

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. П.К.ШТЕРНБЕРГА

на правах рукописи

Подорванюк Николай Юрьевич



**СТРУКТУРА И КИНЕМАТИКА ГАЗА В
ОБЛАСТЯХ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ
ГАЛАКТИК IC1613 И IC10: ДЕЙСТВИЕ
СВЕРХНОВЫХ И ЗВЕЗДНОГО ВЕТРА**

(01.03.02 - астрофизика и радиоастрономия)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва 2009

Работа выполнена на кафедре астрофизики и звездной астрономии физического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
Лозинская Татьяна Александровна (ГАИШ МГУ, ведущий научный сотрудник отдела радиоастрономии)

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
Тутуков Александр Васильевич (ИНАСАН, заведующий отделом физики и эволюции звезд)

доктор физико-математических наук
Сильченко Ольга Касьяновна (ГАИШ МГУ, руководитель отдела физики эмиссионных звезд и галактик)

Ведущая организация:

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Защита состоится “19” февраля 2009 года в 14 часов на заседании Диссертационного совета по астрономии МГУ им. М.В.Ломоносова, шифр Д 501.001.86

Адрес: 199991, Москва, Университетский проспект, д.13, ГАИШ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга Московского Государственного университета им. М.В.Ломоносова (Университетский пр., 13).

Автореферат разослан “16” января 2009 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 501.001.86
к.ф.-м.н.



С.О.Алексеев

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Согласно современным представлениям, вспышки сверхновых и звездного ветра являются основными факторами, определяющими структуру и кинематику межзвездной среды в иррегулярных (Irr) галактиках. Эти галактики оптимальны для исследования взаимодействия сверхновых и звездного ветра с окружающим газом. Цикл взаимодействия звезд и газа в них не прерывается спиральными волнами, толщина газового слоя больше, а плотность газа меньше, чем в спиральных галактиках. Поэтому взаимодействие звезд и газа в Irr галактиках наблюдается на огромных пространственных и временных масштабах, вплоть до формирования многооболочечных комплексов, сопоставимых по размеру с размером галактики.

В данной работе представлены результаты исследований таких комплексов в двух Irr галактиках, IC1613 и IC10, по наблюдениям на 6-м телескопе CAO с прибором SCORPIO (прямые снимки в линиях $H\alpha$, [OIII] и [SII], спектроскопия с длинной щелью, со сканирующим интерферометром Фабри-Перо) и с панорамным спектрографом MPFS. Используются также архивные данные наблюдений в линии 21 см на VLA.

Цель работы

Главная задача настоящей работы – исследование структуры и кинематики нейтрального и ионизованного газа в областях звездообразования галактик IC1613 и IC10 с целью поиска признаков влияния сверхновых и звездного ветра на межзвездную среду в этих галактиках.

Основные результаты, выносимые на защиту

1) По наблюдениям на 6-метровом телескопе CAO РАН и архивным данным VLA проведено детальное исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в единственном в галактике IC1613 комплексе звездообразования. Выделены три протяженные (300 – 350 пк) нейтральные оболочки, с которыми связаны наиболее яркие ионизованные оболочки в галактике. Обнаружен эффект расширения двух оболочек

HI со скоростью 15 – 18 км/с. Значительно увеличены измеренные ранее скорости расширения большинства ионизованных оболочек в IC1613.

2) Впервые измерена скорость расширения яркой туманности S8 – единственного остатка вспышки сверхновой в галактике IC1613. Выявлена оболочка HI, на внутренней границе которой расположен остаток. Это подтверждает сценарий вспышки сверхновой внутри каверны, окруженной плотной оболочкой, и взаимодействия остатка со стенкой оболочки.

3) По наблюдениям на 6-метровом телескопе САО РАН и архивным данным VLA проведено детальное исследование кинематики ионизованного и нейтрального газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10. Для большинства звезд найдены кинематические признаки влияния ветра на межзвездную среду, проведены оценки мощности ветра.

