

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

*Ярововой Анастасии Дмитриевны*

**на тему «Исследование взаимодействия массивных звезд и межзвездной среды в близких низкометаллических галактиках»**

**по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертационная работа «Исследование взаимодействия массивных звезд и межзвездной среды в близких низкометаллических галактиках» Анастасии Дмитриевны Яровой посвящена исследованию звезд и их межзвездного окружения в галактиках с низким содержанием тяжелых элементов. Такое исследование позволяет приблизиться к пониманию природы галактик, формирующихся на ранних стадиях эволюции Вселенной и также отличающихся низкой металличностью, что свидетельствует об актуальности темы диссертации.

Для поиска наблюдательных свидетельств такой эволюции докторант обращается к исследованию близких галактик, что существенно увеличивает объем выборки таких звезд. Эволюция низкометаллических массивных звезд существенно отличается от эволюции звезд нормального химического состава и до настоящего дня недостаточно изучена, что делает анализ эволюции таких объектов А.Д. Яровой весьма актуальным.

В качестве объектов исследования автор диссертации рассматривает три карликовые галактики: NGC 4068, IC 1613 и NGC 2366 с пониженным содержанием тяжелых элементов ( $Z \sim 0.1 Z_{\odot}$ ). Для исследования звездной и газово-пылевой составляющих этих объектов автором использовались фотометрические и спектроскопические данные, полученные на 6-метровом телескопе БТА и 2.5-м телескопе SAI25 Кавказской Горной Обсерватории, а также архивные данные наземных и космических телескопов MUSE/VLT, WFC/HST, VLA, XMM-Newton и Swift/XRT.

Анализ полученных данных выполнялся с использованием современных эволюционных моделей массивных звезд с низкой

металличностью, пакета моделирования спектров звезд ранних спектральных классов *cmfgen* и программ определения параметров областей НП, ионизуемых излучением массивных звезд. Автор диссертации участвовала как в наблюдениях изучаемых объектов и их анализе, так и в моделировании спектров изучаемых объектов, что является современным подходом. Обращает на себя внимание огромной объем работы по получению и анализу наблюдательных данных, выполненной автором.

Результаты автора представлены в трех статьях и систематизированы в шести положениях, выносимых на защиту. Обоснованность положений, выносимых на защиту, определяется использованием общепринятых методик анализа данных и их тщательным анализом. О достоверности положений автора также свидетельствует публикация их в высокорейтинговом журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* и их представление на российских и международных конференциях.

Большая часть полученных и используемых автором наблюдательных данных оригинальны и анализированы впервые, что подтверждает новизну результатов, полученных автором. Новыми являются определения эволюционного статуса звездных источников и газовых туманностей в изучаемых галактиках и определение их параметров.

Выполненное в диссертации уточнение моделей эволюции массивных звезд и определение их параметров является необходимым для понимания эволюции газовой среды исследуемых галактик. Проводимые соискателем исследования связаны с изучением эволюции галактик в ранней Вселенной, что определяет научную и практическую значимость диссертационной работы.

Переходя к оценке работы, следует отметить хороший стиль изложения и относительно малое количество орфографических и стилистических ошибок. Однако в тексте иногда встречаются пропущенные слова. Например, на стр. 6 в выражении «...вторичному звездообразованию их стенках» пропущен предлог «на».

В тексте избыточно много аббревиатур, что затрудняет понимание. Смысл сокращения МП для Млечного пути (используется только 3 раза) непонятен. В то же время некоторый величины, такие как «ионизационный параметр» на стр. 10, не объясняются.

Встречаются не вполне стилистически точные выражения. Такие предложения как «В совокупности все эти факторы приводят к изменению в работе обратной связи между звездами и МЗС» на стр. 7 (первый абзац) совершенно непонятны. Также заглавие пункта 1.2.4. «Оценка энергетического баланса между О-звездами и МЗС» сформулировано неточно. В подписи к Рис. 2.3. на стр. 38 автор пишет, что «Панель (d) демонстрирует». Сама панель ничего не может демонстрировать. Лучше писать, например, что на панели (d) показан профиль линии ... и т.д.

На стр. 46 автор пишет «По эволюционным трекам был получен химический состав». Не вполне понятно, как это делается. На стр. 56 написано, что «звезды типа WR обычно не проявляют переменности», что неточно. Многолетние исследования группы A. Moffat (например, Moffat A.F.J. and Shara, M.M., AJ, 92, 952-975, 1986) показывают, что эти звезды переменны, как спектрально, так и фотометрически.

Есть в тексте диссертации неточные ссылки. Например, на стр. 58, есть ссылка (см. 1) вместо (см. Табл. 1). В подписи к Рис. 3.2 используется термин «колонковая плотность» вместо более точного термина «лучевая концентрация».

Есть некоторая проблема с цветами на рисунках. Так, например, в подписи к Рис. 3.3. говорится о «Желтых точках», хотя на рисунке нет желтых точек. Есть желто-зеленые точки, поэтому не вполне понятно к каким именно точкам относится текст. На стр. 67 приведены числа ионизующих квантов Лайман-континуума  $Q_{H\alpha}$  с неверным показателем степени (-48 вместо 48).

В подписи к Рис. 3.11 «Звезды из архивных данных MUSE/VLT, демонстрирующие профиль типа Р Суг в линии Н $\alpha$ ». В подписи пропущено

слово «Спектры». Во-первых, сами звезды ничего не могут демонстрировать, во-вторых, профили линии Н $\alpha$ , показанные на Рис. 3.11, не соответствуют типичным профилям типа Р Сyg. На профилях линии есть слабая абсорбционная деталь, природа которой не вполне понятна, и хотелось бы узнать мнение автора об этой детали.

Отметим также, что слово Вселенная рекомендуется писать с заглавной буквы. Некоторые обозначения не расшифровываются как, например, TFOSC в Табл. 1 на стр. 25. Список литературы не вполне унифицирован. Так в ссылках 70 и 71 в разном порядке записаны список авторов и название статьи.

Некоторая терминология выглядит странной. Так на стр. 12 упоминаются «Те метод» и «метод сильных линий». Так как в обоих случаях для оценки параметров разреженной плазмы НП областей используется стандартная методика, использующая относительные интенсивности линий и известная с 30-х годов прошлого века, то употребление новых терминов для этой методики не кажется оправданным. В ряде мест опускается важная информация. Так на стр. 23 говорится о «Линии [ОШ]», однако неясно, какая из большого числа запрещенных линий ОШ имеется в виду.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, на основании анализа диссертационной работы можно сделать вывод, что соискатель Яровова Анастасия Дмитриевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры астрономии  
математико-механического факультета  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Холтыгин Александр Федорович

18.11.2025

Контактные данные:

тел.: +7(812)362-62-33, e-mail: [ai@astro.spbu.ru](mailto:ai@astro.spbu.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
зашита диссертация:

01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия

Адрес места работы:

198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., д. 28.  
Санкт-Петербургский Университет, кафедра астрономии  
Тел.: +7(812)362-62-33; e-mail: [ai@astro.spbu.ru](mailto:ai@astro.spbu.ru)

Подпись сотрудника СПБГУ Холтыгина Александра Федоровича удостоверяю: