

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи
УДК 520.353; 524.7-8

Моисеев Алексей Валерьевич

**СТРУКТУРА И ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК ПО
НАБЛЮДЕНИЯМ ИХ ВНУТРЕННЕЙ КИНЕМАТИКИ**

(Специальность 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико–математических наук

Нижний Архыз – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории
Российской академии наук

- Официальные оппоненты:
- доктор физико-математических наук
Комберг Борис Валентинович
(АКЦ ФИАН)
 - профессор,
доктор физико-математических наук
Щекинов Юрий Андреевич
(Южный федеральный университет)
 - профессор,
доктор физико-математических наук
член-корреспондент РАН
Шустов Борис Михайлович
(Институт астрономии РАН)

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

Защита состоится "____" октября 2012 г. в ____ часов на заседании
Диссертационного совета Д 002.203.01 в Специальной астрофизиче-
ской обсерватории Российской Академии Наук по адресу: 369167, КЧР,
Зеленчукский район, пос. Нижний Архыз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан "____" сентября 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета:
кандидат физико-математических наук

Майорова Е.К.

Актуальность темы

Внегалактическая астрономия – один из наиболее бурно развивающихся разделов современной астрофизики. За последние 10–15 лет наши представления о галактиках, их структуре и эволюции претерпели заметные изменения, что связано, прежде всего, с получением огромного количества новых наблюдательных данных и развитием методик их анализа. Прогресс в изучении объектов на больших красных смещениях сопровождается успехами в изучении близких галактик. Здесь приходится отказываться от многих привычных представлений. Например, оказалось, что профиль распределения яркости в дисках заметного числа галактик отличается от классического экспоненциального закона, здесь следует говорить о многоярусных дисках, сложная структура которых обусловлена взаимодействиями и поглощением спутников (Erwin et al., 2005). В современную эпоху продолжается медленная (“секулярная”) перестройка структурных компонент галактик, как под действием внешних факторов, так и под воздействием внутренних коллективных процессов. Формируются и исчезают перемычки-бары, перестраивается распределение массы в центральной области, образуются кольца звездообразования и “псевдобалджи” (Kormendy & Kennicutt, 2004). Внимательный взгляд показывает, что галактики – значительно более сложные объекты, нежели представлялось ранее. Это открытые системы, активно взаимодействующие с окружением. И если на ранних этапах образования галактик ($z = 1 - 5$) основную роль играли “большие слияния” объектов с примерно эквивалентными массами, то в современную эпоху, соответствующую красным смещениям $z < 0.4$, доминирующую роль играют “малые слияния” – захват карликовых компаньонов (López-Sanjuan et al., 2011). Все больше косвенных указаний на то, что для объяснения многих аспектов эволюции галактик требуется аккреция газа из межгалактической среды (Kauffmann et al., 2010).

С другой стороны, процессы, происходящие в галактиках, тоже влияют на их окружение. Фотоионизационное излучение OB-звезд, кинетическая энергия звездных ветров и взрывов сверхновых нагревают газ, формируют как упорядоченные, так и хаотические истечения. Часть газа покидает галактику и либо рассеивается в межгалактическом пространстве, либо, охлаждаясь, возвращается обратно и вновь принимает участие в звездообразовании. К еще более масштабным эффектам приводит работа аккреционной машины активного ядра, осо-

бенно когда речь идет о центральных галактиках скоплений (Churazov et al., 2002). Учет такого взаимовлияния (feedback) оказывается критически необходимым в численных расчетах, посвященных как космологической эволюции в целом, так и объяснению параметров отдельных галактик (Hopkins et al., 2012).

Таким образом, наблюдательное изучение морфологии и кинематики галактик является важной и актуальной задачей. Эти исследования важны как потому, что позволяют обнаруживать какие-либо новые эффекты и структуры, так и потому, что для понимания процессов галактической эволюции требуется детальное сравнение наблюдений с результатами численных расчетов в рамках тех или иных моделей. С точки зрения подхода к наблюдениям в современной внегалактической астрономии выделяются два направления. Беспрецедентные объемы данных, представленных в архивах цифровых обзоров неба, позволяют сравнивать общие свойства галактик, сводя их к ограниченному количеству интегральных параметров: цвет, светимость, металличность, средняя дисперсия скоростей, масса звезд и газа и т.п. Здесь скрадываются индивидуальные различия, но за счет статистики большого количества объектов удается обнаруживать интересные закономерности и сравнивать их с модельными предсказаниями. Другой подход подразумевает детальное изучение отдельных галактик, сбор максимально возможной информации о двумерном распределении параметров в картинной плоскости: поверхностной яркости в широких фильтрах и узких линиях, лучевой скорости (поле скоростей), дисперсии скоростей и т.д. Сложность этого подхода состоит в необходимости одновременного анализа разнообразного наблюдательного материала и разработке моделей, адекватно описывающих все наблюдаемые характеристики. Тем не менее, детальное изучение небольших выборок галактик позволяет обнаруживать новые, иногда неожиданные, эффекты, требующие объяснения в рамках расчетов эволюции галактик на космологических шкалах. Именно этот подход реализован в данной диссертации, большая часть которой основана на наблюдениях, выполненных на 6-м телескопе БТА САО РАН.

Цель работы

Основной целью данной диссертации является детальное изучение движений ионизованного газа и звезд в близких галактиках для ре-

шения вопроса о влиянии окружения (карликовых спутников, облаков межгалактического газа и т.д.) на возникновение и эволюцию различных структур как в самих галактических дисках, так и за их пределами. С другой стороны, предполагается рассмотреть различные наблюдательные свидетельства воздействия процессов текущего звездообразования на межзвездную среду галактик с целью понять причины возникновения в ней высокоскоростных турбулентных движений. Для решения этих задач необходимо получить и проанализировать обширный наблюдательный материал по спектроскопии газовой и звездной подсистем близких галактик.

Научная новизна работы

1. Разработанная диссертантом методика обработки и анализа данных наблюдений со сканирующим интерферометром Фабри-Перо позволила “поставить на конвейер” измерения дисперсии скоростей ионизованного газа в дисках галактик. В результате удалось изучить особенности распределения турбулентных скоростей в 22 близких карликовых галактиках, при том, что ранее такой наблюдательный материал был представлен менее чем для десятка объектов.
2. В трех галактиках раннего типа открыты глобальные газовые диски, вращающиеся в противоположном направлении относительно звезд. Показано, что ионизация газа в этих дисках часто обусловлена ударными волнами, возникающими в результате падения богатых газом спутников.
3. Обнаружено расширение колец звездообразования в галактике Agr 10. Это вторая столкновительно-кольцевая система (после галактики VV 784), в которой напрямую измерена скорость кольцевой волны плотности.
4. На примере Mrk 334 впервые продемонстрирован эффект возмущения газового диска в результате пролета сквозь него карликового спутника: понижение плотности газа, аномальная ионизация, возмущение поля скоростей.
5. Открыты внешние полярные кольца в семи галактиках, детально исследована кинематика ионизованного газа в полярных кольцах

галактик Agr 212 и SPRC-7. Составлен новый каталог кандидатов в галактики с полярными кольцами, в три раза увеличивший известное число таких объектов.

6. Впервые изучена кинематика газового и звездного компонентов в уникальной кольцевой галактике – Объекте Хога. Приведены аргументы в пользу того, что объект образовался в результате холодной аккреции газа из филаментов межгалактической среды.
7. Обнаружены околядерные полярные диски в галактиках различных морфологических типов: Mrk 33, Mrk 370, NGC 3368, NGC 3599, NGC 3626, NGC 5850, NGC 7742. Составлен наиболее полный на сегодняшний день список таких объектов, аргументировано существование прямой связи между наличием внутреннего полярного компонента и событием недавнего взаимодействия с компаньоном или поглощением карликовых спутников.
8. Продемонстрировано, что диагностические диаграммы $I - \sigma$, построенные в эмиссионных линиях ионизованного газа, могут с успехом использоваться для поиска разного рода компактных туманностей в близких галактиках. Предложена интерпретация наблюдаемого в карликовых галактиках распределения точек на этих диаграмм, существенно дополняющая предыдущие работы по этой теме.