4) Обнаружен эффект расширения нейтрального и ионизованного газа в области уникальной синхротронной сверхоболочки в галактике IC10. По измеренной скорости и плотности газа получено подтверждение механизма образования этой сверхоболочки при вспышке Гиперновой.

Научная новизна работы

Все результаты, выносимые на защиту, являются новыми. Столь детальное исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в Irr галактиках IC1613 и IC10 проведено впервые; впервые сопоставлена кинематика HI и HII в гигантских комплексах звездообразования этих галактик.

Научная и практическая ценность работы

Ряд результатов, полученных в диссертационной работе, может оказаться полезным в дальнейшем исследовании влияния звездного ветра и сверхновых на межзвездную среду в областях звездообразования.

Личный вклад автора

В ходе выполнения работы автор:

– принимал участие в наблюдениях изучаемых объектов на 6-метровом телескопе САО РАН с прибором SCORPIO (со сканирующим интерферометром Фабри-Перо) и с панорамным спектрографом MPFS;

- обрабатывал наблюдательные данные с 6-метрового телескопа САО РАН и архивные данные с VLA, используя как ранее написанное программное обеспечение, так и свое собственное;
- участвовал в обсуждении результатов наблюдений и выводов, которые из них следуют.

Апробация результатов

Результаты, изложенные в диссертации, обсуждались на кафедре астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, докладывались и опубликованы в трудах и тезисах следующих конференций:

1. Научная конференция "Ломоносовские чтения". Москва (2005)
2. Три научные конференции "Актуальные проблемы астрофизики". Пущино (2006, 2007, 2008)
 - (2006 - доклад "Крупномасштабная структура и кинематика межзвездной среды в областях звездообразования галактик IC 1613, VII Zw403, IC10";
 - 2007 - доклад "Кинематика газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в VCD галактике IC10";
 - 2008 - доклад "Структура и кинематика газа в областях звездообразования галактик IC1613 и IC10: действие сверхновых и звездного ветра")
3. Совещание "Звездообразование в Галактике и за ее пределами". Москва (2006).
4. Семинар "Субпарсекковые структуры в межзвездной среде". Москва (2007).

Структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения. Содержит 48 рисунков, 8 таблиц и библиографию из 44-х наименований. Общий объем диссертации составляет 95 страниц, включая рисунки.

Содержание работы

Во *введении* обсуждается проблема действия сверхновых и звездного ветра на межзвездную среду в областях звездообразования.

Приводится объяснение, почему в настоящей работе для исследования были выбраны именно галактики IC1613 и IC10.

Гигантский комплекс множественных ионизованных оболочек [29] в северо-восточном секторе IC 1613 – самая заметная структура на изображениях в линиях $H\alpha$, [OIII], [SII] этой карликовой неправильной галактики Местной Группы, расположенной на расстоянии 725–730 кпк.

К этому комплексу принадлежит большинство ярких HII областей [6, 29, 34, 39] и единственный известный в галактике остаток вспышки сверхновой [23] (рисунок 1).

Звездное население комплекса представлено двумя десятками молодых звездных ассоциаций и скоплений [8, 38].

Этот комплекс множественных оболочек и богатая звездная группировка представляют единственный очаг современного звездообразования в галактике. Вероятно эту область бурного звездообразования в IC1613 можно рассматривать как очень молодую и небольшую сверхассоциацию [22]. Современные наблюдения комплекса в радио линии 21 см показали, что с множественными ионизованными оболочками связаны протяженные оболочки нейтрального газа (“сверхоболочки” в общепринятой терминологии) [21-22].

Одной из задач в настоящей работе было детальное исследование структуры и кинематики ионизованного и нейтрального газа в многооболочечном комплексе. Изучение кинематики HII в комплексе звездообразования и столь детальное исследование кинематики HII ранее никем не проводились.

