

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ П.Н. ЛЕБЕДЕВА  
АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

*На правах рукописи*

*УДК 524.74, 524.77, 524.7-1/-8, 524.7-33, 524.7-52*

Ермаш Андрей Александрович

**СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ ПЕРВОГО  
ТИПА С УЗКИМИ ЛИНИЯМИ – АКТИВНЫЕ  
ЯДРА В СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИКАХ С  
ПСЕВДОБАЛДЖАМИ**

01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н.Лебедева РАН (АКЦ ФИАН).

**Научный руководитель:**

Комберг Борис Валентинович — доктор физико-математических наук,  
Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН /  
г. Москва, заведующий лабораторией АКЦ ФИАН.

**Официальные оппоненты:**

Чернин Артур Давыдович — доктор физико-математических наук, профессор,  
Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга  
МГУ им. М.В. Ломоносова / г. Москва, главный научный сотрудник.

Верходанов Олег Васильевич — доктор физико-математических наук,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки “Специальная астрофизическая  
обсерватория Российской академии наук” (САО РАН) / пос. Нижний Архыз, ведущий научный  
сотрудник.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования “Санкт-Петербургский государственный  
университет”, г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 29 января 2015 года в 14:00 на заседании диссертационного совета  
Д002.023.01 Физического института им. П.Н.Лебедева РАН по адресу: г. Москва,  
ул. Профсоюзная, д. 84/32, Институт космических исследований РАН, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИАН по адресу: 119991, г. Москва,  
Ленинский проспект, д.53 и на сайте <http://www.asc-lebedev.ru> в разделе “Диссертационный  
совет”.

Отзывы направлять по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53,  
ФИАН (АКЦ), диссертационный совет Д002.023.01, с копией в pdf-формате на адрес  
[dissovet@asc.rssi.ru](mailto:dissovet@asc.rssi.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» ноября 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н.

*Ю.А. Ковалев*

# 1. Общая характеристика работы

## Актуальность работы

Сейфертовские галактики принято разделять на два типа. К первому типу относятся объекты с широкими разрешёнными линиями, такими как, например,  $H\beta$ , которые намного шире запрещённых (например  $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$ ). У Сейфертовских галактик второго типа ширина разрешённых линий такая же, как и запрещённых. Численная граница как правило принимается равной 1000 – 1200 км/с. Очень важным является то, что у Сейфертовских галактик первого типа присутствует также и узкая компонента разрешённых линий. Промежуточные типы определены по степени выраженности широкой компоненты.

Для обозначения рассматриваемых в этой диссертации сейфертовских галактик первого типа с узкими линиями используется сокращение NLS, общепринятая в англоязычной литературе аббревиатура **Narrow Line Seyfert 1 Galaxies**. Ключевым отличием является то, что у таких активных ядер ширина **широкой** компоненты разрешённых линий является **относительно** узкой. Как правило, в качестве NLS классифицируются активные ядра, у которых  $FWHM(H\beta) \leq 2000 \text{ км/с}$ . NLS демонстрируют ряд интересных свойств. У них отличаются свойства родительских галактик, как в целом, так и в центральных областях. Их балдж, судя по имеющимся на настоящий момент результатам, всегда является псевдобалджем. Свойства центральной машины NLS также имеют ряд существенных отличий от классических Sy1. Чёрные дыры в таких ядрах обладают меньшими массами и, чему появляется всё больше свидетельств, высокими моментами вращения.

Однако, ни по одному из вышесказанных утверждений нет окончательной ясности. На конференциях, посвящённых NLS, в идущих последовательно докладах зачастую высказываются диаметрально противоположные точки зре-

ния. В литературе также нет единого мнения по многим вопросам. Наблюдается рост интереса к NLS в мировом научном сообществе, о чём можно судить по растущему количеству публикаций. Необходимость изучения этого необычного класса активных ядер и обуславливает актуальность темы данной диссертации.

### **Цель диссертационной работы**

Как в российской, так и в зарубежной литературе существуют различные взгляды на природу феномена NLS, зачастую диаметрально противоположные.

1. Поэтому первой целью было поставлено составление обзора публикаций на интересующую нас тематику и сведение огромного количества опубликованной информации в непротиворечивую картину.

