

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Ермаша Андрея Александровича
“Сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями — активные ядра в
спиральных галактиках с псевдобалжами”

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Гигантский рост объема наблюдательных астрономических данных во всех диапазонах электромагнитного спектра: от радио до гамма, продолжающийся уже более 15 лет, позволил ставить и решать астрофизические задачи нового уровня. Накопленные данные дают возможность не только исследовать сравнительно редкие классы объектов, например, такие как сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями, но также и применять их как зонды при исследовании глобальных свойств Вселенной.

Среди наиболее интересных астрофизических источников излучения уже больше 50-ти лет изучаются активные ядра галактик (АЯГ). Несмотря на общее понимание процессов, происходящих внутри галактик, до сих пор отсутствует общепринятая и непротиворечивая модель, объясняющая все разнообразие наблюдаемых свойств АЯГ. Несмотря на трудности физической модели АЯГ, их роль в эволюции галактик, взаимосвязь с крупномасштабной структурой и в исследовании формирования сверхмассивных черных дыр можно считать общепризнанной. Все эти факты заставляют признать изучение этого класса объектов чрезвычайно важным направлением современной внегалактической астрономии. Исследование особого семейства АЯГ — сейфертовских галактик I типа с узкими линиями (NLS) — позволяет прояснить ряд вопросов формирования как самих объектов этого типа, так и всего класса в целом. Поэтому предлагаемая диссертация Андрея Александровича Ермаша, посвященная исследованию как физических свойств NLS, так и возможности применения их для анализа свойств Вселенной с помощью функции светимости, несомненно актуальна.

Основными целями диссертационной работы А.А.Ермаша стали исследования функции светимости объектов типа NLS, связи активности их ядра с окружением галактик и ряда других физических свойств.

Диссертация содержит четыре главы, а также Введение, Заключение со списком литературы и Приложение.

Во **Введении** приведены основные цели диссертационной работы, показаны ее научная новизна и практическая ценность. Обосновывается актуальность этих исследований, и представлены результаты работы, выносимые на защиту. Также во Введении кратко описано содержание глав диссертации.

Первая глава посвящена обзору современного состояния исследований сейфертовских галактик первого типа с узкими линиями. Она содержит подробный обзор современной литературы по этому направлению и включает обсуждение результатов наблюдений в оптическом, инфракрасном, ультрафиолетовом, радио и рентгеновском диапазонах спектра. Обсуждаются физические свойства объектов NLS: такие как структуры областей формирования широких и узких линий, аккреционный диск и джеты, вращение сверхмассивной черной дыры, мазеры и другие. Кроме того, в этой главе рассмотрены масштабные соотношения $M_{\text{BH}} - \sigma_*$ и $M_{\text{BH}} - M_{\text{buldge}}$. Отдельный раздел посвящен обсуждению свойств NLS, проявляющихся у Млечного Пути.

Во **Второй главе** диссертации исследуется функция светимости активных галактик типа NLS по данным обзора SDSS DR7. Селекция объектов проводилась на основе анализа линии $\text{H}\alpha$. Исходная выборка содержала 9020 объектов Sy1 с $\text{FWHM}(\text{H}\alpha) \geq 1200 \text{ км/с}$. Число объектов в подвыборке NLS — 2082 с максимальным красным смещением $z = 0.18$. Для оценки светимости галактик использовалась запрещенная линия кислорода

[ОIII] $\lambda 5007\text{\AA}$, наблюдаемый поток излучения в которой не зависит от ориентации объекта. Для построения функции светимости применялся модифицированный метод V/V_{max} , учитывающий крупномасштабную структуру. С помощью предложенного и протестированного метода были получены функции светимости для АЯГ типа NLS, BLS и всех Sy1. Показано, что при больших светимостях функция светимости для объектов Sy1 переходит в таковую для квазаров. Прогнозируемая функция светимости, пересчитанная из данных в линии [ОIII] в мягкий рентгеновский диапазон, близка к реально наблюдаемой по данным рентгеновских космических аппаратов, и лучше соответствует им, чем пересчитанные функции из других работ.

Третья глава посвящена исследованию пространственной концентрации галактик типа NLS и BLS в зависимости от отношения концентрации галактик в элементе объема к средней плотности Вселенной. Подход также использует метод, разработанный в Главе 2. Показано, что NLS и BLS составляют фиксированную долю всех галактик, не зависящую в широких пределах от плотности Вселенной. Делается вывод, что активность NLS обусловлена в первую очередь внутренними процессами. Кроме того, в целях проверки правильности метода получена зависимость доли красных галактик от относительной концентрации в элементе объема и подтверждены результаты работы других авторов.

В **Четвертой главе** обосновывается введение отдельного класса АЯГ с его типичными представителями — объектами NLS. Рассматриваются эволюционные особенности, связанные с проблемами роста центральной черной дыры и , эволюции родительских галактики, взаимодействия между галактиками в целом и центральными областями: балджами и псевдобалджами. Обсуждаются проблемы гипотезы иерархического сгущения и роста массы галактик с красным смещением — даунсайзинг. Делаются вывод о близости по свойствам объектов типов NLS и BL Lac и соответственно прогноз о существовании слабого радиоисточника в области ядра, что представляет интерес для наблюдений на РСДБ.

В **Заключении** приведены выводы всех четырех глав, список цитируемой литературы, соержащий 213 ссылок, и список работ автора, включающий 4 ссылки на статьи из списка ВАК. В **Приложении** дается список использованных сокращений и аббревиатур.