В этом же комплексе находится яркая туманность S8 [34], представляющая собой единственный известный в этой галактике остаток вспышки сверхновой [32]. В работе Лозинской, Сильченко, Гельфанда и Госса [23] приводятся результаты наблюдений галактики в рентгеновском диапазоне, полученные с борта обсерватории ROSAT. Одним из результатов этих наблюдений стало отождествление ярчайшего в этой галактике источника рентгеновского излучения с остатком вспышки сверхновой S8. Яркое рентгеновское излучение остатка вспышки сверхновой, как правило, возникает на ранних стадиях эволюции остатков - стадии свободного разлета или адиабатического расширения оболочки (Шкловский, 1976, Лозинская, 1986). В то же время в работе [23] приводятся результаты наблюдений остатка в оптическом диапазоне с помощью мультиспектрального спектрографа на 6-м телескопе САО РАН, которые свидетельствуют о более поздней стадии эволюции остатка, так называемой стадии

высвечивания. Для объяснения несочетаемых признаков старого и молодого остатка, а именно высокой яркости остатка одновременно в оптическом и в рентгеновском диапазоне, в работе [23] была предложена модель вспышки сверхновой внутри каверны, окруженной плотной оболочкой, и столкновение расширяющегося остатка сверхновой со стенкой этой оболочки. С целью подтверждения этой модели была проведена обработка новых наблюдений этой области на 6-метровом телескопе САО РАН в оптическом диапазоне и обработка архивных данных VLA.

Карликовая иррегулярная галактика IC 10 широко используется для исследований структуры, кинематики и спектра свечения межзвездной среды в областях бурного звездообразования. Здесь наблюдаются множественные ионизованные и нейтральные оболочки и сверхоболочки, дуговые и кольцевые структуры размером от 50 пк до 800 - 1000 пк [13, 7, 17], диффузная компонента ионизованного газа [37, 42]. Звездное население галактики свидетельствует о недавней вспышке звездообразования ($t=4-10$ млн. лет) и о более старой ($t>350$ млн.лет) [13, 27, 37].

Два момента выделяют галактику IC 10 среди других карликовых галактик с бурным звездообразованием и делают ее исследования особенно интересными.

Первый – аномально большое число звезд WR, в 20 раз больше, чем в БМО. Пространственная плотность WR достигает 11 WR на квадратный кпк [15, 26-27]. Это самая высокая плотность WR среди карликовых галактик, сопоставимая с массивными спиральными галактиками. При нормальной IMF столь высокая плотность звезд WR говорит о практически одновременной вспышке современного звездообразования, охватившей большую часть галактики.

В связи с этим большой интерес представляет исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в областях звезд Вольфа-Райе, которое было проведено автором.

Помимо аномально большого числа звезд Вольфа-Райе в галактике IC10 находится уникальная так называемая "синхротронная сверхоболочка". Она была открыта Янгом и Скиллманом еще в 1993 г. [44] и до сих пор не получила исчерпывающего объяснения. В работе Лозинская, Моисеев (2007) [18] было предложено альтернативное объяснение природы этой уникальной синхротронной сверхоболочки: вспышка Гиперновой. Для проверки этой гипотезы одной из целей настоящей работы было детальное исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в области этого уникального объекта.

Первые две главы посвящены исследованию Iгг галактики IC1613. В *первой главе* представлены результаты подробного изучения кинематики газа в галактике IC1613.

Для исследования кинематики ионизованных оболочек проведены наблюдения в линии H α со сканирующим интерферометром Фабри-Перо 6-м телескопа САО РАН. Монохроматическое изображение многооблочного комплекса в линии H α , полученное по данным интерферометрических наблюдений, выявило новые слабые тонковолокнистые образования в ряде областей комплекса.

Построены диаграммы позиция-лучевая скорость, практически равномерно перекрывающие весь комплекс звездообразования. По этим диаграммам оказались значительно (в 2-3 раза) увеличены скорости расширения большинства ионизованных оболочек комплекса, найденные Валдес-Гутиеррес и др., (2001) [6]. В ряде оболочек обнаружена асимметрия расширения: приближающаяся и удаляющаяся стороны оболочек имеют разные скорости.

