

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 2008

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 (ИНСАН, 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

Зашита состоится "2" октября 2008 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 "28" августа 2008 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 многооболочных 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 САО 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. Использованы 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 САО 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

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

2) В ходе исследования кинематики единственного в IC1613 остатка сверхновой S8 обнаружен эффект его расширения. Найдена плотная оболочка нейтрального газа, что подтверждает модель вспышки сверхновой внутри каверны, окружённой плотной оболочкой, и столкновение расширяющегося 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 подавляющего 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 НІ и НІІ 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 BCD 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 "Субпарсековые структуры в межзвездной среде". Москва (2007).

## Структура диссертации

Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения. Содержит 50 рисунков и библиографию из 38-ми наименований. Общий объем диссертации составляет 97 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 (Миберн и др., 1988) в северо-восточном секторе IC 1613 – самая заметная структура на изображениях в линиях H $\alpha$ , [OIII], [SII] этой dw Irr галактики Местной Группы, расположенной на расстоянии 725–730 кпк (Фридман 1988а,б; Долфин и др., 2001). К этому комплексу принадлежит большинство ярких HII областей (Сэндидж, 1971; Леке и др., 1987; Ходж и др., 1990; Хантер и др., 1990; Валдес-Гутиеррес и др., 2001) и единственный известный в галактике остаток вспышки сверхновой (Лозинская и др., 1998 и ссылки там). Звездное население комплекса представлено двумя десятками молодых звездных ассоциаций и скоплений (Ходж, 1978; Георгиев и др., 1999 и ссылки в этих работах). Этот комплекс множественных оболочек и богатая звездная группировка представляют собой единственный очаг современного звездообразования в галактике. Вероятно, эту область бурного звездообразования в IC 1613 можно рассматривать как очень молодую и небольшую сверхассоциацию (Лозинская, 2002а). Современные наблюдения комплекса в радиолинии 21 см показали, что с множественными ионизованными оболочками связаны протяженные оболочки нейтрального газа ("сверхоболочки" в общепринятой терминологии), см. Лозинская и др., 2001; Лозинская и др., 2002)

Одной из задач 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 (Сэндидж, 1971), представляющая собой единственный известный в этой галактике остаток вспышки сверхновой (Rosado et al., 2001). В работе Лозинской и др. (1998) 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 (1) приводятся результаты наблюдений остатка в оптическом диапазоне с помощью муль-

тизрачкового 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 (1) 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 (Zucker, 2000; Wilcots, Miller, 1998; Gil de Paz A., Madore B.F., Pevunova O., 2003, ApJS, 147,29; Leroy A., Bolatto A., Walter F., Blitz L., ApJ, 643, 825, 2006), диффузная компонента ионизованного газа (Hunter,2001; Chyzy et al.,2003). Звездное население галактики свидетельствует о недавней вспышке звездообразования ( $t=4\text{--}10$  млн. лет) и о более старой ( $t>350$  млн.лет) (Hunter, 2001; Zucker, 2002; Massey P., Olsen K., Hodge P., Jacoby G., McNeill R., Smith R., Strong Sh., 2007, ASTRO-PH-0702236).

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 (см. Масси и др. (Massey P., Armandroff T.E., Conti P.S. Astron.J.) **103**, 1159, (1992). Massey, Holmes, 2002; Краутер и др.(Crowther P.A, Drissen L., Abbott J.B., Royer P., Smartt S.J., 2003, AAp, 404, 483); Масси и др. (Massey P., Olsen K., Hodge P., Jacoby G., McNeill R., Smith R., Strong Sh.), 2007, ASTRO-PH-0702236 и ссылки в этих работах). 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. (Yang H., Skillman E.D., AJ, 106, 1448, 1993) и до сих пор не получила исчерпывающего объяснения. В работе Лозинская, Моисеев (2007) 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 Irr галактики IC1613. В *первой главе* представлены результаты подробного изучения кинематики газа в галактике IC1613.