Научная и практическая ценность работы

Представленная в диссертации методика обработки и анализа данных, получаемых со сканирующим интерферометром Фабри-Перо, с успехом применяется как в САО РАН, так и в других астрономических учреждениях (ГАИШ МГУ, СПбГУ, Ruhr-University Bochum).

Результаты детального изучения кинематики галактик с противорвращающимися дисками, столкновительных кольцевых систем, галактик с полярными кольцами, могут использоваться (и уже используются) для численного моделирования таких объектов. Это позволяет не только лучше понять процесс взаимодействия галактик, но и наложить пределы на массу и даже форму темного гало, что важно для понимания роли темной материи в эволюции галактик.

Дальнейшее изучение объектов из нового каталога галактик с полярными кольцами (SPRC) позволит лучше понять происхождение та-

ких структур, оценить их стабильность, а также проверить гипотезу о том, что часть массивных полярных колец образовалось в результате холодной аккреции из филаментов межгалактической среды. Наблюдения галактик из SPRC уже проводятся как на 6-м телескопе САО РАН, так и в других обсерваториях (IRAM).

Наблюдаемые параметры структуры, кинематики и звездного населения Объекта Хога накладывают жесткие условия на возможность формирования таких галактик либо в результате холодной аккреции газа, либо в процессе слияния галактик.

Наблюдаемые свойства галактик с внутренними полярными структурами должны получить свое объяснение в численных моделях взаимодействия галактик.

Полученные в диссертации параметры хаотических движений ионизованного газа в карликовых галактиках, являются важным исходным материалом для сравнения с расчетами воздействия молодых звездных группировок на газовую среду галактик. То же относится к наблюдаемым характеристикам выбросов газа над плоскостью диска, обнаруженных диссертантом в ряде спиральных галактик.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Методика наблюдения и анализа данных, позволяющая с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо картировать распределение дисперсии скоростей ионизованного газа в галактиках и эмиссионных туманностях.
2. Обнаружение противовращающихся компонент в ряде галактик ранних типов: околядерных газовых и звездных дисков в NGC 1316 и NGC 3945, крупномасштабных газовых дисков в NGC 2551, NGC 5631 и NGC 7742. Вывод об ударной ионизации газа в случаях, когда плоскость вращения газового компонента наклонена под небольшим углом к звездному диску. Вывод об образовании противовращающихся компонент этих галактик в результате захвата богатых газом спутников. Обнаружение наблюдательных свидетельств в пользу идеи генерации резонансных колец звездообразования в ходе такого взаимодействия.
3. Результаты наблюдательного изучения галактик, испытавших лобовое столкновение с массивным компаньоном. Обнаружение рас-

ширения и вертикальных движений в кольцах пекулярной галактики Arp 10, доказательства того, что кольцевые волны в диске являются результатом центрального столкновения со спутником, определение параметров столкновения. Наблюдательные аргументы, показывающие, что область аномальной ионизации в галактике Mrk 334 является местом недавнего столкновения с ядром разрушенной галактики-спутника.

4. Результаты детального изучения кинематики газа в галактиках с внешними полярными или сильно наклоненными подсистемами: в Arp 212 обнаружен внешний газовый диск со сложной геометрией, а в SPRC-7 гигантский звездно-газовый полярный диск. Новый каталог галактики с полярными кольцами, позволивший в несколько раз увеличить число надежных кандидатов в такие объекты. На основании наблюдений на 6-м телескопе САО РАН подтверждено существование внешних полярных колец в пяти галактиках каталога.
5. Результаты изучения морфологии и кинематики уникальной кольцевой галактики - Объекта Хога. Объяснение пекулярной структуры этой галактики холодной аккрецией газа из межгалактической среды на прародительницу – эллиптическую галактику.
6. Обнаружение околядерных газовых и звездно-газовых полярных и наклонных дисков в ряде галактик как ранних, так и поздних морфологических типов. Результаты статистического изучения наблюдаемых характеристик внутренних полярных структур. Наблюдательные аргументы в пользу их внешнего происхождения в результате поглощения галактик-спутников.
7. Результаты анализа внутренней кинематики ионизованного газа в ряде карликовых галактик Местного Объемы. Определение характеристик различных структур, образованных в результате воздействия молодых звездных группировок на межзвездную среду: гигантских расширяющихся оболочек в карликовых галактиках, биполярной туманности в IC 1613, возможного остатка Гиперновой в IC 10, галактического ветра в NGC 4460. Обнаружение высокоскоростных движений ионизованного газа вокруг областей звездообразования ряда близких спиральных галактик. Объяснение наблюдаемого распределения дисперсии скоростей ионизованного газа в карликовых галактиках наличием у областей НII

корон возмущенного газа низкой плотности с высокими турбулентными скоростями.

Достоверность представленных результатов

Достоверность результатов обусловлена применением хорошо отработанных и зарекомендовавших себя методик обработки и анализа наблюдательных данных; полученные результаты физически непротиворечивы и удовлетворительно согласуются с теоретическими численными модельными расчетами. Важным свидетельством достоверности полученных в диссертации результатов является их апробация на национальных и международных симпозиумах и конференциях, а также обсуждение этих результатов со специалистами в данной области и публикация основных положений в ведущих астрофизических журналах.

Апробация результатов

Основные результаты диссертации лично докладывались диссертантом на семинарах и конкурсах научных работ САО РАН, семинарах ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, ИНАСАН, университета г. Падуи (Италия), Канарского института астрофизики (Испания), Южной европейской обсерватории (Чили), Рурского университета г. Бохума (Германия), а также на следующих 11 всероссийских и 20 международных конференциях (в том числе, в форме приглашенных докладов и лекций): “Galactic dynamics”, JENAM–2003, (Будапешт, 2003); Всероссийская астрономическая конференция ВАК–2004, (Москва, 2004); “The life of galaxies”, JENAM–2004, (Гранада, 2004); “5th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics”, (Вршац, 2005); “Science Perspectives for 3D Spectroscopy”, (Гаршинг, 2005); XVII Canary islands winter school of astrophysics “3D spectroscopy”, (Пуэрто-Круз, 2005); Всероссийская конференция “Астрономия 2006: традиции, настоящее и будущее”, (С.-Петербург, 2006); Симпозиум IAU 235 “Galaxy Evolution Across the Hubble Time”, (Прага, 2006); “Актуальные проблемы внегалактической астрономии”, (Пушино, 2007); “Cosmic Physics”, (Н. Архыз, 2007); “6th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics”, (Сремски Карловцы, 2007); “Dynamics of Galaxies”, (Пулково, 2007); “Formation and Evolution of Galaxy Disks”, (Рим, 2007); “Актуальные проблемы

внегалактической астрономии”, (Пушино, 2008); “Gas and Stars in Galaxies - A Multi-Wavelength 3D Perspective”, (Гаршинг, 2008); “Tumbling, Twisting, and Winding Galaxies: Pattern Speeds along the Hubble Sequence”, (Падун, 2008); “Актуальные проблемы внегалактической астрономии”, (Пушино, 2009); “7th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics”, (Зренианин, 2009); “Nearby Dwarf Galaxies”, (Н. Архыз, 2009); “Hunting for the Dark: The Hidden Side of Galaxy Formation”, (Мальта, 2009); “Физика Космоса”, (Екатеринбург, 2009); “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра – 2009” (Москва, 2009); Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2010, (Н. Архыз, 2010); “Dynamics and evolution of disc galaxies”, (Пушино, 2010); “A Universe of Dwarf galaxies: observations, theories, simulations”, (Лион, 2010); “8th Serbian Conference on Spectral Line Shapes in Astrophysics”, (Дивчибаре, 2011); “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра – 2010” (Москва, 2010); “Minor merging as a driver of galaxy evolution”, EWASS – 2011, (С.-Петербург, 2011); “Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра – 2011” (Москва, 2011); “Актуальные проблемы внегалактической астрономии”, (Пушино, 2012); “European Week of Astronomy and Space Science – 2012”, (Рим, 2012)

Структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, семи глав и Заключения; содержит 78 рисунков, 8 таблиц. Список цитируемой литературы включает 370 наименований. Общий объем диссертации – 347 страниц. В конце каждой главы приводятся список полученных результатов и указание на основные статьи, в которых они были представлены.