2. До настоящего момента в литературе не было публикаций, посвящённых функции светимости NLS, откуда проистекает задача её построения. Функция светимости (LF) является важным инструментом для изучения определённого класса объектов, и позволяет судить об эволюции рассматриваемой популяции.

3. Вопросу связи активности ядра с окружением родительской галактики посвящено множество работ. Однако нет ясности касательно того, как феномен NLS связан с плотностью окружения. Откуда проистекает задача изучения связи пространственных концентраций NLS и BLS, а также их отношения с плотностью окружения.

4. Существующей классификации активных ядер (AGN I/II), на наш взгляд, недостаточно. Необходимо выделить ещё один тип AGN. Задачей являлось выделение ключевых критериев, позволяющих уточнить существующую классификацию и выделить новый тип активных ядер — AGN III, типичными представителями которого являются NLS.

**Научная новизна работы** Основными новыми элементами исследования являются:

1. Разработан *новый метод* вычисления функции светимости, учитываю-

ший наличие крупномасштабной структуры Вселенной и связанную с ней переменность средней плотности галактик на единицу объёма в масштабах скоплений и сверхскоплений.

2. *Впервые* получена функция светимости NLS. Так же для проверки получена LF Sy1, которая демонстрирует согласие с некоторой частью опубликованных LF из литературы, а так же на больших светимостях демонстрирует ожидаемое поведение, переходя в LF квазаров.

3. На основе полученной LF в запрещённой линии кислорода [OIII] $\lambda$ 5007Å построена рентгеновская LF для диапазона 0.5–2кэВ. Такая предсказанная LF для Sy1 демонстрирует согласие с реально наблюдаемой лучше, чем в работах многих авторов.

4. Доля NLS среди Сейфертовских галактик не является постоянной, вместо этого она демонстрирует пик при определённой светимости. Хотя подобные результаты были высказаны в нескольких работах, *впервые* это сделано на основе функции светимости, что подразумевает учёт систематических эффектов выборки.

5. *Впервые* была изучена связь между пространственной концентрацией NLS и BLS и плотностью окружения на масштабах ячейки крупномасштабной структуры. NLS и BLS составляют некоторую долю всех галактик, в широких пределах не зависящую от плотности Вселенной. Все это свидетельствует в пользу того, что активность NLS обусловлена в первую очередь внутренними процессами, а не внешними взаимодействиями.

6. Обоснована недостаточность общепринятой классификации активных ядер на AGN/I на основе только лишь присутствия в их спектрах широких разрешённых линий. Показано, что разумно ввести дополнительные критерии классификации и *впервые* предложено выделить новый отдельный тип — AGN III. AGN III представляют собой, в отличие от AGN I/II, ядра спиральных га-

лактик с псевдобалджами и чёрными дырами относительно малой массы.

### **Научная и практическая ценность работы**

Новый метод получения функции светимости позволяет учитывать вариации плотности галактик на единицу объёма по причине наличия крупномасштабной структуры Вселенной. Код, написанный на языке Python, может быть использован для получения функций светимости различных типов объектов. Функции светимости, полученные разными авторами, различаются крайне значительно. Эти различия между публикациями на порядки больше, чем между функциями светимости разных типов AGN, например, Sy1 и Sy2. Что весьма красноречиво характеризует неудовлетворительное положение дел в данной области. Поэтому соответствие полученной LF с таковой из какой-либо работы не является критерием достоверности метода. Но существует рентгеновская функция светимости Sy1, которая в достаточной степени достоверна. И полученная нами предсказанная LF в мягком рентгеновском диапазоне 0.5–2кэВ уверенно соответствует наблюдаемой, что говорит в пользу адекватности полученных в данной работе результатов.

Алгоритмы, разработанные автором, позволяют изучить зависимость пространственной плотности исследуемой группы объектов от плотности окружения. Параметр плотности окружения представляет собой отношение концентрации неактивных галактик в рассматриваемом элементе объёма к средней плотности галактик во Вселенной. Достоверность подхода автора подтверждается тем, что удалось независимо подтвердить результат из литературы, что доля красных галактик растёт с плотностью окружения, причём эта тенденция более выражена для менее массивных галактик.

Корректная классификация исследуемых объектов является важной частью любого исследования. Введённый нами новый тип активных ядер является важным уточнением существующей парадигмы представлений об активных

ядрах. Написанный обзор представляет собой достаточно полное отображение современных представлений касательно NLS и может использоваться в целях ознакомления исследователей с данной тематикой.