Для исследования кинематики ионизованных оболочек проведены наблюдения в линии  $\text{H}\alpha$  со сканирующим интерферометром Фабри-Перо б-м телескопа САО РАН. Монохроматическое изображение многооболочечного комплекса в линии  $\text{H}\alpha$ , 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). 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  $V_{\text{Hel}} = -230 \pm 5$  км/с, что хорошо согласуется с оценкой Лэйка и Скилмана (1989) 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 со-

ответствующих распределений для гигантских оболочек в БМО и ММО.

Отмечены признаки физического взаимодействия оболочек НI и НII в области цепочки звезд – гигантов и сверхгигантов ранних классов, обнаруженных Лозинской и др. (2002). 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 НI, НII и ОВ ассоциаций в комплексе позволяют предположить последовательное или инициированное звездообразование в расширяющихся нейтральных оболочках.

Кроме трех наиболее ярких и отчетливо выраженных оболочек НI, 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 НI. 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 ионизированной 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 НI, 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) для объяснения пекулярности этого остатка, сочетающего признаки молодого и старого объектов.

Две следующие главы посвящены исследованию Irr 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  $\text{H}\alpha$  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 структуры 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 H<sub>II</sub>-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 большинства звезд Вольфа-Райе приводится возможное объяснение наблюдаемых структур действием звездного ветра на окружающий межзвездный газ.

Исследование кинематики нейтрального и ионизованного газа подтверждает тот факт, что большинство звезд Вольфа-Райе не показывают четкой кольцевой туманности.

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 (Yang H., Skillman E.D., AJ, 106, 1448, 1993). 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 сверхболочки вспышкой Гиперновой (Лозинская и Моисеев, 2007), 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 сверхболочки  $E_{kin} \simeq (1 - 3) \cdot 10^{52}$  эрг. Найденная энергия соответствует вспышке десятка сверхновых плюс звездный ветер их родительской ассоциации, как предположили Лэйк, Скилман (1993), или вспышке Гиперновой, как предложено Лозинской и Моисеевым (2007). Измеренная скорость расширения соответствует возрасту сверхболочки  $t \simeq (3 - 7) \cdot 10^5$  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, № 2, с. 95-110 ASTRO-PH/0301214
2. T.A.Lozinskaya, 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., Lozinskaya 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
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 сверхболочка в галактике IC 10: структура, кинематика и спектр свечения ионизованного газа."Письма в Астрон.ж., 2008, т.34, №4
6. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Подорванюк Н.Ю. "Синхротронная Сверхболочка в галактике IC 10: множественные вспышки сверхновых или вспышка Гиперновой?"Труды семинара "Субпарсековые структуры в МЗС Москва, 2007.
7. Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Подорванюк Н.Ю. "Структура и кинематика остатка сверхновой S8 в галактике IC1613". Письма в Астрон.ж. (готовится к печати)
8. Подорванюк Н.Ю., Лозинская Т.А., Моисеев А.В. "Кинематика газа в окрестностях звезд Вольфа-Райе в галактике IC10". "Исследовано в России"(в печати)

