

ОТЗЫВ
официального оппонента
о диссертации 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 Ярововой Анастасии Дмитриевны посвящена исследованию взаимодействия массивных звезд и окружающей их межзвездной среды в близких галактиках с пониженным содержанием тяжелых элементов (с низкой металличностью). Исследования взаимодействия массивных звезд с межзвездной средой являются на сегодня актуальным и интенсивно развивающимся направлением исследования близких галактик. Однако большинство таких исследований затрагивает процессы в галактиках с солнечным или близким к солнечному химическим составом. Указанные процессы взаимодействия в галактиках бедных металлами имеют ряд интересных отличий от аналогичных процессов в галактиках с солнечным химсоставом, но их исследования намного более редки, в первую очередь из-за существенно меньшей численности последних.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Первая глава носит информационный характер, три оставшиеся главы – содержательные, в каждой из них исследуется отдельная низкометаллическая галактика - NGC4068, IC1613 и NGC2366, соответственно. В заключении собраны выводы исследований галактик, проделанные в последних трех главах диссертации. Список литературы содержит 202 наименования. Результаты диссертации опубликованы в трех статьях в рецензируемых астрономических журналах, соавтором которых является Яровова Анастасия Дмитриевна.

Сразу следует заметить, что для получения результатов, приведенных в диссертации, диссидентанткой была проделана большая и сложная работа. Для каждой из исследуемых галактик были получены наблюдательные данные.

Части из них – новые оригинальные данные, полученные с участием докторантки на БТА, на 2.5-м телескопе КГО и на 1.5-м телескопе РТТ. Эти данные носят спектральный (спектрометрический) характер. Помимо оригинальных были подобраны дополнительные данные наблюдений из архивов различных обсерваторий и инструментов. Эти данные были обработаны также при непосредственном участии докторантки.

Методика обработки данных очень ясно и подробно описана, проиллюстрирована многочисленными графиками и картами, в которых экономно и удачно используется цвет. Исследования доведены до численных результатов или до качественных или классификационных выводов.

В ходе выполнения указанных исследований докторантка показала свободное владение целым рядом классических и современных методов, используемых при исследовании звезд и межзвездной среды в галактиках: методами определения параметров массивных звезд по спектрам (которые в диссертации названы методами «эффективной температуры» Т_e и «методом сильных линий»), I-σ и BPT диаграммами, стандартными методами обработки спектральных карт ИФП и спектральных 3D-кубов, рядом открытых пакетов программ и др. При этом А.Д. Яровова проявила себя как сложившийся специалист, который может как решать поставленную перед ней задачу, так и сама определять ход проводимого исследования.

При этом к содержанию и структуре глав диссертации есть замечания общего характера.

В **Главе 2** исследуется пекулярная туманность, обнаруженная в галактике NGC4068. (На самом деле в этой галактике были обнаружены три туманности, но две из них оказались «обыкновенными» и особого интереса у исследователей не вызвали.) В ходе исследования была построена целая сетка моделей этой туманности, модельные спектры сравнивались с наблюдаемым, в результате чего выбиралась модель, лучше всего описывающая реальный спектр (по критерию χ^2).

При обработке наблюдательных данных и для моделирования регулярно требовались значения тех или иных параметров, которые неизвестны, и которые невозможно получить из имеющегося набора наблюдательных данных. В этом случае данные брались из той или иной публикации, в которых проводился соответствующий расчет или численное моделирование. Разные параметры брались из работ разных авторов, полученных при различных предположениях и параметрах звезд и межзвездной среды. Эти значения могут оказаться несовместимыми или плохо совместимыми, что может привести к значительным систематическим ошибкам в результатах моделирования в этой главе.

Понятно, что устранить эту проблему очень тяжело, но ее следовало бы обсудить.

В **Главе 3** исследуется галактика IC1613 – слабые источники излучения, ассоциированные с крупномасштабной НI сверхболочкой. Этому посвящен первый раздел Главы 3. Далее, во втором разделе, идет исследование отдельных массивных звезд кандидатов в WR. Это исследование очень опосредованно связано с основной темой исследований в диссертации. Вероятно этот раздел перешел в Главу 3 из статьи a2 (как она обозначена во введении). Возможно, в диссертации этот раздел следовало опустить.

В **Главе 4** проводится анализ областей НII в галактике NGC2366. К этой главе диссертации замечаний нет.

Ко **Введению** и **Главе 1** есть замечания по структуре и распределению материалов. Обычно Введение диссертации содержит необходимые формальные положения, такие как цель и задачи диссертации, актуальность проблемы, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора и т.п. А Глава 1 чаще всего содержит описание современного состояния исследуемой проблемы или литературный обзор.

