

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Специальная астрофизическая обсерватория  
Российской академии наук  
(САО РАН)

УДК 520; 523.3; 523.9; 524  
№ АААА-А18-118012490373-5



УТВЕРЖДАЮ  
Директор САО РАН

В.В. Власюк  
«27» декабря 2017 г.


ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
по проекту «ГАЗОВОЕ ОКРУЖЕНИЕ ГАЛАКТИК: АККРЕЦИЯ И ИСТЕЧЕНИЕ»  
программы ОФН-17 «Межзвездная и межгалактическая среда: активные и  
протяженные объекты»  
(Заключительный)

Отчет принят на заседании ученого совета САО РАН 26 декабря 2017 года  
(протокол №359).

Нижний Архыз  
2017

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы  
в.н.с., д.ф-м.н.



---

А.В. Моисеев (введение, раздел 1,  
заключение)

Исполнители темы:  
аспирант



---

Д.В. Опарин (раздел 1)

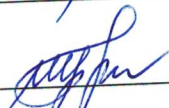
н.с., к.ф-м.н.



---

А.А. Смирнова (раздел 1)


м.н.с., к.ф-м.н.



---

Р.И. Уклеин (раздел 1)

Нормоконтролер



---

Ш.А. Узденова

## РЕФЕРАТ

Отчет 10 с., 1 прил.

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕЛЕСКОПЫ, ГАЛАКТИКИ, АСТРОСПЕКТРОСКОПИЯ

Цель работы - осуществление научной и научно-технической деятельности, в том числе проведение фундаментальных, поисковых и прикладных исследований, в области астрономии и смежных с ней наук.

В рамках проведения работы «Газовое окружение галактик: аккреция и истечение» удалось, используя наблюдения 6-м телескопа БТА САО РАН в комбинации с доступными данными других телескопов, изучить особенности звездообразования в близкой галактике с полярным кольцом NGC 660 и показать, что характеристики ОЗ в кольце газа, захваченного из внешнего окружения заметно отличаются от областей в центральном диске галактики. С помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо на 6-м телескопе БТА САО РАН построены карты полей скоростей ионизованного газа в линии Нальфа для ряда карликовых галактик, являющиеся кандидатами в объекты с текущей аккрецией межгалактического газа. С помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо на 6-м телескопе БТА САО РАН построены карты полей скоростей ионизованного газа в линиях [OIII], H $\alpha$  и [NII], а также изучена ионизация газа с помощью метода диагностических диаграмм в ряде галактик с активными ядрами. Анализ распределения поверхностной яркости протяженных эмиссионных структур позволил проследить историю изменения ионизирующего излучения из активного ядра, а также особенности его коллимации. Для галактик со вспышкой звездообразования удалось измерить скорости расширения гигантских газовых пузырей (Holmberg II) и характерную скорость галактического ветра (UGC 100043).

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ .....	7
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	10
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ .....	10

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БТА — Большой Телескоп Азимутальный

ИФП — интерферометр Фабри-Перо

ЗО – звездообразование

GALEX – Galaxy Evolution Explorer, орбитальный космический телескоп

CALIFA- The Calar Alto Legacy Integral Field Area Survey, обзор близких галактик методом интегрально-полевой спектроскопии на 3.6-м телескопе обсерватории Калар-Альто (Испания).

SCORPIO-2 — многорежимный спектрограф 6-м телескопа БТА САО РАН

SFR — star formation rate, темп звездообразования

VLA - Very Large Array, очень большая решетка радиотелескопов в США

WISE – Wide-Field Infrared Survey Explorer, инфракрасный космический телескоп НАСА,

## ВВЕДЕНИЕ

Все больше косвенных указаний на то, что для объяснения многих аспектов эволюции галактик требуется учет аккреции газа из межгалактической среды. С другой стороны, процессы, происходящие в галактиках, тоже влияют на их окружение. Фотоионизирующее излучение ОВ-звезд, кинетическая энергия звездных ветров и взрывов сверхновых нагревают газ, формируют как упорядоченные, так и хаотические истечения. Часть газа покидает галактику, часть, охлаждаясь, возвращается обратно и вновь принимает участие в звездообразовании. К еще более масштабным эффектам приводит работа аккреционной машины активного ядра. Учет такого взаимовлияния (feedback) сейчас является необходимым компонентом численных расчетов, посвященных как космологической эволюции в целом, так и объяснению параметров отдельных галактик. В то же время, большое количество свободных параметров моделей является проблемой, а прямых доказательств таких процессов не так много. Есть и противоречия этой картины с наблюдениями.