## Список литературы

- [1] *Борисова и др.* (Borissova J., Kurtev R., Georgiev L. and Rosado M.) // A&A, 2004, 413, 889.
- [2] *Валдес-Гутierrez и др.* (Valdez-Gutierrez M., Rosado M., Georgiev L, et al.)// A&A, 2001, 366, 35.
- [3] *Вилкотс, Миллер, 1998* (Wilcots E.M., Miller B.W.) // Astron.J. 116, 2363, (1998).
- [4] *Георгиев и др.* (Georgiev L., Borissova J., Rosado M. et al.)// Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 134, 21 (1999).
- [5] *Гил де Паз и др., 2003* (Gil de Paz A., Madore B.F.,Pevunova O.) // Astrophys.J.Suppl.Ser., 147, 29, (2003).
- [6] *Долфин и др., 2001* (Dolphin A., Saha A., Skillman E.D. et al.), // ApJ. 550. 554 (2001).
- [7] *Зуккер, 2000* (Zucker D.B.) // BAAS, 32, 1456, (2000).
- [8] *Краутер и др., 2003* (Crowther P.A, Drissen L., Abbott J.B., Royer P., Smartt S.J.) // Astron.Astrophys., 404, 483, (2003).
- [9] *Леже и др.* (Lequeux J., Meysonnier N., Azopardi M.)// 1987, 67, 169.
- [10] *Лерой и др., 2006* (Leroy A., Bolatto A., Walter F.,Blitz L.) Astrophys.J., 643, 825, (2006).
- [11] *Лозинская, Моисеев (2007)* (Лозинская Т.А., Моисеев А.В.) // MNRAS (2007)
- [12] *Лозинская Т.А.* // Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с ветром галактики. Издательство "Наука Москва. 1986.
- [13] *Лозинская, 2002а* // ПАЖ, 2003, т.29, №2, с.1-16.
- [14] *Лозинская и др., 2001* (Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Афанасьев В.Л., Вилкотс Е., Госс В.М.) // Астрон. журн., 78, 485 (2001).
- [15] *Лозинская и др., 2002* (Lozinskaya T.A.) // Astron. Astroph. Transactions, v.21, No 4-6, p.223-229 (2002).
- [16] *Лозинская и др.* (T.A.Lozinskaya, O.K.Silchenko, D.J.Helfand and M.W.Goss) // AJ, 1998, 116, 2328.
- [17] *Лэйк, Скилман* (Lake G., Skillman E.D.) // AJ, 1989, 98, 1274.
- [18] *Маккрэй и Кафатос* (McCray R., Kafatos M.) // ApJ, 1987, 317, 190.

- [19] *Macca u dr.*, 1992 (Massey P., Armandroff T.E., Conti P.S.) // Astron.J., 103, 1159, (1992).
- [20] *Macca u dr.*, 2007 (Massey P., Olsen K., Hodge P., Jacoby G., McNeill R., Smith R., Strong Sh.) // ASTRO-PH-0702236 (2007)
- [21] *Миберн* (Meaburn, J.)// MNRAS, 1980, 192, 365.
- [22] *Миберн u dr.* (Meaburn, J., Clayton, C.A., and Whitehead, M.G.)// MNRAS, 1988, 235, 479.
- [23] *Мусеев А.В.* // Препринт CAO PAH №166, 1 (2002).
- [24] *Прайс u dr.* (Price J.S., Mason S.F., Guillixson C.A.)// AJ, 1990, 100, 420.
- [25] *Подорванюк Н.Ю.* // Курсовая работа, 2003.
- [26] *Робертис, Дюфор и Хант* (Robertis M.M., Dufour R.J. & Hunt R.W. )// JRASC, 1987, 81, 195.
- [27] *Роєр u dr.* (Royer P., Smartt S.J., Manfroid J., Vreux J.) // Astron.Astrophys., 366, L1, (2001).
- [28] *Росадо u dr.* (Rosado M., Valdez-Gutierrez M., Georgiev L. et al.)// AJ, 2001, 122, 194.
- [29] *Сэндидж* (Sandage A.)// AJ, 1971, 166, 13.
- [30] *Тироу и Вилкотс, 2005* (Thurow J.C., Wilcots E.M.) // Astron.J., 129, 745, (2005).
- [31] *Фридман* (Freedman, W.L.)// ApJ, 1988, 326, 691.
- [32] *Хантер u dr.* (Hunter D.A., Hawley W.N. & Gallagher J.S.)// AJ, 1993, 106, 1797.
- [33] *Хантер, 2001* (Hunter D.A.) // Astrophys.J., 559, 225, (2001)
- [34] *Ходжс u dr.* (Hodge P.)// Astrophys J. Suppl. Ser. 37, 145 (1978).
- [35] *Ходжс u dr.* (Hodge P., Lee M.G., Gurwell M.)// Publ. Astron. Soc. Pacific, 1990, 102, 1245.
- [36] *Чизи u dr.*, 2003 (Chyzy K.T., Knapik J., Bomans D.J., Klein U., Beck R., Soida M., Urbanik M.) // Astron.Astrophys., 405, 513, (2003)
- [37] *Шкловский* // Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы. Издательство "Наука Москва. 1976.
- [38] *Янг и Скиллман, 1993* (Yang H., Skillman E.D.) // Astron.J., 106, 1448, (1993)