По наблюдениям в линии 21 см на радиотелескопе VLA впервые исследована кинематика нейтрального газа в комплексе звездообразования. Средняя скорость HI в комплексе составляет $V_{Hel} = -230 \pm 5$ км/с, что хорошо согласуется с оценкой Лэйка и Скилмана (1989) [24] для этой части галактики по наблюдениям с низким угловым разрешением.

Выделены три протяженные (размером 300 – 350 пк) нейтральные оболочки, с которыми связаны наиболее яркие ионизованные оболочки. Обнаружен эффект расширения двух оболочек HI со скоростью 15 – 18 км/с.

Найденные размеры, скорость расширения и кинематический возраст нейтральных оболочек в комплексе попадают в области максимумов соответствующих распределений для гигантских оболочек в БМО и ММО.

Отмечены признаки физического взаимодействия оболочек HI и HII в области цепочки звезд – гигантов и сверхгигантов ранних классов, обнаруженных Лозинской и др. (2002) [22]. Показано, что область на границе двух оболочек, где расположена звездная цепочка, представляет наиболее динамически активную часть комплекса звездообразования. Здесь наблюдаются самые большие скорости ионизованного и нейтрального газа.

Взаимное расположение и возраст оболочек HI, HII и OV ассоциаций в комплексе позволяют предположить последовательное или инициированное звездообразование в расширяющихся нейтральных оболочках.

Кроме трех наиболее ярких и отчетливо выраженных оболочек H I , в галактике найдены “сверхгигантские” арки и кольцевые образования, размер которых сопоставим с толщиной газового диска. Можно предположить, что это следы предшествующих вспышек звездообразования в IC 1613.

С целью изучения крупномасштабной структуры было проведено исследование кинематики нейтрального газа во всей галактике IC1613. Были выделены еще две оболочки H I . Ни одна гигантская структура нейтрального газа не выявила признаков расширения. При этом в стенках выделенных оболочек обнаружено расширение со скоростью более 15 км/с. Полученные данные использовались в совместной работе автора с С.А.Силичем по численному расчету процесса образования структур, наблюдаемых в IC1613 в линии нейтрального водорода.

Во *второй главе* детально исследованы структура и кинематика единственного остатка сверхновой S8 в галактике IC1613. Наблюдения в оптическом диапазоне на 6-метровом телескопе с панорамным спектрографом MPFS и интерферометром Фабри-Перо позволили оценить скорость расширения S8. Сделана попытка выявления ионизованной оболочки или плотного слоя ионизованного газа в окрестности остатка сверхновой, со стенками которых он мог бы сталкиваться. С этой целью были проведены исследования кинематики газа в протяженной области по наблюдениям со сканирующим интерферометром Фабри-Перо на 6-м телескопе САО РАН.

По данным наблюдений в линии 21 см были проведены поиски плотной внешней оболочки или плотного слоя вокруг остатка сверхновой. Были обнаружены признаки гигантской оболочки H I , на внутренней границе которой расположен остаток. Это подтверждает сценарий вспышки сверхновой внутри каверны, окруженной плотной оболочкой, и столкновение остатка со стенкой S8, предложенный Лозинской и др. (1998) [23] для объяснения пекулярности этого остатка, сочетающего признаки молодого и старого объектов.

Две следующие главы посвящены исследованию Iгг галактики IC10.

В *третьей главе* проведено детальное исследование кинематики ионизованного и нейтрального газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10.

На изображении галактики в линии H α вокруг звезд Вольфа-Райе выделяется очень много дуговых структур разного масштаба и сложной морфологии. Явных и замкнутых оболочек не видно ни у одной звезды

WR, и это легко объясняется тем фактом, что вся галактика фактически представляет собой единый комплекс современного звездообразования с большим числом источников звездного ветра. Ветер многочисленных звезд взаимодействует друг с другом, и в результате возникают очень сложные структура и кинематика.