Галактики с полярными кольцами представляют собой интересный случай пекулярных систем, 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 либо слиянием спиральных галактик с изначально ортогональными осями вращения, либо аккрецией хозяйской галактикой (раннего типа) вещества спутника или газовых филаментов из межгалактической среды. В некоторых аспектах формирование таких структур напоминает образование дисков спиральных галактик в рамках иерархического сценария. Поэтому детальное изучение полярных структур (строение, звездообразование, эволюция) и их сравнение с дисками нормальных галактик позволят по-новому взглянуть на формирование галактик. Нами выполнено исследование условий ЗО в кольце и диске одной из таких галактик.

Галактический ветер - феномен достаточно хорошо известный. Но большинство наблюдений относятся к галактикам с мощным центральным звездообразованием ( $SFR > 1-5 \text{ Mo/год}$ ). Во многих случаях из наблюдений пока не получен ответ на вопрос, действительно ли обогащенный металлами газ достигает параболических скоростей, т.е. гарантировано покидает галактику. Даже такой важный параметр, как характерная скорость (разброс скоростей) ветра мало где измерен. Нами выполнены наблюдения, позволяющие достаточно уверенно измерить скорость ветра в галактике UGC 10043.

## 1 ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1.1 Изучен феномен галактического ветра в видимой с ребра галактике UGC 10043. Использовались данные 3D-спектроскопии, полученные на 3.5 м телескопе Calar Alto (обзор CALIFA) и на 6-м телескопе САО РАН со сканирующим интерферометром Фабри-Перо. На основе измерения параметров ионизованного газа определены основные физические характеристики ветра. Излучение ионизованного газа обнаруживается вплоть до расстояний 4 кпк выше плоскости галактического диска. Имеется некоторое расхождение между оценками современного темпа звездообразования и интенсивностью ветра, которое объясняется, скорее всего, неопределенностью с принятой величиной скважности газовых облаков в ветровой туманности. Наблюдаемое состояние ионизации газа объясняется в рамках фотоионизационных моделей, включающих ударные волны со скоростями  $< 400$  км/с. Альтернативную оценку характерных скоростей дает анализ поля скоростей ионизованного газа, по данным наблюдений с ИФП на БТА. Спектральное разрешение этих данных в несколько раз лучше, чем в спектрах CALIFA, поэтому нам удалось достаточно уверенно оценить скорости ветра в рамках геометрической модели, ранее использованной для объяснения кинематики NGC 4460 (Опарин, Моисеев, 2015). Кинематические оценки дают характерную скорость ветра 100-250 км/с, что согласуется с оценками по фотоионизации газа и этим доказывает, что она обеспечивается в основном ударными волнами.

1.2 Выполнено детальное исследование движений ионизованного газа в галактике Holmberg II, основанное на наблюдениях со сканирующим интерферометром Фабри-Перо на 6-м телескопе САО РАН. Также использовались имеющиеся архивные данные различных спектральных диапазонов, включая изображения HST и радионаблюдения в нейтральном водороде на VLA. Представлены доказательства того, что современное звездообразование в этой галактике индуцировано столкновением гигантских оболочек нейтрального водорода. Также нами слабая ионизованная сверхоболочка, скорость расширения которой составляет не более 10-15 км/с. Для ионизации имеющегося в ней газа, в принципе, достаточно имеющихся в окрестности 5 звезд OB, хотя не исключен и вклад от ионизирующих фотонов из ярких областей HII.

1.3 Изучен ионизационный баланс и история изменения интенсивности излучения в 8 галактиках с затухающим активным ядром, ионизирующим облака на значительном расстоянии (более 10 кпк) от центра. Проанализированы результаты наблюдений на космическом телескопе им. Хаббла, 6-м телескопе САО РАН и 8-м телескопе Gemini (Гавайские о-ва). Наблюдения на БТА выполнялись с прибором SCORPIO-2 в режимах спектроскопии с длинной щелью и сканирующего интерферометра Фабри-Перо. Показано, что общей особенностью всех рассмотренных галактик

является быстрое уменьшение ионизирующей радиации за последние 20 тыс. лет. Наблюдения с интегрально-полевым спектрографом Gemini указывают на незначительную роль истечений газа из ядра в формирование ионизационных структур. В отличие от многих радио-громких активных галактических ядер, газ в рассмотренных галактиках в основном связан с приливными структурами, подсвеченными центральной машиной активного ядра, что подтверждается их относительно «спокойной» кинематикой по данным наблюдений с ИФП на БТА.

