найдены как потоки газа на центр галактики, так и истечения из ядра, связанные с тесным взаимодействием с одним из членов скопления. Также выявлены механизмы поставок газа к ядру этих галактик.

Научная и практическая значимость работы

Полученные в диссертации результаты:

1. Могут служить основой для моделирования процессов взаимодействия галактик начиная от поглощения галактики-спутника и до взаимодействия с ближайшим членом окружения.
2. Могут внести поправки в статистические исследования взаимодействующих и изолированных галактик как с активными ядрами, так и без. Уточнение критерия “изолированности”, т.е. учет процента галактик, находящихся на той стадии взаимодействия, когда визуальные и фотометрические критерии уже не дают достаточно информации, может значительно повлиять на результаты статистических исследований больших выборок галактик.

Основные результаты, выносимые на защиту

На защиту выносятся:

1. Результаты детальной панорамной спектроскопии 3-х сейфертовских галактик полученные на 6-м телескопе САО РАН

– двумерные распределения лучевых скоростей газа и звезд в околоядерных областях, крупномасштабные поля скоростей ионизованного газа, кривые вращения газа и звезд, результаты спектрофотометрического анализа состояния ионизованного газа в околоядерных областях. Данные поверхностной BVR-фотометрии.

2. Обнаружение карликовой галактики-спутника, взаимодействующей с Mrk315. Выяснение природы джетоподобной структуры, являющейся следом от еще одной галактики, которая прошла сквозь гало Mrk315 теряя газ и звезды. Связь факта активности ядра Mrk315 с многократным взаимодействием со спутниками.
3. Обнаружение поглощения галактикой NGC6104 спутника. Выявление механизмов поставки газа в центр NGC6104 и поддержания активности ее ядра.
4. В галактике Mrk533 найдена и изучена многоуровневая картина радиальных движений газа: потоки газа к ядру вдоль спиральных рукавов и бара сменяются на расстояниях 1-2 кпк от центра истечением из ядра. Вблизи ядра обнаружена стратификация области формирования эмиссионных линий на три компонента с лучевыми скоростями от 30 до 700 км/с. Показано, что наблюдаемая картина является результатом вторжения релятивистского джета в окружающую среду

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ciroi S., Afanasiev V.L., Moiseev A.V., Botte V., Di Mille F., Dodonov S.N., Rafanelli P., Smirnova A.A., “*New photometric and spectroscopic observations of the Seyfert galaxy Mrk 315*” // 2005, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS), vol. 360, p. 253
2. Smirnova A.A., Moiseev A.V., Afanasiev V.L., “*Studying of some Seyfert galaxies by means of panoramic spectroscopy* ” // 2005, Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplement (MSAIS), vol. 7, p. 40

3. Смирнова А.А., Моисеев А.В., Афанасьев В.Л. “Наблюдательные свидетельства “питания” активных ядер галактик. I. Случай NGC6104 – поглощение спутника.” // 2006, Письма в Астрономический Журнал (ПАЖ), том 32, с. 577
4. Smirnova A.A., Moiseev A.V., Afanasiev V.L. “*Panoramic spectroscopy of some Sy galaxies.*” // 2006, International Astronomical Union. Symposium 235 (IAUS) (To be published by Cambridge University Press, eds. F. Combes & J. Palous) 235E, p. 367
5. Moiseev A.V., Smirnova A.A., Afanasiev V.L. “*Fuelling of galactic circumnuclear regions: 3D spectroscopy view.*” // 2006, International Astronomical Union. Symposium 235 (IAUS) (To be published by Cambridge University Press, eds. F. Combes & J. Palous) 235E, p. 286
6. Smirnova A.A., Moiseev A.V., Afanasiev V.L. “*Studying of some Seyfert galaxies by means of panoramic spectroscopy.*” // in “Science Perspectives for 3D Spectroscopy” (eds. M. Kissler-Patig, M.M. Roth и J.R. Walsh), ESO Astrophysics Symposia, 2007, accepted
7. Smirnova A.A., Gavrilovic N., Moiseev A.V., Popovic L.C., Afanasiev V.L., Jovanovic P., Davcic M. “*The Gas Kinematics in Mrk533 Nucleus and Circumnuclear region: A Gaseous Outflow.*” // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS), 2007, in press, astro-ph/0702679

Личный вклад автора

В перечисленных выше работах автору принадлежат:

В работе [1] – обработка и анализ данных полученных с помощью интерферометра Фабри-Перо, совместный с другими соавторами анализ данных MPFS. Обсуждение результатов наравне с другими соавторами.