Краткое содержание диссертации

Во **Введении** обсуждается актуальность работы, цели и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая ценность полученных результатов, формулируются основные положения, выносимые на защиту, приводится список работ, в которых опубликованы результаты диссертации, с указанием личного вклада диссертанта в совместных публикациях.

Первая глава посвящена методике наблюдений и анализу данных о внутренней кинематике галактик. В §1.1 обсуждаются методы

панорамной (3D) спектроскопии, позволяющие получать спектральную информацию обо всех участках протяженного объекта, заполняющих поле зрения прибора. Далее описывается аппаратура, используемая для наблюдений методами панорамной спектроскопии на 6-м телескопе САО РАН. Именно, в §1.2 кратко представлен редуктор светосилы SCORPIO, созданный при участии диссертанта. Основная часть наблюдательного материала, на котором основана диссертация, была получена с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо (ИФП) в составе прибора SCORPIO. В §1.3 представлена разработанная диссертантом методика обработки данных, получаемых со сканирующим ИФП. Особое внимание уделяется проблеме измерения дисперсии скоростей ионизованного газа. В §1.4 обсуждается кросс-корреляционная техника измерения параметров звездной кинематики (лучевой скорости и дисперсии скоростей) на основе материала, получаемого со спектрографами MPFS и SCORPIO (в режиме длинной щели). В §1.5 рассматриваются различные модельные представления полей скоростей ионизованного газа дисковых галактик: модель квазикругового вращения, двумерная модель изогнутого диска. Рассмотрен метод корректного учета вклада от расширяющихся ионизованных оболочек в наблюдаемую кинематику газа в карликовых галактиках.

Во **второй главе** рассматривается феномен противовращения в дисках галактик. В §2.1 кратко обсуждается проблема малых слияний, когда захват карликового спутника, не искажая в целом структуры дисковой галактики, может инициировать активность ядра, вспышку звездообразования или сформировать кинематически выделенный компонент в диске. Если направление орбитального момента спутника заметно отличалось от момента вращения галактического диска, то в дальнейшем может оказаться, что часть звезд или газовых облаков в галактике вращаются в направлении противоположном остальному диску. Примеры подобных кинематически выделенных структур, обнаруженных диссертантом, приводятся в §2.2. По результатам наблюдений со спектрографом MPFS показано, что диск ионизованного газа в околядерной области ($r < 500$ пк) линзовидной галактики NGC 3945 вращается в противоположном направлении относительно звездного, хотя и располагается в той же плоскости. А в эллиптической галактике NGC 1316, остатки разрушенного спутника сформировали компактный ($r < 200$ пк) звездный диск, вращающийся в противоположную сторону относительно внешнего звездного сфероида.

В отличие от кинематически выделенных структур в центральном килопарсеке, крупномасштабное противовращение встречается значительно реже. Всего известно чуть больше десятка близких галактик с протяженными (более нескольких кпк) противовращающимися подсистемами (Sil'chenko et al., 2009). Этот список включает и три объекта, в которых крупномасштабная кинематика была впервые изучена в наблюдениях на 6-м телескопе САО РАН: NGC 2551, NGC 5631 и NGC 7743. Они рассматриваются в §2.3. Показано, что весь газ в их дисках вращается в противоположном направлении относительно звездного компонента, диаметры дисков ионизованного газа составляют $0.7 - 1 D_{25}$, т.е. сравнимы с характерными размерами звездных дисков. В этих галактиках мы видим последовательные стадии одного и того же процесса – поглощения маломассивного богатого газом спутника имеющего соответствующее направление момента вращения. В NGC 5631 прецессия разрушенного спутника не завершилась, газ еще не опустился в плоскость галактики и не сжался до требуемой плотности. Заметного звездообразования в нем нет, ионизация газа, во всем диапазоне радиусов, обеспечивается ударными волнами. Во внутренних областях NGC 2551 в захваченном газе уже началось звездообразование, в то время как на периферии ионизация газа скорее всего обусловлена ударными волнами. А в NGC 7742 уже весь газ диска ионизован ультрафиолетовым излучением молодых звезд. В диске идет активное звездообразование, большая часть которого сосредоточено в кольце диаметром около 2 кпк, представляющим собой редкий пример “резонансного кольца без бара”. Предложен сценарий, согласно которому кольцевая структура так же является результатом недавнего взаимодействия – при определенных условиях возмущение гравитационного потенциала в результате пролета компаньона будет сходно с воздействием бара на диск галактики. Впоследствии эта идея нашла подтверждение в численных расчетах взаимодействия галактик.

В §2.4 рассмотрена внутренняя кинематика NGC 7743. Наблюдения на 6-м телескопе показали, что здесь весь ионизованный газ располагается в диске радиусом около 5 кпк, значительно наклоненном к звездному диску галактики. В зависимости от принятой взаимной ориентации дисков угол наклона составляет $34 \pm 9^\circ$ или $77 \pm 9^\circ$. По происхождению и механизму ионизации этот газовый диск родственен рассмотренным выше противовращающимся структурам и представляет собой наиболее ранний этап их формирования. Наиболее вероятной причиной образования такого диска является аккреция из богатого га-

зом окружения галактики, что подтверждается данными наблюдений в линии 21 см. Наблюдаемое отношение потоков эмиссионных линий заставляет предположить, что основной вклад в ионизацию вносят ударные волны, возникающие при пересечении потенциальной ямы звездного диска газовыми облаками на наклонных орбитах. Отмечается, что наклонный газовый диск в NGC 7743 является одной из самых малоконтрастных структур такого рода, обнаруженных в других галактиках.

Третья глава посвящена галактикам, пережившим лобовое столкновение с компаньонами. В §3.1 кратко рассмотрены современные представления о формировании столкновительных кольцевых галактик. Такие объекты, образовавшиеся в результате осевого прохождения достаточно массивного спутника, представляют собой уникальную лабораторию для изучения распространения сверхзвуковой волны плотности по невозмущенному диску, а также для проверки различных теорий распространения звездообразования. Согласно наиболее популярной точки зрения, подтверждаемой рядом численных расчетов (Appleton & Struck-Marcell, 1996), волна, движущаяся из центра диска к периферии, динамически разогревает диск, а также, подобно спиральям галактик, сжимает газ, что приводит к массовому образованию звезд. Серьезную помощь в построении самосогласованных моделей столкновительных кольцевых галактик может оказать изучение кинематики газовых дисков, включая прямые измерения скорости распространения кольцевых волн. Но до недавнего времени такие измерения были крайне немногочисленны, противоречивы и касались в основном только галактики “Тележное колесо” (VV 784).