1.5 По данным наблюдений на БТА и архивов космических телескопов WISE и GALEX изучены параметры, характеризующие текущее звездообразование в близкой галактике с полярным кольцом NGC 660. Показано, что характеристики областей HII в полярном кольце и в диске заметно различаются. Если в диске меньшей области звездообразования по соотношению светимостей в разных диапазонах соответствуют типичным областям иррегулярных галактик, то ОЗ в кольце отличаются меньшей ИК-светимостью, что, видимо, связано с меньшим содержанием пыли. Отмечены и другие особенности, указывающие на иной режим звездообразования в полярном кольце, что важно для понимания процессов формирования таких галактик.

1.6 Для 14 карликовых галактик в войдах получены наблюдательные данные со сканирующим интерферометром Фабри-Перо (ИФП) на 6-м телескопе САО РАН. Построены поля лучевых скоростей и распределения яркости в линии H $\alpha$ , выделены области с некруговыми движениями газа. Изучается связь наблюдаемых пекулярностей в кинематике с возможными актами недавнего захвата газа из внешней среды. Наиболее интересные особенности в движении газа выявлены в галактиках UGC4117, UGC5288, DDO43, IC559. Все они строго изолированы и демонстрируют сильное (десятки градусов) рассогласование в ориентации больших осей в распределении яркости и в полях скоростей. Такое рассогласование может быть вызвано аккрецией внешнего газа с соответствующей ориентацией орбитального момента вращения. Альтернативным объяснением структуры таких объектов является предположение о наблюдении звездных перемычек-баров в чисто газовых дисках.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов спектральных и интерферометрических наблюдений галактик, выполненных на 6-м телескопе БТА САО РАН, позволил значительно лучше понять особенности внутренней структуры и кинематики ряда близких галактик, в которых недавно (на космологической шкале) имел место захват вещества из внешней среды. А также разобраться с газодинамикой таких объектов, как галактический ветер дисковых галактик и гигантские газовые сверхоболочки в карликовых галактиках, созданные в результате воздействия вспышки звездообразования на межзвездную среду.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

#### В ИНОСТРАННЫХ РЕФЕРИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ

1. Egorov Oleg V., Lozinskaya Tatiana A., Moiseev Alexei V., Shchekinov Yuri A. "Complexes of triggered star formation in supergiant shell of Holmberg II", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2017, Vol. 464, pp. 1833-1853
2. Keel W.C., Lintott Ch.J., Maksym W.P., Bennert V.N., Chojnowski S.D., Moiseev A., Smirnova A., Schawinski K., Sartori L.F., Urry C. M., Pancoast A., Schirmer M., Scott B., Showley Ch., Flatland K. "Fading AGN Candidates: AGN Histories and Outflow Signatures", Astrophysical Journal, отправлено в печать
3. Smirnova K. I., Wiebe, D. S., Moiseev A. V. "Star-forming complexes in the polar ring galaxy NGC660", 2017, Open Astronomy, in press

#### В РОССИЙСКИХ ИЗДАНИЯХ

1. Моисеев А.В. «Исследование галактик с полярными кольцами на БТА», Юбилейный сборник «САО РАН – 50 лет», САО РАН, 2017

#### СПИСОК ДОКЛАДОВ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

1. Moiseev A. V. "Multi-spin galaxies on the 6-m telescope: forty-years history of researches", конференция Multi-spin Galaxies 2016, п. Нижний Архыз, Карачаево-Черкессия, Россия, 26-30 сентября 2016
2. Bryukhareva T., Moiseev A., "Ionized gas in the galaxies with fading star formation: distribution and kinematics", конференция Multi-spin Galaxies 2016, п. Нижний Архыз, Карачаево-Черкессия, Россия, 26-30 сентября 2016
3. Опарин Д.В., Моисеев А.В., "Поиск источников ионизации газа в галактиках: дополнение к классическим методам", конференция Актуальные проблемы внегалактической астрономии, Пущино, 18-21 апреля 2017 г.
4. Моисеев А.В., «Зоопарк галактик: совместные исследования любителей и профессионалов», молодежная школа «Космическая наука», Казань, 28-30 августа 2017