В работах [2], [3], [4], [6] – постановка задачи, получение части используемого наблюдательного материала на 6-м телескопе САО РАН, обработка данных и их анализ, обсуждение результатов наравне с другими соавторами.

В работе [5], [7] – получение части используемого наблюдательно-го материала на 6-м телескопе САО РАН, обработка и анализ данных MPFS, вклад автора в анализ и обсуждение результатов равноправен с другими соавторами.

Апробация результатов

Основные результаты диссертации докладывались на семинаре САО РАН, а также на 2-х всероссийских и 4-х международных конференциях:

1. Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2004), Москва, 2004
2. Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM-2004), Испания, 2004
3. 5th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics (SCSLSA), Сербия, 2005
4. “Science Perspectives for 3D Spectroscopy” (ESO Workshop), Германия, 2005
5. “Астрономия 2006: традиции, настоящее и будущее”, Санкт-Петербург, 2006
6. IAU XXVIth General Assembly, Symposium 235 “Galaxy Evolution Across the Hubble Time”, Чехия, 2006

Краткое содержание диссертации

Диссертация состоит из Введения, 4-х глав и Заключения; содержит 26 рисунков, 5 таблиц. Список цитируемой литературы включает 128 наименований. Общий объем диссертации – 110 страниц.

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, цели и задачи исследования. Отмечается новизна применяемого подхода к изучению галактик с активными ядрами, обсуждается научная и практическая значимость работы, формулируются основные результаты,

выносимые на защиту, приводится список работ, в которых опубликованы результаты диссертации с указанием личного вклада автора в совместных публикациях.

Первая глава посвящена описанию особенностей наблюдений, обработки и методам анализа данных панорамной спектроскопии. Подавляющее большинство наблюдательного материала было получено в прямом фокусе 6-м телескопа САО РАН. Центральные области галактик наблюдались с мультизрачковым волоконным спектрографом MPFS. Для получения информации о внешних частях галактик и их окружении применялся редуктор светосилы SCORPIO в следующих режимах: сканирующий интерферометр Фабри-Перо (ИФП), длинная щель, прямые изображения в широких фильтрах.

В **разделе 1.1** рассматриваются наблюдения и основные шаги обработки данных полученных с панорамным спектрографом MPFS. Мультизрачковый волоконный спектрограф MPFS (Афанасьев и др., 2001) позволяет одновременно регистрировать спектры от 256 пространственных элементов, конструктивно выполненных в виде прямоугольного массива линз размером 16×16 элементов при масштабе от $0.5''$ до $1''$ на элемент. Для обработки наблюдательных данных использовался пакет программ, работающий в среде IDL. Подробно перечислены основные этапы обработки, результатом которой является “куб данных”, где каждому элементу изображения соответствует спектр.

В **разделе 1.2** описываются различные режимы наблюдений с универсальным прибором SCORPIO и процесс первичной редукции данных. SCORPIO (Афанасьев, Моисеев, 2005) позволяет выполнять спектральные и фотометрические наблюдения в поле зрения около $6'$.

Для изучения внешних областей галактик и их окружения проводились наблюдения со сканирующим интерферометром Фабри-Перо в спектральном интервале вокруг линий H_α или [OIII]. Методика обработки данных описана Моисеевым (2002). Результатом обработки является “куб данных”. Поле лучевых скоростей и монохроматическое изображение в линии строились по результатам гаусс-аппроксимации контура эмиссионной линии. Как правило нам хватало одной гаусс-функции, но в некоторых случаях приходилось использовать два и более гаусс-профиля.

Далее описывается процесс обработки данных полученных с прибором SCORPIO в режимах щелевой спектроскопии и прямых изоб-

ражений.

В **разделе 1.3** излагаются основные методы анализа данных панорамной спектроскопии. Методика построения полей скоростей звездной составляющей галактик основана на классической кросс-корреляционной технике, адаптированной для работы с данными MPFS (Моисеев, 2001). Результатом являются поля лучевых скоростей и дисперсии скоростей звезд. Для того, чтобы исследовать природу отклонений от нормального (кругового) вращения газа и звезд в исследуемых объектах, к полученным полям скоростей применялся метод “наклонных колец”. А чтобы определить какой тип ионизации преобладает в той или иной области галактики, мы использовали метод ионизационных диаграмм, основанный на анализе отношений интенсивностей двух пар эмиссионных линий. Исходя из анализа этих диаграмм, мы можем определить в какой из областей исследуемой галактики (в поле зрения MPFS) доминируют нетепловая, тепловая или ударная ионизации.