В §3.2 рассмотрен случай пекулярной галактики Arp 10, кроме всего прочего, интересной еще и тем, что это один из немногих известных объектов, когда повезло застать сразу два кольца, бегущих по диску. По результатам наблюдений Arp 10 удалось в деталях изучить движения газа в диске, возмущенном кольцевыми волнами. На основании полученных данных построена численная гидродинамическая модель распространения кольцевых волн, удовлетворительно описывающая наблюдаемые характеристики галактики. Предполагается, что до столкновения Arp 10 представляла из себя галактику типа Sb, с протяженным звездным диском относительно низкой поверхностной яркости и развитой спиральной структурой. 85 млн.лет назад произошло лобовое столкновение с менее массивной спиральной галактикой раннего типа, которая пролетела сквозь диск Arp 10 примерно в 3 кпк от

центра, почти параллельно направлению оси вращения. Удалось обнаружить и сам “компаньон-возмутитель”, в картинной плоскости он проецируется близко к ядру основной галактики и по большей части закрыт от нас ее диском. Возникшие возмущения гравитационного потенциала порождают две расширяющиеся наружу волны плотности, которые сейчас видны на изображениях галактики.

В §3.3 рассматриваются результаты изучения на 6-м телескопе прототипа галактик низкой поверхностной яркости Malin 1. Измерения лучевых скоростей звездного компонента показали, что небольшая галактика Malin 1B, заметная на снимках HST, является спутником Malin 1. Текущее взаимодействие с Malin 1B может объяснить основные морфологические особенности центральной области Malin 1 - двухрукавную спиральную структуру, бар и внешнюю однорукавную спираль. Рассматриваются аргументы в пользу того, что ее уникальный по протяженности звездно-газовый диск (размером до 120 кпк) является закономерным итогом эволюции кольцевой волны в соответствии со сценарием Marcelli et al. (2008). Рассмотрение крупномасштабного окружения Malin 1 приводит к выводу, что галактика SDSS J123708.91 + 142253.2 является наиболее вероятным компаньоном, ответственным за формирование протяженной оболочки низкой поверхностной яркости, возникшей вследствие лобового столкновения с Malin 1.

В §3.4 описывается еще одно любопытное последствие столкновения галактик, когда впервые удалось обнаружить точное место пролета компаньона через диск галактики. Здесь представлено исследование структуры и кинематики сейфертовской галактики Mrk 334. На глубоких изображениях найдены протяженные приливные структуры в виде петель и арок – результат недавнего взаимодействия с достаточно большим спутником ($1/3 - 1/5$ от массы основной галактики). В диске обнаружена каверна, заполненная ионизованным газом низкой плотности. Весь набор имеющихся данных (измерения лучевых скоростей звезд и ионизованного газа, диагностические диаграммы отношений потоков в линиях разного возбуждения, морфология приливных деталей и т.д.) удастся интерпретировать в рамках предположения, что мы наблюдаем место недавнего (около 12 млн. лет назад) пролета остатков разрушенного спутника через газовый диск основной галактики. Необычно высокое отношение линий $[OIII]/H\beta$ наблюдаемое в этой области, объясняется мощной ударной волной со скоростью более 250 км/с. Согласие всех трех оценок скорости столкновения (по кри-

вой вращения, по возмущению поля скоростей и по ионизационным моделям) свидетельствует в пользу предложенной интерпретации образования ионизованной каверны.

Четвертая глава посвящена исследованию галактик с полярными кольцами (ГПК), представляющих собой пекулярные системы, в которых наблюдаются внешние кольца или диски из газа, пыли и звезд, вращающиеся в плоскости примерно перпендикулярной к диску основной галактики. Считается, что образование ГПК вызвано слиянием галактик с соответствующим направлением момента вращения, аккрецией на галактику вещества спутника или газовых филаментов из межгалактической среды. В §4.1 кратко обсуждаются основные проблемы исследования таких объектов, перспективы их дальнейшего изучения. Выделены два возможных пути решения вопросов, связанных с формированием и эволюцией полярных колец. Во-первых, это детальное изучение уже известных кандидатов с привлечением данных о морфологии и кинематике. Во-вторых, расширение списка кандидатов, как с целью уточнения функции светимости ГПК и продвижения в сторону больших красных смещений, так и с целью поиска объектов, в которых и кольцо, и галактика “удобно” развернуты к лучу зрения, что позволяет одновременно исследовать и кинематику и детали внутренней структуры. Оба этих направления представлены в диссертации. В §4.2 рассмотрена кинематика газа в Ayr 212. Здесь обнаружены две кинематически различные подсистемы вращающегося газа – внутренний диск и внешние эмиссионные филаменты. Вращение первой подсистемы происходит в плоскости звездного диска, в то время как внешние области звездообразования находятся в плоскости, наклоненной к нему под значительным углом. Свидетельством взаимодействия между газом полярного кольца и газом внутреннего диска является наличие ударных фронтов в центральных областях галактики. Ayr 212 оказывается первой из ГПК, в которой удастся непосредственно наблюдать взаимодействие между обеими газовыми подсистемами. Наиболее вероятной причиной образования полярного кольца является аккреция газа с карликового спутника UGC 12549.

В §4.3 представлено исследование галактики с полярным кольцом SDSS J075234.33+292049.8 (SPRC-7), случайно обнаруженной на снимках SDSS. Анализ поля скоростей ионизованного газа показал, что это гигантское (48 кпк диаметром) кольцо вращается под заметным углом к плоскости центральной галактики. В зависимости от принятой геометрии угол между ними составляет $58 \pm 10^\circ$ или $73 \pm 11^\circ$. Наблю-

даемые характеристики полярного диска представляют собой серьезную проблему для существующих теорий формирования ГПК, так как галактике требуется захватить извне массу газа и звезд, равную собственной звездной массе, что проблематично. Альтернативное предположение о слиянии двух близких по массам галактик с ортогонально ориентированными дисками находится в противоречии с параметрами центральной галактики, прежде всего с ее относительно быстрым вращением. Возможно, что кольцо образовалась в результате аккреции холодного газа из протяженных филаментов межгалактической среды.

Схожий сценарий предлагается и для объяснения образования Объекта Хога – уникальной кольцевой галактики, которой посвящен §4.4. Благодаря наблюдениям, выполненным на 6-м телескопе САО РАН, впервые удалось изучить внутреннюю кинематику газа и звезд, а также возраст и металличность звездного населения как в центральной эллиптической галактике, так и в гигантском (диаметром 50 кпк) кольце, состоящем из ионизованного газа и областей звездообразования. В отличие от ГПК, вращение обоих компонент здесь происходит в одной плоскости. Но формирование столь массивного и протяженного кольца удастся объяснить только в рамках гипотезы предлагавшейся для некоторых полярных колец. Именно, предполагается, что ядро объекта Хога сформировалось в результате монолитного коллапса массивного газового облака, что обеспечивает как резкий градиент металличности, так и относительно быстрое вращение звездного сфероида. Дальнейшее существование изолированной эллиптической галактики в достаточно богатом газом окружении подразумевает медленную, (так называемую “холодную”) аккрецию облаков газа из межгалактической среды. Ряд современных космологических моделей указывают на то, что газ должен накапливаться в протяженных филаментах, которые с свою очередь аккрецируются массивными гало галактик (Brook et al., 2008). Аккреция из космологического филамента позволяет сформировать вокруг эллиптического ядра достаточно массивный диск HI, обладающий заметным моментом вращения. По достижению необходимой плотности газа несколько млрд. лет назад в диске началось звездообразование, продолжающееся и в современную эпоху.