Одним из основных достижений диссертации, на мой взгляд, является развитие и применение методики вычисления функции светимости галактик типа NLS по наблюдательным данным в линии [ОIII]. Эта методика может применяться и для других наблюдательных диапазонов, что также было показано в диссертации для мягкого рентгеновского излучения, и для других типов объектов. Кроме того, с использованием разработанного метода расчета функции светимости был создан метод исследования пространственной концентрации объектов на масштабах ячеек крупномасштабной структуры, была изучена пространственная концентрация галактик типа NLS и BLS, и сделан вывод, что активность NLS обусловлена в первую очередь внутренними процессами. На мой взгляд, эти результаты являются основными в представленной диссертации.

Научная новизна работы определяется тем, что 1) разработан новый метод вычисления функции светимости, учитывающий распределение вещества в крупномасштабной структуре Вселенной; 2) впервые построена функция светимости галактик типа NLS с хорошей предсказательной способностью; 3) впервые исследована связь между пространственной концентрацией галактик типа NLS и BLS и плотностью окружения на масштабах ячейки крупномасштабной структуры. Показано, что зависимости пространственной плотности этих АЯГ от плотности окружения линейны, а их отношение

константа, что связано с ответственностью внутренних процессов за активность NLS.

Практическая значимость состоит в том, что 1) предложен метод расчета функции светимости, который может быть использован и при анализе наблюдательных данных, и при моделировании процессов эволюции галактик и их окружения; 2) разработан метод для изучения пространственной плотности и ее эволюции для группы объектов; 3) собранные разнообразные данные о свойствах NLS и выделение NLS в отдельный тип АЯГ с отличными от других галактик физическими параметрами важны не только для создания сценариев формирования галактик, но представляют интерес и в образовательных целях.

Диссертация нашла полное отражение в четырех публикациях в журналах “Астрофизика” и “Астрономический Журнал”, удовлетворяющих списку и требованиям ВАК. Две работы подготовлены без соавторов.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Выводы и результаты **обоснованны и достоверны**, что подтверждается предсказанием функции светимости NLS для мягкого рентгеновского диапазона и согласием вычислений о доли красных галактик в зависимости от плотности окружения с результатами других авторов.

Диссертация написана хорошим языком со сравнительно малым числом опечаток.

Имеется ряд мелких *замечаний*.

Для улучшения представления основных результатов диссертации результаты 2 и 3 можно было бы объединить в один пункт. Результат 6, не относящийся прямо к теме диссертации, можно внести подпунктом в результат 5, как способ проверки метода.

В тексте встречаются неудачные стилевые обороты: например, на стр.16: “Объекты NLS рассмотрены как совокупность множества структур, процессов и факторов...”. На стр.17: “Узкие линии образуются в области образования узких линий...” На стр.18 название линий употребляется в среднем роде: “сильное FeII, слабое [OIII]”.

Среди опечаток можно отметить следующие: на стр. 10, строка 3, вводные слова записаны как отдельное предложение: “Тем не менее.”; на стр. 11, вывод 3, в слове “свидетельствует” (“свидеельствует”); на стр. 51, строка 5 снизу, в слове “сторону” (“строну”); на стр. 69, строка 1 сверху, в слове “суммарная” (“суммарна”); на стр. 97, строка 7 снизу, размер телесного угла: “0.0.37”; на стр. 98, строка 7 снизу, в слове “функции” (“финкции”) и ряд других.

На стр. 100 в локальном выводе и на стр.109 в заключении Главы 3 говорится, что объекты типа NLS и BLS составляют “некоторую фиксированную долю” всех галактик. Для увеличения значимости вывода имеет смысл приводить и численные пределы для определения этой доли.

Четвертая глава, в которой обосновывается введение III типа АЯГ, представляет собой, скорее, обобщение данных, описанных в Главе 1. Несомненно, выводы Главы представляют большой интерес, хотя новый тип АЯГ вводился и раньше, например, в работе (Urry & Padovani 1995), как “необычные объекты” (тип 0), куда также отнесены блазары; или, как автор указывает уже в Главе 1, в работе (Foschini 2011). Тем не менее, приведенные обоснования введения нового типа объектов выглядят убедительно.

Есть небольшое замечание к критическому отзыву о трудностях гипотезы иерархического сгущивания (Раздел 4.1.). Трудности модели, выросшей из работ 1970-х годов, например (Toomre & Toomre 1972), по-видимому, были связаны с точностью вычислений, задаваемом числом пикселей, и, соответственно шагом вычислений. В современных симуляциях, например Millenium, проблемы иерархической модели снимаются (De Lucia et al., 2006). А в работах 2014 г.(см. численные эксперименты EAGLE и Illustris) было

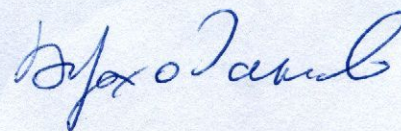
показано, что свойства и хаббловские типы галактик удается очень точно воспроизвести с помощью применения усовершенствованных вычислительных методов.

Перечисленные замечания носят, скорее, редакционный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Закключение. Считаю, что представленная диссертационная работа является исследованием, имеющим большое научное и практическое значение в задачах изучения активных ядер галактик и эволюции Вселенной, а также при интерпретации данных, полученных в современных наблюдательных астрономических экспериментах. Диссертант показал свою высокую квалификацию в проведенных им исследованиях активных ядер галактик и анализе наблюдательных данных внегалактической астрофизики. Диссертация удовлетворяет всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Ермаш Андрей Александрович *несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 "Астрофизика и звездная астрономия"*.

Официальный оппонент

докт.физ.-мат.н., вед.н.с. Верховданов Олег Васильевич
Специальная астрофизическая обсерватория (САО) РАН
пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская респ., 369167
т. 8-87878-46329, адрес эл.почты: vo@sao.ru



Подпись Верховданова О.В. удостоверяю
ученый секретарь САО РАН К.Ф.-М.н.



/ Е. И. Кайсина /

19.12.2014 г.