Вторая глава посвящена исследованию активной галактики Mrk315, претерпевшей взаимодействие сразу с двумя спутниками.

В **разделе 2.1** дан обзор литературы, посвященной этому объекту. Mrk315 – эллиптическая галактика (согласно базе данных LEDA), относится к промежуточному типу Seyfert 1.5. Первое детальное исследование Mrk315 было проведено МакКенти (1986). Им была обнаружена узкая джетоподобная структура видимая на изображениях в эмиссионных линиях [OIII] и H_{α} и имеющая высокую степень коллимации. На изображениях в оптическом континууме эта структура не видна. В нескольких угловых секундах от ядра, в континууме, МакКенти и др., (1994) обнаружили область повышенной яркости (далее область К). Рассматривалось две основные гипотезы происхождения необычной морфологии Mrk315. Либо мы видим остаток ядра недавно захваченной галактики, а джетоподобная структура есть не что иное, как короткоживущий след, оставшийся от пролета галактического ядра сквозь облако нейтрального водорода, которое, возможно, окружает Mrk315. Либо это действительно джет, который производит активное ядро галактики. Тогда Mrk315 – объект поистине уникальный: таких протяженных и сильно коллимированных структур в сейфертовских галактиках до этого известно не было.

В **разделе 2.2** описываются результаты анализа данных наблюдений на БТА. Детально исследуется пекулярная морфология

Mrk315, включая протяженные структуры низкой поверхностной яркости в окрестности галактики. По данным спектрофотометрии проводится анализ вклада от различных источников в ионизацию внутренних областей Mrk315. Рассматривается кинематика газа и звезд как в непосредственной окрестности ядра, так и в диске галактики в целом.

Анализ наших данных подтверждает гипотезу о слиянии, высказанную МакКенти. Обнаружен кинематически независимый от основной галактики вращающийся звездный диск. Его поле скоростей ясно показывает вращение вокруг области К, которая имеет лучевую скорость на 600 км/с больше, чем системная скорость Mrk315. Это говорит о том, что область К является не чем иным, как галактикой, пролетающей сквозь диск Mrk315.

При подобном взаимодействии высокая скорость удара должна была привести к сжатию газа. Действительно, отношение эмиссионных линий в области второго ядра (область К) говорит о том, что газ ионизован ударом. Кроме того, диагностические диаграммы указывают на то, что второе ядро обладает теми же свойствами, которые наблюдаются в галактиках типа LINER. Поэтому мы не можем исключить того, что область К может быть активным ядром низкой светимости. В этом случае, Mrk315 оказывается объектом в котором взаимодействуют две активные галактики.

Природа протяженных эмиссионных структур во внешних областях Mrk315 ранее была не ясна. Получив глубокие изображения галактики, мы показали, что существует два независимых филамента пересекающихся в проекции. Также, по результатам наблюдений со SCORPIO, на продолжении одного из филаментов, был обнаружен карликовый спутник с лучевой скоростью на 200 км/с больше системной скорости Mrk315.

В **разделе 2.3** обсуждается природа активности ядра Mrk315, связанная с многократным взаимодействием с обнаруженными галактиками.

Нами предложена следующая интерпретация природы внешних филаментов: это не что иное, как остатки следов взаимодействия между Mrk315 и двумя карликовыми спутниками. Один из них разрушается под действием приливных сил со стороны Mrk315 и начинается процесс “малого” слияния, в то время как другой пролетает сквозь диск Mrk315 (область К). Спутник проходя сквозь гало галактики претерпевает приливное взаимодействие, которое “обдирает” с

него звезды и формирует протяженный хвост низкой поверхностной яркости, который обычно трудно зафиксировать.

Несмотря на то, что объектов с двумя ядрами известно довольно много, кинематических доказательств того, что мы видим именно второе динамически выделяющееся ядро очень мало. На сегодняшний момент известно всего несколько взаимодействующих галактик, в которых сливающийся с основной галактикой спутник виден как независимо вращающаяся система звезд и/или газа.

В разделе 2.4 перечислены основные выводы Главы 2.