Прогресс в изучении ГПК сковывается малым числом известных объектов этого типа. К 2010 г. к ним можно было отнести лишь около двух десятков кинематически подтвержденных галактик, из ко-

торых лишь несколько не входили изначально в каталог кандидатов Whitmore et al. (1990), основанный на изучении фотографий отдельных галактик. В современную эпоху с этой целью разумно использовать цифровые обзоры неба. В §4.5 описывается новый каталог кандидатов в ГПК, основанный на результатах проекта Galaxy Zoo, в рамках которого сотни тысяч волонтеров выполняют классификацию галактик SDSS. Опираясь на предварительную классификацию Galaxy Zoo для ~ 900 тысяч галактик была построена выборка из 41958 галактик с пекулярной морфологией. Объекты, найденные в ходе просмотра отобранных изображений, вместе с кандидатами из интернет-форума проекта составили новый каталог SPRC (Sloan-based Polar Rings Catalog). Он содержит 275 галактик, из которых 70 отнесены к “наилучшим кандидатам”, 115 кандидатов классифицированы как “хорошие”, 53 галактики отнесены к связанным с ГПК объектам (с сильно изогнутыми дисками и взаимодействующие). Также выделено 37 галактик у которых предполагаемое полярное кольцо сильно развернуто к лучу зрения, включая несколько галактик, похожих на Объект Хога. В результате пробных спектральных наблюдений на 6-м телескопе САО РАН подтверждено существование полярных колец в пяти галактиках каталога. Вместе с имеющимися в литературе данными к кинематически-подтвержденным ГПК можно отнести уже 10 галактик из SPRC. Новый каталог в три раза увеличивает число уверенных кандидатов в ГПК и может служить хорошей основой для дальнейшего детального изучения как отдельных галактик, так и для статистического исследования полярных колец, частоты взаимодействий между галактиками и т.д.

В **пятой главе** рассматривается феномен внутренних (околоядерных) полярных колец и дисков, размер которых меньше характерных размеров балджа или внешнего диска. В §5.1 кратко описывается история открытия и исследования внутренних полярных структур (ВПС). Несмотря на то, что число таких объектов даже превышает число кинематически подтвержденных внешних полярных колец, природа их во многом остается неясной. Нет внятного самосогласованного сценария их формирования, вопросы устойчивости подобных структур не решены. Противоречивы взгляды на связь ВПС с барами галактик и их внешним окружением: наличием спутников, следов взаимодействия.

В §5.2 представлены результаты исследования ВПС, обнаруженных в ходе наблюдений на 6-м телескопе САО РАН различных выборок га-

лактик с помощью панорамного спектрографа MPFS. Описываются особенности внутренней кинематики, даются оценки основных параметров внутренних структур, которые в каждой галактике имеют свои особенности. Так в NGC 5850 и NGC 3368 внутренние газовые диски ориентированы почти ортогонально к звездным дискам галактик, при этом в NGC 3368 газопылевой диск располагается перпендикулярно к большой оси бара. В линзовидных галактиках NGC 3599 и NGC 3626 – членах группы Leo II, ситуация иная. В первом случае речь идет не о диске, а о кольце: внутри центральных ~ 100 пк газ вращается в той же плоскости, что и звезды, а с ростом расстояния от центра наклон орбит газовых облаков увеличивается, составляя около 50° на $r = 700$ пк. В NGC 3626, наоборот – газовый диск сильно наклонен внутри ~ 500 пк от центра, в то время как на больших радиусах газ и звезды вращаются в одной плоскости, но в противоположных направлениях.

В §5.3 рассмотрены примеры ВПС, обнаруженных в голубых компактных карликовых галактиках в ходе изучения кинематики ионизованного газа с помощью сканирующего ИФП: NGC 7468, Mrk 33, Mrk 370. Во всех случаях внутренняя часть газового диска оказывается сильно наклоненной к основной плоскости.

В §5.4 представлены основные параметры ВПС, описанных в литературе, включая и объекты, изученные диссертантом. Список содержит 47 галактик, для которых имеются веские аргументы в пользу того, что в их внутренних областях заметная часть излучающей материи стационарно вращается в плоскости, сильно наклоненной к плоскости основного диска. В §5.5 обсуждаются статистические свойства характеристик как самих внутренних структур, так и содержащих их галактик. Показано, что ВПС встречаются в галактиках всех морфологических типов – от E до Irr. Радиус большинства из них не превышает 1.5 кпк. Возможно, что это ограничение связано с тем, что для устойчивого существования полярных орбит необходим стабилизирующий фактор – сфероидальный или трехосный потенциал. Для классических ГПК это гравитационный потенциал темного гало, а для внутренних структур – потенциал балджа или бара. ВПС одинаково часто встречаются как в галактиках с перемычками, так и без них. В тоже время, если галактика обладает баром (или трехосным балджем), то это приводит к стабилизации полярного диска так, что его ось вращения совпадает с большой осью бара. Самые внутренние области этих структур, как правило, расположены в полярной плоскости, с ростом расстояния от ядра часто наблюдается изгиб – приближение орбит к плоскости

галактики. У 70% галактик с внутренними полярными структурами заметны те или иные следы недавнего взаимодействия, что указывает на ведущую роль внешнего окружения (взаимодействия галактик, захвата материи с соответствующим направлением орбитального момента) в формировании этих пекулярных структур.

В **шестой главе** рассматриваются крупномасштабные (пространственные шкалы от 100 пк до нескольких кпк) движения газа, так или иначе вызванные происходящим в их дисках звездообразованием. §6.1 представлен обзор некоторых вопросов, связанных с изучением воздействия молодых звездных группировок на межзвездную среду галактик.

В §6.2 описывается цикл работ, посвященных карликовой галактике Местной Группы IC 1613. В начале приводятся результаты изучения с помощью сканирующего ИФП кинематики гигантской биполярной туманности S3 вокруг единственной в галактике звезды Вольфа-Райе. В результате впервые удалось измерить скорость расширения обеих “пузырей”, составляющих туманность (диаметром около 110 и 220 пк) и оценить возраст ионизованной структуры (0.3–1 млн. лет). Необычная морфология туманности объясняется тем, что звезда образовалась в плотной газовой стенке на краю гигантской каверны в распределении HI, так что звездный ветер прорывался в двух направлениях из плотного слоя газа. Последующий анализ данных наблюдений галактики в линии 21 см на телескопе VLA подтвердил это предположение. Одновременно используя результаты наблюдений со сканирующим ИФП и данные VLA, впервые удалось детально исследовать кинематику и распределение газа в гигантском комплексе ионизованных и нейтральных оболочек в единственном очаге современного звездообразования в галактике. Уточнены скорости расширения и кинематический возраст основных эмиссионных оболочек, составивший 0.6–2.2 млн. лет. А также обнаружены оболочки нейтрального газа диаметром 300–350 пк, кинематическим возрастом 5.3–5.6 млн. лет. Столкновение расширяющихся оболочек приводит к сжатию газа в плотное газовое кольцо, в котором рождаются молодые звезды. Этот эффект демонстрируется на примере оболочек R2 и R4. Кроме этих оболочек в распределении HI в IC 1613 найдены кольцевые и дугообразные структуры значительно большего размера, особенно впечатляет гигантская, каверна размером 1–1.5 кпк. Расчеты, основанные на полученном наблюдательном материале показали, что требуемый для образования сверхоболочки HI источник энергии соответствует темпу звездообра-

зования почти в 20 раз превосходящему наблюдаемый внутри этой суперкаверны. Скорее всего, проблема решается при учете последовательного воздействия на межзвездную среду нескольких поколений звезд.