Структура настоящей диссертации несколько иная. Введение содержит как формальные положения, так и обзор состояния проблемы исследования,

которое вошло в пункт об актуальности. Во введении есть также небольшой раздел, озаглавленный «Методология и методы исследования», содержащий краткое описание основных методов исследований, используемых в диссертации.

Глава 1 носит скорее справочный характер. В первом ее разделе описаны наблюдательные данные, использованные в диссертации. А во втором – используемые методы (этот раздел назван «Методы анализа ионизованного газа в галактиках»). Описание методов здесь существенно более подробное, чем во введении, но частично повторяет данные приведенные там.

Наблюдательные данные и методы исследований, используемые в каждой из Глав 2, 3 и 4, еще раз уточняется и детализируется в каждой из этих глав. Такое двух-трех-уровневое размещение материала в диссертации порождает многочисленные взаимные ссылки между главами и затрудняет чтение текста. Традиционная структура вводной части диссертации, вероятно, была бы более уместна.

Помимо приведенных выше замечаний общего характера есть ряд более мелких замечаний технического, терминологического или стилистического характера:

1. Стр. 5, 6 и далее: По-моему, в русскоязычной астрономической литературе обозначение кК (килоКельвин) как единица измерений практически не используется. Три ноля занимают ненамного больше места.
2. Стр. 6, абз. 2: Пропущен предлог. Должно быть «... вторичному звездообразованию **в** их стенках» или «... вторичному звездообразованию **на** их стенках».

3. Стр 7, посл. строка: Речь идет о самых ранних звездах, следовательно, это не «поколение III», а «население III».
4. Стр. 11, абз. 3: Опечатка. «... кинематике ...».
5. Стр. 21, абз. 1: Какой биннинг пикселей применялся – 2×1 , 2×2 , 3×3 , другой?
6. Стр. 21: Аббревиатуры в диссертации в основном даны на русском, но есть и английские (LSF). Лучше все их делать на одном языке.
7. Стр. 22, абз. 3: в.т.ч. – это «в том числе»?
8. Стр. 23, абз. 3: «Различные экспозиции были объединены с использованием сигма-клиппинга для удаления следов космических лучей и артефактов» - объединение производилось не методом сигма-клиппинга.
9. Раздел 1.1.3 Фотометрические данные; стр. 25, табл.1: не для всех линий указаны длины волн.
10. Стр. 28, последний абз.: Странно звучит фраза: «физические законы» «вложенные» в пакет программ.
11. Стр. 29: Кое-где перепутаны обозначениях зон ионизованного кислорода (OIII) и ионов кислорода (O^{2+}).
12. Стр. 29, абз. 4: Сказанное про метод Монте-Карло относится только в S-калибровке или к методу Te тоже?

13. Раздел 1.2.3, стр. 28-28: зачем упоминается метод «сильных линий», если он не использовался в диссертации?

14. Стр. 33, рис. 2.2: I- σ диаграмма не на левой, а на правой панели.

15. Стр. 34, ф-ла (2.1) и последующий абзац: Коэффициенты взяты из работы [104]? Возможно стоило привести формулы их зависимости от σ_{ISM} .

16. Стр. 35, ф-да (2.2): Не указана единица изменений.

17. Стр. 35, АБЗ. 4: Откуда взяты данные для N/O для наблюдаемой галактики?

18. Стр. 38, абз. 1, стр. 4: Опечатка. Пропущен знак меньше (<) для m_{F606W} и в неравенстве должна стоять абсолютная звездная величина.

19. Стр. 39, абз. 2, стр. 7: Пропущены кК при значении температуры.

20. Стр. 39, абз. 2, стр. 10-11: «... туманности, ионизованной моделью абсолютно черного тела ...».

21. Стр. 42, абз. 1: «звездный континуум меньше подвержен влиянию пыли, чем газ».

22. Стр. 69, абз. 1: Нет расшифровки аббревиатуры БИК.

Все указанные замечания не влияют на вывод о высоком уровне представленной диссертационной работы. 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. Автореферат соответствует диссертации.

Таким образом, 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, доцент, заведующий лабораторией космических проектов Государственного астрономического института имени П. К. Штернberга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», профессор кафедры астрофизики и звездной астрономии Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Прохоров Михаил Евгеньевич

04 декабря 2025 года

Контактные данные:

тел.: +7-495-939-20-46, e-mail: mike@sai.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

Адрес места работы:

119234, Москва, Университетский проспект, д. 13,
ГАИШ МГУ, лаборатория космических проектов
тел.: +7-495-939-20-46; e-mail: director@sai.msu.ru

Подпись М. Е. Прохорова удостоверяю:
Начальник отдела канцелярии Л. Н. Новикова