Третья глава посвящена поискам механизмов, поставляющих газ в центр сейфертовской галактики NGC6104. Этот объект интересен тем, что хотя некоторые авторы и отмечали его пекулярную морфологию, никаких кандидатов на роль возмущающего спутника обнаружено не было. И только полученные нами глубокие изображения позволили выявить внешние асимметричные структуры низкой поверхностной яркости, однозначно интерпретируемые как результат недавнего взаимодействия со спутником, скорее всего, с последовавшим его разрушением.

В этой главе, на примере NGC6104, мы прослеживаем как влияет развал и поглощение спутника на активность ядра самой галактики. Также рассматривается связь между активностью ядра и особенностями движения газа и звезд в диске NGC6104.

В разделе 3.2 на основании анализа глубоких снимков впервые показано, что NGC6104 находится в стадии активного поглощения галактики-спутника. В разделе 3.4 нам удалось изучить детальную картину движений ионизованного газа вплоть до расстояний 14 кпк от центра, а для более внутренней области построить поле скоростей звездного компонента. На расстоянии 1-5 кпк выявлены радиальные движения ионизованного газа вдоль бара к ядру со скоростями ~ 50 км/с. Диагностические диаграммы (им посвящен раздел 3.3) и наблюдаемое замедление вращения в линии [NII] относительно H_α указывают на заметную роль вносимую ударными фронтами на кромках бара в ионизацию окружающего газа. Кроме того, обнаружено истечение ионизованного газа из ядра, предположительно вызванное вторжением радиоджета в окружающую межзвездную среду. Методом Тримэйна-Вейнберга оценена угловая скорость вращения бара и показано, что наблюдаемое на изображениях NGC6104 внутреннее кольцо имеет резонансную природу. При этом кольцо располагается на ультрагармоническом (1:4) резонансе

бара. Отмечена искаженная форма кольца (прежде всего – смещение центра относительно ядра). Вполне возможно, что эта асимметрия была вызвана недавним взаимодействием с другой галактикой. В **разделе 3.5** обсуждаются два возможных сценария формирования кольца: до и во время взаимодействия со спутником. Показано, что у бара отсутствует внутренний линдбладовский резонанс, так что радиальные движения газа могут достигать активного ядра, обеспечивая топливом его “центральную машину”. По данным поверхностной фотометрии уточнен морфологический тип галактики – Sc.

В ходе работы нам удалось рассмотреть особенности структуры NGC6104 на разных пространственных масштабах.

В самых внешних областях галактики на расстояниях 25-45 кпк от центра обнаружены протяженные асимметричные филаменты низкой поверхностной яркости (**раздел 3.6**). Похожие оболочки, так называемая “рябь” (ripples), образуются в галактиках при пролете спутника или при аккреции карликовых галактик. Анализируя снимки, полученные на 6-м телескопе, мы обнаружили, что на остаточных изображениях (после вычитания модели диска) видны не две разные оболочки, а единая структура, которая больше всего напоминает разваливающийся под действием приливных сил спутник. Предполагаемая масса спутника составляет 2-7% от массы NGC6104.

В **разделе 3.7** обсуждаются возможные причины активности ядра NGC6104, а в **разделе 3.8** перечислены основные выводы Главы 3.

Четвертая глава посвящена обнаружению и изучению радиальных движений газа на разных пространственных масштабах в активной галактике Mrk533, находящейся во взаимодействии с галактиками из ближайшего окружения. Mrk533 самый яркий член компактной группы Хигсона 96 и к тому же единственная в ней спиральная галактика (Вердес-Монтенегро и др., 1997).

В **разделе 4.1** приводится обзор литературы, посвященный этому объекту. Mrk533 - композитная (starburst/Sy2) галактика с доминирующим звездообразованием. Оптический спектр галактики интересен тем, что практически во всех эмиссионных линиях наблюдаются хорошо заметные сдвинутые в голубую сторону “крылья”. Широкий профиль запрещенных линий имеет трехкомпонентную структуру (Филдман и др., 1982). В УФ-диапазоне профиль линии дублета OVI также имеет асимметрию в сторону коротких длин волн.

В **разделе 4.2** описывается анализ наблюдений, полученных на

БТА. По крупномасштабному полю скоростей, найдены параметры ориентации газового диска. Анализ поля скоростей показал присутствие значительных некруговых движений, а также изгиб газового диска, вызванный взаимодействием со спутником. Была построена карта радиальных потоков в диске галактики, она демонстрирует комплексные некруговые движения газа. Обнаружено натекание газа вдоль северного рукава ($5'' < r < 15''$) и радиальные течения газа вдоль бара к ядру. Также было найдено окооядерное истечение ионизованного газа на $r < 5''$ вдоль малой оси галактики.