В §6.3 рассмотрена другая карликовая иррегулярная галактика Местной Группы – IC 10, отличающаяся относительно бурным современным звездообразованием. В радионаблюдениях Yang & Skillman (1993) здесь была обнаружена так называемая “синхротронная сверхоболочка” размером около 200 пк, которую традиционно считают результатом практически одновременной вспышки десятка сверхновых. Измерения, выполненные на 6-м телескопе САО РАН, позволили измерить скорость расширения, электронную плотность и общую кинетическую энергию оболочки. Анализ имеющихся радиоданных, представленный в работе Lozinskaya & Moiseev (2007) показал, что вспышка Гиперновой (экстремально массивной звезды, выход энергии при вспышке которой превышает 10^{51} эрг) лучше, чем множественные сверхновые, объясняет природу синхротронной сверхоболочки, поскольку последующие вспышки сверхновых мало добавляют к радиояркости оболочки, сформированной первыми вспышками. Центр сверхоболочки ассоциируется с ярчайшим в галактике рентгеновским источником IC 10 X-I – аккрецирующей двойной системой, состоящей из звезды Вольфа-Райе и темного компонента, масса которого согласно новым оценкам составляет 23 – 34 M_{\odot} . Столь внушительная величина, является дополнительным аргументом в пользу недавнего (менее 10^5 лет назад) взрыва Гиперновой.

§6.4 посвящен исследованию изолированной линзовидной галактики NGC 4460, в центральной части которой в ходе H α -обзора близких галактик (Kaisin & Karachentsev, 2008) была обнаружена яркая протяженная туманность. Галактика исследовалась на 6-м телескопе САО РАН методами панорамной и длиннощелевой спектроскопии. Анализ архивных изображений SDSS, GALEX и HST указывает на то, что все современное звездообразование сосредоточено в компактной области диска галактики радиусом около 1 кпк. Показано, что наблюдаемые параметры ионизованного газа (кинематика, состояние ионизации, плотность) объясняются выбросом газа над плоскостью галактики, вызванным центральной вспышкой звездообразования. Полученные параметры галактического ветра (скорость истечения $V_{out} \approx 130$ км/с, кинематический возраст эмиссионной структуры 10–12 млн. лет, кинетическая энергия 3×10^{52} эрг) сравнимы с известными харак-

теристиками ветра в NGC 253. Обсуждается причина звездообразования как в NGC 4460, так и в других изолированных E-S0 галактиках Местного Объемы. Приводятся соображения в пользу того, что процесс подпитки изолированных галактик межгалактическим газом на космологической шкале носит монотонный, невоспыхивающий характер.

§6.5 описываются крупномасштабные движения ионизованного газа в спиральных галактиках, явно указывающие на существование газовых облаков, выброшенных из плоскости диска, либо падающих на него. Так, в северо-восточной стороне диска галактики NGC 1084 обнаружены как минимум две системы ионизованного газа. Первая связана с нормальным вращением в диске. Вторая – с движениями газа вокруг системы областей звездообразования со скоростями до 150 км/с по лучу зрения. Размер пекулярной области составляет около 3 кпк. Эти движения часто сопровождаются интенсивным высвечиванием в запрещенной линии [NII] на фронтах ударных волн. Наиболее вероятная интерпретация состоит в том, что мы наблюдаем газ выброшенный из областей звездообразования – “галактические фонтаны”. Обсуждается возможная связь этого явления с высокоскоростными облаками нейтрального водорода, наблюдаемыми как в Млечном Пути, так и в ряде близких галактик. Морфологически и кинематически схожие области обнаружены еще в четырех галактиках (IC 1525, NGC 2964, NGC 3893, NGC 6643), что составляет треть выборки спиральных галактик, кинематика ионизованного газа в которых детально изучалась на 6-м телескопе САО РАН со сканирующим ИФП.

Седьмая глава посвящена вопросу о природе высокоскоростных турбулентных движений ионизованного газа в гигантских областях звездообразования и карликовых галактиках. §7.1 обсуждается важность изучения хаотических движений газа в карликовых галактиках. Из-за малой глубины потенциальной ямы и отсутствия спиральных волн плотности, такие галактики являются замечательным “полигоном” для рассмотрения процессов взаимодействия молодых звездных группировок с межзвездной средой. Кроме того, важно уметь правильно учитывать воздействие этих эффектов на газовую среду, чтобы из наблюдаемого распределения лучевых скоростей получить кривую кругового вращения. Рост точности измерений позволяет строить и анализировать не только поля лучевых скоростей, но и двумерные карты дисперсии скоростей ионизованного газа (σ). В то же время, природа наблюдаемых в карликовых галактиках сверхзвуковых ($\sigma > 10 - 20$ км/с) турбулентных движений ионизованного газа

является предметом давней дискуссии, окончательная точка в которой еще не поставлена. Поэтому необходимо уметь корректно интерпретировать структуры, наблюдаемые на картах дисперсии скоростей ионизованного газа.

Именно этому посвящен §7.2, в котором представлены результаты изучения нескольких близких карликовых галактик (DDO 53, DDO 99, DDO 125, DDO 190, UGC 8508, UGCA 92 и VII Zw 403) с помощью сканирующего ИФП на 6-м телескопе САО РАН. Рассмотрены как двумерные карты дисперсии лучевых скоростей, так и диаграммы “поверхностная яркость – дисперсия скоростей” ($I - \sigma$). В пяти галактиках обнаружены расширяющиеся оболочки ионизованного газа диаметром до 350 пк с кинематическим возрастом 1–4 млн. лет. Кроме индивидуальных особенностей каждого объекта удалось выявить ряд общих закономерностей, указывающих на связь величины хаотических движений газа с процессами текущего звездообразования. Яркие области ИИ показывают малую ширину линий, с уменьшением поверхностной яркости разброс наблюдаемых величин растет, так что в большинстве областей низкой яркости дисперсия значительно превосходит среднее значение. Отмечается, что диаграммы $I - \sigma$ могут с успехом использоваться для поиска в галактиках отдельных уникальных объектов – остатков вспышек сверхновых, расширяющихся туманностей вокруг массивных звезд и т.п. Так, в UGC 8508 обнаружена компактная туманность, которая, судя по последующим спектральным наблюдениям со SCORPIO, связана с новым кандидатом в яркие голубые переменные – звездой LBV.

Поскольку типичное пространственное разрешение наблюдений с ИФП составляло 30 – 50 пк, возникает опасность, что потеря информация о мелкомасштабной кинематике газа может серьезно отразиться на виде диаграмм $I - \sigma$ и распределении дисперсии скоростей. С целью проверки этого эффекта в §7.3 анализируются результаты наблюдений более близких галактик IC 10 и IC 1613, сглаженные до разрешения ~ 40 пк. Показано, что несмотря на потерю точек, сглаживание мало влияет на общий вид диаграмм $I - \sigma$.

Далее, в §7.4 обсуждаются причины наблюдаемого роста дисперсии скоростей ионизованного газа с удалением от центра областей звездообразования. Показано, что модель, ранее предложенная Muñoz-Tuñón et al. (1996) для объяснения вида диаграммы $I - \sigma$ отдельных комплексов звездообразования, требует существенного дополнения в случае карликовых галактик. Наиболее важным здесь является то,

что основная часть областей с высокой дисперсией скоростей связана не с конкретными расширяющимися оболочками, а принадлежит диффузному фону низкой яркости, окружающему комплексы звездообразования. Это поведение наблюдаемых распределений σ объясняется наличием у гигантских областей III корон возмущенного газа низкой плотности с высокими турбулентными скоростями. Такое объяснение согласуется с современными представлениями о турбулентности в межзвездной среде.