Для некоторых звезд можно установить связь с окружающими их структурами. Так, для звезд M1 и M2, которые находятся в западной части галактики, выявлены ионизованные дуговые структуры, которые являются частями возможных оболочек, выметенных этими звездами. Измерены скорости расширения этих дуговых структур, они достигают 50 км/сек. Кинематика нейтрального газа этой области галактики подтверждает предположение о том, что звезды находятся в плотном HI-облаке, и звездный ветер с одной стороны оболочки тормозится плотным нейтральным газом, а с другой стороны свободно расширяется в область с более низкой плотностью.

Для звезд, у которых выделяются возможные части гипотетической выметенной оболочки, были произведены оценки мощности ветра. В ходе настоящей работы было показано, что мощность ветра, необходимая для формирования наблюдаемых структур, при найденной скорости расширения составляет порядка $\simeq (0.01 - 0.84) \cdot 10^{38}$ эрг в среде с невозмущенной плотностью от 1 до 10 см^{-3} . Полученные значения мощности ветра характерны для звезд Вольфа-Райе даже с учетом низкой металличности галактики, что может уменьшать мощность ветра в 2-3 раза.

Показано, что отсутствие наблюдаемой оболочки вокруг звезд Вольфа-Райе может быть связано с низкой плотностью окружающего газа, выметенного звездой на предшествующих стадиях или в результате совместного действия многих звезд ассоциаций.

В *четвертой главе* проведено детальное исследование кинематики в области уникальной синхротронной сверхоболочки в галактике IC10.

Янг и Скиллман связали этот протяженный источник нетеплового радиоизлучения со множественными вспышками сверхновых [44]. Учитывая характерное время обнаружимости синхротронного радиоизлучения остатка сверхновой около 10^5 лет, эти вспышки должны были произойти практически одновременно. С целью проверки альтернативного объяснения природы синхротронной сверхоболочки вспышкой Гиперновой [18], было проведено детальное исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа в области этого уникального объекта, размер которой составляет порядка 200 парсек.

По наблюдениям с 6-метровым телескопе САО РАН и архивным данным VLA измерены скорости расширения нейтрального и ионизованного газа в этой области. Детальные исследования кинематики ионизованного газа дали характерную скорость разлета ярких сгустков и волокон оптической оболочки $50 - 80$ км/с; скорость расширения, определяемая по слабым деталям линии, составляет около 100 км/с.

Измеренные скорость расширения и плотность позволяют оценить кинетическую энергию сверхоболочки $E_{kin} \simeq (1 - 3) \cdot 10^{52}$ эрг. Найденная энергия соответствует вспышке десятка сверхновых плюс звездный ветер их родительской ассоциации, как предположили Лэйк, Скилман (1993) [24], или вспышке Гиперновой, как предложено Лозинской и Моисеевым (2007) [18]. Измеренная скорость расширения соответствует возрасту сверхоболочки $t \simeq (3 - 7) \cdot 10^5$ лет, что является очень сильным аргументом в пользу предположения о вспышке Гиперновой, поскольку для вспышки десятка сверхновых в локальной области галактики требуется как минимум около $t \simeq 10^7$ лет.

В *Заключении* сформулированы основные результаты диссертации.

Основные результаты диссертации содержатся в следующих публикациях:

1. Т.А.Лозинская, А.В.Моисеев, Подорванюк Н.Ю. "Детальное исследование кинематики ионизованного и нейтрального газа в комплексе звездообразования в галактике IC 1613." 2003, ПАЖ т.29, No 2, с. 95-110 ASTRO-PH/0301214

2. T.A.Loizinskaya, A.V.Moiseev, N.Yu.Podorvanyuk "The Irr Galaxy IC 1613: detailed kinematics of HI and HII shells in the Complex of Ongoing Star Formation." Revista Mexicana Astron. Astroph., Serie de Conferencias, 2003, v.15, p.284-286

3. Silich S., Loizinskaya T., Moiseev A., Podorvanyuk N., Rosado M., Borissova J., Valdez-Gutierrez M. "On the neutral gas distribution and kinematics in the irr galaxy IC 1613" Astronomy and Astrophysics, 448, 123-131, 2006 ASTRO-PH/0510812

4. 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." Труды совещания "Звездообразование в Галактике и за ее пределами." Москва, 2006, с.196-203.