В **разделе 4.3** рассказывается об анализе данных, полученных с MPFS. В основном исследовалась многокомпонентная структура профиля линии [OIII]. Для анализа мы использовали две (узкая линия + "голубое" крыло) и три (узкая линия, низко- и высокоскоростные истечения) гаусс-функции. Две гаусс-функции, в принципе, хорошо описывают профиль линии, но небольшое крыло в голубой части остается неучтенным. Немного лучшее описание линии получается, если мы будем вписывать три гаусс-функции в профиль, предполагая, что в ядре Mrk533 находятся три кинематически разных области.

В **разделе 4.4** обсуждается связь между истечениями в оптике, УФ и радио-диапазонах. Анализ кинематики ионизованного газа и формы профилей запрещенных линий указывает на сложный многосоставный характер области центрального килопарсека. Показано, что наблюдаемая пространственная локализация кинематически выделенных компонент ионизованного газа вызвана взаимодействием релятивистского джета (наблюдаемого на VLBI) с окружающей межзвездной средой.

В **разделе 4.5** перечисляются основные выводы Главы 4.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Список литературы

- Афанасьев и др. (Afanasiev V.L., Burenkov A.N., Shapovalova A.I., Vlasyuk V.V.) 1996, ASPC, 91, 218
 Афанасьев и др. (Afanasiev V.L., Dodonov S.N., Moiseev A.V.), 2001, Stellar dynamics: from classic to modern, (eds. Osipkov L.P., Nikiforov I.I., Saint Petersburg), 103
 Афанасьев В.Л., Моисеев А.В., 2005, Письма в Астрон. журн., 31,

- 214 (astro-ph/0502095)
- Вердес-Монтенегро и др. (Verdes-Montenegro A., del Olmo A., Perea J. et al.) 1997, *Astron. Astrophys.*, 321, 409
- Дахари (Dahari O.) 1985, *Astron. J.*, 90, 1772
- Де Робертис и др. (de Robertis M., Yee H., Hayhoe K.) 1998, *Astrophys. J.*, 496, 93
- Кнайпен (Knapen J.) 2005, *Astrophysics Space Science*, 295, 85
- Комб (Combes F.) 2001, in “Advanced Lectures on the Starburst-AGN Connection”, Proceedings of a conference held in Tonantzintla, Puebla, Mexico, 26-30 June, 2000. Edited by Aretxaga I., Kunth D., and Mujica R. Singapore:World Scientific, 223
- Лэйн и др. (Laine S., Shlosman I., Knapen J., Peletier R.) 2002, *Astrophys. J.*, 567, 97
- МакКенти (MacKenty J.) 1986, *Astrophys. J.*, 308, 571
- МакКенти, Симкин и др. (MacKenty J., Simkin S., Griffiths R., Ulvestad J., Wilson A.) 1994, *Astrophys. J.*, 435, 71
- Маркарян, 1967, *Астрофизика*, 3, 24
- Маркес (Marquez I., Durret F., Masegosa J. et al.) 2004, *Astron. Astrophys.*, 416, 475
- Мартини и др. (Martini P., Regan M., Mulchaey J., Pogge R.) 2003, *Astrophys. J.*, 589, 774
- Моисеев (Moiseev A.V.) 2001, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, 51, 11
- Моисеев (Moiseev A.V.) 2002, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, 54, 74
- Сакстон и др (Saxton, C., Bicknell G., et al) 2005, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 359, 781
- Сейферт (Seyfert K.) 1943, *Astrophys. J.*, 97, 28
- Уада (Wada, K.) 2004, in “Coevolution of Black Holes and Galaxies” (edc Ho L.C.) Cambridge University Press, 187 (astro-ph/0308134)
- Феррари и др. (Ferrari A., Massaglia S. et al) 2000, *RMxAC*, 9, 329
- Филдман и др. (Feldman F.R., Weedman D.W., Balzano V.A., Ramsey L.W.) 1982, *Astrophys. J.*, 256, 427
- Шлосман и др. (Shlosman I., Frank J., Begeman M.C.) 1989, *Nature*, 338, 45
- Шмитт (Schmitt H.) 2001, *Astron. J.*, 122, 2243

Бесплатно

Александрина Андреевна Смирнова

Исследование сейфертовских галактик, находящихся на разных
стадиях взаимодействия.