В **Заключении** перечислены основные результаты диссертации и обсуждаются перспективы дальнейшего исследования затронутых в ней вопросов.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах:

1. Moiseev A.V., “Strong non-circular motions of gas in the spiral galaxy NGC 1084”, 2000, *Astronomy and Astrophysics*, v. 363, p. 843 – 850
2. Афанасьев В.Л., Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Блантон Е., “Гигантская биполярная оболочка вокруг WO-звезды в галактике IC1613: структура и кинематика”, 2000, *Письма в Астрономический журнал*, т. 26, с. 190 – 199
3. Moiseev A.V., “Measurement of radial velocities and velocity dispersion of stars in circumnuclear regions of galaxies using the 2D spectroscopy technique”, 2001, *Bulletin of the Special Astrophys. Observatory*, v. 51, p. 11 – 20
4. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Афанасьев В.Л., Вилкотс Э., Госс М., “Межзвездная среда вокруг WO звезды в галактике IC 1613: новые наблюдения в оптическом и радио диапазонах”, 2001, *Астрономический журнал*, т. 78, с. 235 – 250
5. Лозинская Т.А., Архипова В.П., Моисеев А.В., Афанасьев В.Л., “Наблюдения звездных объектов на границе оболочек в комплексе звездообразования в галактике IC 1613”, 2002, *Астрономический журнал*, т. 79, с. 19 – 30
6. Моисеев А.В., “Панорамная спектроскопия галактик с двойными барами”, 2002, *Письма в Астрономический журнал*, т. 28, с. 840 – 854

7. Moiseev A.V., “Reduction of the CCD-observations with scanning interferometer Fabry-Perot”, 2002, Bulletin of the Special Astrophys. Observatory, v. 54, p.74 – 88
8. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Подорванюк Н.Ю., “Кинематика ионизованного и нейтрального газа в комплексе звездообразования в галактике IC 1613”, 2003, Письма в Астрономический журнал, т. 29, с. 95 – 110
9. Sil’chenko O.K., Moiseev A.V., Afanasiev V.L., Chavushyan V.H., Valdes J.R., “The Leo I Cloud: Secular nuclear evolution of NGC 3379, NGC 3384, and NGC 3368?”, 2003, Astrophysical Journal, v. 591, p. 185 – 203
10. Moiseev A.V., Valdes J.R., Chavushyan V.H., “Structure and kinematics of candidate double-barred galaxies”, 2004, Astronomy and Astrophysics, v. 421, p. 433 – 453
11. Шаляпина Л.В., Моисеев А.В., Яковлева В.А., Гаген-Торн В.А., Барсунова О.Ю., “NGC 7468: галактика с внутренним полярным диском”, 2004, Письма в Астрономический журнал, т. 30, с. 643 – 652
12. Афанасьев В.Л., Моисеев А.В., “Универсальный редуктор светосилы 6-м телескопа SCORPIO”, 2005, Письма в Астрономический журнал, т. 31, с. 214 – 225
13. Afanasiev V.L., Gazhur E.B., Zhelenkov S.R., Moiseev A.V., “SCORPIO: prime focus focal reducer of BTA”, 2005, Bulletin of the Special Astrophys. Observatory, v. 58, p. 90 – 116
14. Fridman A.M., Afanasiev V.L., Dodonov S.N., Khoruzhii O.V., Moiseev A.V., Sil’chenko O.K., Zasov A.V., “The velocity fields of spiral galaxies. I. The data”, 2005, Astronomy and Astrophysics, v. 430, p. 67 – 81
15. Sil’chenko O.K., Moiseev A.V., “Nature of nuclear rings in unbarred galaxies: NGC 7742 and NGC 7217”, 2006, Astronomical Journal, v. 131, p. 1336 – 1346
16. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Авдеев В.Ю., Егоров О.В., “Структура и кинематика межзвездной среды в области звездообразования в BCD галактике VII Zw 403 (UGC 6456)”, 2006, Письма в Астрономический журнал, т. 32, с. 403 – 418

17. Silich S., Lozinskaya T., Moiseev A., Podorvanuk N., Rosado M., Borissova J., Valdez-Gutierrez M., 2006, *Astronomy and Astrophysics*, p. 448, v. 123 – 131
18. Martínez-Delgado I., Tenorio-Tagle G., Muñoz-Tuñón C., Moiseev A.V., Cairós L.M., “3D spectroscopy of Blue Compact Galaxies. Diagnostic Diagrams”, 2007, *Astronomical Journal*, v. 133, p. 2892 – 2897
19. Lozinskaya T.A., Moiseev A.V., “Synchrotron Superbubble in the IC 10 Galaxy: A Hypernova Remnant?”, 2007, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 381, p. L26 – L29
20. Bizyaev D.V., Moiseev A.V., Vorobyov E.I., “Propagating star formation in the collisional ring galaxy Arp 10”, 2007, *Astrophysical Journal*, v. 662, p. 304 – 321
21. Моисеев А.В., “К вопросу об измерении лучевых скоростей звезд с прибором SCORPIO”, 2008, *Астрофизический Бюллетень*, т. 63, с. 74 – 87
22. Моисеев А.В., Егоров О.В., “Обработка ПЗС-наблюдений со сканирующим интерферометром Фабри-Перо. II Дополнительные процедуры”, 2008, *Астрофизический Бюллетень*, т. 63, с. 193 – 204
23. Abolmasov P., Moiseev A., “Kinematics of the Nebular Complex MN9/10/11 Associated with HoIX X-1”, 2008, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, v. 44, p. 301 – 309
24. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Подорванюк Н.Ю., Буренков А.Н., “Синхротронная сверхоболочка в галактике IC 10: структура, кинематика и спектр свечения ионизованного газа”, 2008, *Письма в Астрономический Журнал*, т. 34, с. 243 – 258
25. Засов А.В., Моисеев А.В., Хоперсков А.В., Сидорова Е.А., “Дисковые галактики ранних типов: структура и кинематика”, 2008, *Астрономический Журнал*, т. 85, с. 99 – 114
26. Моисеев А.В., “Изогнутое полярное кольцо в галактике Arp 212”, 2008, *Астрофизический Бюллетень*, т. 63, с. 215 – 230
27. Sil’chenko O.K., Moiseev A.V., Afanasiev V.L., “Two more disk galaxies with global gas counterrotation”, 2009, *Astrophysical Journal*, v. 694, p. 1550 – 1558

28. Reshetnikov V.P., Moiseev A.V., Sotnikova N.Ya., “Malin1: interacting galaxy pair?”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 406, p. L90 – L94
29. Егоров О.В., Лозинская Т.А., Моисеев А.В., “Область бурного звездообразования в Irr галактике IC 10: структура и кинематика ионизованного и нейтрального газа”, 2010, *Астрономический Журнал*, т. 87, с. 316 – 334
30. Moiseev A.V., Pustilnik S.A., Kniazev A.Yu., “Study of very metal-poor galaxies: ionized gas kinematics of nine objects”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 405, p. 2453 – 2470
31. Brosch N., Kniazev A., Moiseev A., Pustilnik S., “On the Nature of the Apparent Ring Galaxy SDSS J075234.33+292049.8”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 401, p. 2067 – 2080
32. Sil’chenko O. K., Moiseev A. V., Shulga A. P. “Lenticular galaxies at the outskirts of the Leo II group: NGC 3599 and NGC 3626”, 2010, *Astronomical Journal*, v. 140, p. 1462 – 1474
33. Smirnova A., Moiseev A., “3D spectroscopy of merger Seyfert galaxy Mrk 334: nuclear starburst, superwind and the circumnuclear cavern”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 401, p. 307 – 318
34. Smirnova A.A., Moiseev A.V., Afanasiev V.L., “Seyfert galaxies that are undergoing merging but appear non-interacting”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 408, p. 400 – 406
35. Moiseev A.V., Karachentsev I.D., Kaisin S.S., “Ionized gas outflow in the isolated S0 galaxy NGC 4460”, 2010, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 403, p. 1849 – 1858
36. Katkov I. Yu., Moiseev A.V., Sil’chenko O.K., “Stars and ionized gas in S0 galaxy NGC 7743: an inclined large-scale gaseous disk”, 2011, *Astrophysical Journal*, v. 740, id. 83 (10 pages)
37. Moiseev A.V., Smirnova K.I., Smirnova A.A., Reshetnikov V.P., “A new catalogue of polar-ring galaxies selected from the SDSS”, 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 418, p. 244 – 257

38. Finkelman I., Moiseev A., Brosch N., Katkov I., “Hoag’s Object: Evidence for Cold Accretion onto an Elliptical Galaxy”, 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 418, p. 1834 – 1849
39. Beletsky Yu., Gadotti D.A., Moiseev A., Alves J., Kniazev A., “Looking inside the nest: the hidden structure of the merger galaxy NGC 1316 (Fornax A)”, 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 418, p. L6 – L10
40. Moiseev A.V., Lozinskaya T.A., “Ionized gas velocity dispersion in nearby dwarf galaxies: looking at supersonic turbulent motions”, 2012, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 423, p. 1831 – 1844
41. Моисеев А.В., “Внутренние полярные кольца и диски: наблюдаемые свойства”, 2012, *Астрофизический Бюллетень*, т. 67, с. 154 – 167

Сборники трудов конференций (в том числе, прошедшие рецензирование):

42. Zasov A.V., Moiseev A.V., “Nuclear kpc-sized disks of spiral galaxies”, 1999, *IAU Syposium 194*, SanFrancisco: ASP, p. 279 – 284
43. Moiseev A.V., Afanasiev V.L., Dodonov S.N., “Fabry-Perot observations at the 6m telescope”, 2002, *ASP Conf. Ser.*, v. 282, p. 443 – 444
44. Lozinskaya T.A., Moiseev A.V., Podorvanyuk N. Yu., “The Irregular Galaxy IC1613: Detailed Kinematics of H I and H II Shells in the Complex of Ongoing Star Formation”, 2003, *RevMexAA (Serie de Conferencias)*, v. 15, p. 284 – 286
45. Moiseev A.V., Bizyaev D.V., Vorobyov E.I., “Long-slit and Fabry-Perot spectroscopy of collisional ring galaxy Arp 10”, 2004, *AAS Meeting 205*, #26.05; astro-ph/0501601 (6 pages)
46. Bizyaev D.V., Moiseev A.V., Vorobyov E.I., “Modeling the star formation history in the ring galaxy Arp 10 with the help of spectral indices”, 2005, *AAS Meeting 207*, #134.05; astro-ph/0602209 (7 pages)
47. Moiseev A.V., Afanasiev V.L., “Scanning Fabry-Perot interferometer in the extragalactic researches”, 2005, *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplement*, v. 7, p. 44 – 47

48. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Авдеев В.Ю., Егоров О.В., Подорванюк Н.Ю., “Структура и кинематика межзвездной среды в областях звездообразования неправильных и BCD галактик”, 2006, Труды совещания “Звездообразование в Галактике и за ее пределами”, Москва, с. 196 – 203
49. Moiseev A.V., “Internal kinematics of Galaxies: 3D spectroscopy on Russian 6-m telescope”, 2007, ESO Astrophysics symposia, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 105 – 109
50. Moiseev A.V., Smirnova A.A., “Fuelling of Circumnuclear Regions: 3D Spectroscopy View”, in “Galaxy Evolution across the Hubble Time”, (eds. by F. Combes and J. Palous), 2007, Proceedings of the IAU Symp. 235, Cambridge University Press, p. 125 – 125
51. Moiseev A.V., “3D spectroscopy of the ionized gas kinematics in galactic rings”, 2008, ASP Conference Series, v. 396, p. 283 – 284
52. Smirnova A.A., Moiseev A.V., “Merging as a key to reforming of disk and AGN triggering in Sy galaxy Mrk334”, 2008, ASP Conference Series, v. 396, p. 291 – 292
53. Moiseev A.V., Bizyaev D.V., “3D spectroscopic study of galactic rings: formation and kinematics”, 2009, New Astronomy Reviews, v. 53, p. 169 – 174
54. Моисеев А.В., “Галактические кольца”, 2009, труды 38-й международной студенческой конференции “Физика Космоса”, под редакцией П.Е. Захаровой и др., Изд-во Уральского университета, с. 129–143
55. Moiseev A., Sil’chenko O., Katkov I., “Inner polar disks and rings: how do they form?”, 2010, AIP Conference Proceedings, vol. 1240, p. 251 – 252
56. Moiseev A.V., “Kinematically detected polar rings/disks in blue compact dwarf galaxies”, 2011, EAS Publications Series, vol. 48, p.115 – 118
57. Afanasiev V.L., Moiseev A.V “SCORPIO at the 6-m telescope: current state and perspectives for spectroscopy of galactic and extragalactic objects”, 2011, Baltic Astronomy, v. 20, p. 363 – 370

Личный вклад в совместных работах

Основные результаты диссертации опубликованы в 57 работах общим объемом 580 страниц, 47 работ написаны совместно с другими авторами. В статьях, где диссертант стоит первым в списке соавторов, его вклад является определяющим. В большинстве остальных совместных работ диссертант выполнял наблюдения на 6-м телескопе САО РАН, обработку и анализ данных о кинематике звездных и газовых компонент в изучаемых объектах, а вклад в интерпретацию полученного материала равноценен с остальными соавторами. Исключения составляют статьи [36] и [38] в которых обработка и анализ данных спектральных наблюдений, включающий оценку кинематических параметров, а также параметров звездного населения, выполнялся И.Ю. Катковым под руководством диссертанта. В статьях, посвященных изучению кинематики газа в галактиках Местной Группы, построение диаграмм “позиция-скорость”, с помощью программ, написанных диссертантом, выполнялось соавторами: Н.Ю. Подорванюком (работы [8], [17], [24]) и О.В. Егоровым (статьи [16] и [29]). У последнего диссертант также являлся со-руководителем кандидатской диссертации. В статье [39] диссертантом выполнен как анализ кинематики звезд по данным наблюдения с инфракрасным спектрографом SINFONI/VLT, так и обоснование существования околядерного противовращающегося диска. В статьях [12], [13] и [57] описывается прибор SCORPIO, разработанный В. Л. Афанасьевым. Роль диссертанта в этих работах в основном сводилась к разработке системы управления и методики наблюдения со сканирующим ИФП.

Список литературы

- Appleton P.N., & Struck-Marcell C., 1996, *Fundamentals of Cosmic Physics*, 16, 111
- Brook C. B., Governato F., Quinn T., 2008, *ApJ*, 689, 678
- Churazov E., Sunyaev R., Forman W., Böhringer H., 2002, *MNRAS*, 332, 729
- Erwin P., Beckman J.E., Pohlen M., 2005, *ApJ*, 626, L81
- Hopkins P.F., Quataert E., Murray N., 2012, *MNRAS*, 421, 3522

- Kaisin S.S., Karachentsev I.D., 2008, *A&A*, 479, 603
- Kauffmann G., Cheng H., Timothy M.J., 2010, *MNRAS*, 409, 491
- Kormendy J., Kennicutt R. C., 2004, *ARA&A*, 42, 603
- López-Sanjuan C., Le Fèvre O., de Ravel L. et al., 2011, *A&A*, 530, 20
- Lozinskaya T.A., Moiseev A.V., 2007, *MNRAS*, 381, 26L
- Mapelli M., Moore B., Ripamonti E., Mayer L., Colpi M., Giordano L., 2008, *MNRAS*, 383, 1223
- Muñoz-Tuñón C., Tenorio-Tagle G., Castañeda H.O., Terlevich R., 1996, *AJ*, 112, 1636
- Sil'chenko O.K., Moiseev A.V., Afanasiev V.L., 2009, *ApJ*, 694, 1550
- Whitmore B.C., Lucas R.A., McElroyet D.B. et al., 1990, *AJ*, 100, 1489
- Yang H., Skillman E.D, 1993, *AJ*, 106, 1448

Бесплатно

Моисеев Алексей Валерьевич

Структура и эволюция галактик по наблюдениям их внутренней
кинематики

Зак. № 190с Усл. изд. л. – 2.0 Тираж 100
Специальная астрофизическая обсерватория РАН