5. 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." Письма в Астрон.ж., 2008, т.34, No4 ASTRO-PH/0803.2435

6. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Подорванюк Н.Ю. "Синхротронная Сверхоболочка в галактике IC 10: множественные вспышки сверхновых или вспышка Гиперновой?" Труды семинара "Субпарсекковые структуры в МЗС Москва, 2007.

7. Лозинская Т.А., Подорванюк Н.Ю. "Новые наблюдения единственного остатка вспышки сверхновой в галактике IC1613". Письма в Астрон.ж., 2009, т.36, No5 (в печати) ASTRO-PH/0812.1509

8. Подорванюк Н.Ю. "Кинематика газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10". Электронный журнал "Исследовано в России (в печати) ASTRO-PH/0901.2059

Список литературы

- [1] *Афанасьев и др.* (Афанасьев В.Л., Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Блэнтон Е) // Письма в астрофиз.ж., 2000, 26, 190.
- [2] *Бауэр, Брандт, 2004* (F.E.Bauer and W.N.Brandt) // Письма в астрофиз.ж., 2000, 26, 190.
- [3] *Борисова и др.* (Borissova J., Kurtev R., Georgiev L. and Rosado M.) // A&A, 2004, 413, 889.
- [4] *Буйежос и Росадо* (Bullejos A. and Rosado M.) // Rev.Mex.Astron.Astrofis. (Ser.Conf.), 2002, 12, 254.
- [5] *Вацца и др.* (W.D.Vacca, C.D.Sheehy, and J.R.Graham) // Astrophys J., in press (2008); astro-ph/0701628.
- [6] *Валдес-Гутьеррес и др.* (Valdez-Gutierrez M., Rosado M., Georgiev L, et al.) // A&A, 2001, 366, 35.
- [7] *Вилкотс, Миллер, 1998* (Wilcots E.M., Miller B.W.) // Astron.J., 1998, 116, 2363.
- [8] *Георгиев и др.* (Georgiev L., Borissova J., Rosado M. et al.) // Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 1999, 134, 21.
- [9] *Госачинский, Херсонский* // Astrophys.Space Sce., 1985, 108, 303.
- [10] *Госачинский* // Письма в Астрофиз.ж., 2005, 31, 198.
- [11] *Демерс и др., 2004* (Demers S., Battinelli P., Letarte B.) // AAp, 2004, 424,125.
- [12] *Допита, Лозинская и др., 1994* (M.A.Dopita, J.F.Bell, Y.-H.Chu and T.A.Loizinskaya) // Astrophys.J., 1994, 93, 455.
- [13] *Зуккер, 2000* (Zucker D.B.) // BAAS, 2000, 32, 1456.
- [14] *Ким и др., 1999* (S.Kim, M.A.Dopita, L.Staveley-Smith and M.S.Bessell) // Astron. J., 1999, 118, 2797.
- [15] *Краутер и др., 2003* (Crowther P.A, Drissen L., Abbott J.B., Royer P., Smartt S.J.) // Astron.Astrophys., 2003, 404, 483.
- [16] *Лай и др., 2001* (Lai Sh.-P., Chu Y.-H., Chen C.-H. R., Ciardullo R., Grebel E.K.) // Astrophys.J., 2001, 547, 754.
- [17] *Лерой и др., 2006* (Leroy A., Bolatto A., Walter F.,Blitz L.) // Astrophys.J., 2006, 643, 825.

- [18] *Лозинская, Моисеев, 2007* (Лозинская Т.А., Моисеев А.В.) // MNRAS (2007)
- [19] *Лозинская Т.А.* // Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с ветром галактики. Издательство "Наука", Москва. 1986.
- [20] *Лозинская, 2002a* (Лозинская Т.А.) // ПАЖ, 2003, т.29,№2, с.1-16.
- [21] *Лозинская и др., 2001* (Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Афанасьев В.Л., Вилкотс Е., Госс В.М.) // Астрон. журн., 2001, 78, 485.
- [22] *Лозинская и др., 2002* (Lozinskaya T.A.) // Astron. Astroph. Transactions, 2002, v.21, No 4-6, p.223-229.
- [23] *Лозинская и др.* (T.A.Lozinskaya, O.K.Silchenko, D.J.Helfand and M.W.Goss) // AJ, 1998, 116, 2328.
- [24] *Лэйк, Скиллман* (Lake G., Skillman E.D.) // AJ, 1989, 98, 1274.
- [25] *Маккрэй и Кафатос* (McCray R., Kafatos M.) // ApJ, 1987, 317, 190.
- [26] *Масси и Холмс* (Massey P. and Holmes S.) // Astrophys. J., 2002, 580, 35.
- [27] *Масси и др., 2007* (Massey P., Olsen K., Hodge P., Jacoby G., McNeill R., Smith R., Strong Sh. // ASTRO-PH-0702236 (2007)
- [28] *Миберн* (Meaburn, J.) // MNRAS, 1980, 192, 365.
- [29] *Миберн и др.* (Meaburn, J., Clayton, C.A., and Whitehead, M.G.) // MNRAS, 1988, 235, 479.
- [30] *Моисеев А.В.* // Препринт САО РАН №166, 1 (2002).
- [31] *Ройер и др.* (Royer P., Smartt S.J., Manfroid J., Vreux J.) // Astron.Astrophys., 2001, 366, L1.
- [32] *Росадо и др., 2001* (Rosado M., Valdez-Gutierrez M., Georgiev L. et al.) // AJ, 2001, 122, 194.
- [33] *Росадо и др., 2002* (Rosado M., Valdez-Gutierrez M., Bullejos A., Arias L., Georgiev L., Ambrocio-Cruz P., Borissova J., Kurtev R.) // in "Galaxies: The Third Dimension" ASP Conference Series, 2002, 282, 50.
- [34] *Сэндидж* (Sandage A.) // AJ, 1971, 166, 13.
- [35] *Туроу и Вилкотс, 2005* (Thurrow J.C., Wilcots E.M.) // Astron.J., 2005, 129, 745.
- [36] *Хантер и др.* (Hunter D.A., Hawley W.N. & Gallagher J.S.) // AJ, 1993, 106, 1797.
- [37] *Хантер, 2001* (Hunter D.A.) // Astrophys.J., 2001, 559, 225.

- [38] *Ходжс, 1978* (Hodge P.) // *Astrophys J. Suppl. Ser.* 1978, 37, 145.
- [39] *Ходжс и Ли* (Hodge P. and Lee M.G.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1990, 102, 26.
- [40] *Ходжс и др.* (Hodge P., Lee M.G., Gurwell M.) // *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1990, 102, 1245.
- [41] *Чен и др., 2002* (Chen C.-H. R., Chu Y.-H., Gruendl R., Lai Sh.-P., Wang Q.D.) // *Astron.J.*, 2002, 123, 2462.
- [42] *Чызы и др., 2003* (Chyzy K.T., Кнапик J., Bomans D.J., Klein U., Beck R., Soida M., Urbanik M.) // *Astron.Astrophys.*, 2003, 405, 513.
- [43] *Шкловский* (И.С.Шкловский) // *Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы*. Издательство “Наука”, Москва. 1976.
- [44] *Янг и Скиллман, 1993* (Yang H., Skillman E.D.) // *Astron.J.*, 1993, 106, 1448.