### **Апробация работы**

Основные результаты были представлены на следующих конференциях и семинарах:

**01.** Научные сессии АКЦ ФИАН, 2011-2014, Пущино, ПРАО, Россия.

**02.** Актуальные проблемы Внегалактической астрономии XXVIII-XXXI, 2011-2014гг, Пущино, ПРАО, Россия.

**03.** Семинар Крымской Астрофизической Обсерватории, декабрь 2011, Крым, Украина.

**04.** Galaxies: Origin, Dynamics, Structure. To the memory of Vadim Antonov and Alexei Fridman. 14 - 18 мая 2012, Россия, Сочи пос. Лоо.

**05.** Nuclei of Seyfert Galaxies and QSOs – Central Engine and Conditions of Star Formation. Nov. 5-8, 2012. MPIfR Bonn, lecture hall 002.

**06.** 42-я международная студенческая научная конференция “Физика космоса”. 28 января – 1 февраля 2013, Уральский государственный университет, Коуровская Астрономическая Обсерватория, Россия.

**07.** Всероссийская Астрономическая Конференция ВАК-2013. 23 сентября - 27 сентября 2013, Санкт-Петербург, Россия.

**08.** Российская молодёжная конференция по физике и астрономии. “Физика. Спб”. 23 - 24 октября 2013, Санкт - Петербург, Россия.

**09.** 5-ая Всероссийской молодежной конференции “Фундаментальные и инновационные вопросы современной физики”. 10 – 15 октября 2013, ФИАН, Москва.

### **Публикации**

Основные результаты опубликованы в 9 работах (см. раздел “Работы авто-

ра по теме диссертации” в конце списка литературы), из которых 4 опубликованы в журналах, входящих в список ВАК, в двух из них соискатель является единственным автором.

### **Личный вклад автора**

Во всех работах автор принимал активное участие в обсуждении и постановке задачи. Касательно результатов диссертационной работы, представленных во второй и третьей главах, построение выборки, написание программ, обработка данных и анализ полученных результатов целиком выполнены автором.

### **Структура и объем работы**

Диссертация объемом 162 страницы состоит из четырёх глав, заключения, списка литературы и одного приложения.

## **2. Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

**Первая глава** представляет собой обзор литературы, посвящённой NLSy1. В начале рассмотрены основные наблюдаемые спектральные характеристики, послужившие причиной выделения NLS в отдельный класс активных ядер, а именно: узкие “широкие” компоненты разрешённых линий, которые у данного класса лишь немного шире запрещённых, слабая линия [OIII]  $\lambda 5007\text{\AA}$ , сильное излучение FeII. Некоторые авторы считают, что граница между NLS и BLS зависит от светимости активного ядра[1, 2].

Что касается наблюдаемых свойств в УФ и ИК диапазонах, то NLS име-

ют тенденцию быть яркими в ИК, слабыми в УФ при большей светимости в ближнем УФ, чем в коротковолновом [3]. Для NLS характерны очень крутые рентгеновские спектры, а также сильная переменность в мягком рентгеновском диапазоне[4].

Далее по ходу первой главы NLS рассмотрены как совокупность множества структур, процессов и факторов, таких как: морфология родительской галактики как на большом масштабе, так и в околоядерной области, структура BLR (области образования широких линий) и NLR (области образования узких линий), аккреционный диск, джеты, околоядерные истечения, вращение сверхмассивной чёрной дыры и др. Отдельное внимание уделено текущим представлениям об эволюционном статусе объектов данного типа. Что касается окружения NLS, то о нём можно сказать только, что оно соответствует таковому для галактик с аналогичными светимостями и Хаббловскими типами.

Крупномасштабная морфология родительских галактик NLS отличается от таковой у BLS. Усреднённый Хаббловский тип родительских галактик BLS:  $\langle HT \rangle = 1.0$ , NLS:  $\langle HT \rangle = 3.0$  (то есть Sa и Sb соответственно)[5]. Если судить по индексам Серсика и отношению  $B/T$ , то родительские галактики NLS всегда имеют псевдобалджи, в то время как распределение  $n$  для балджей BLS имеет значительную дисперсию[6]. На всей популяции Sy1 (NLS и BLS) прослеживается зависимость  $n_b$  от  $\text{FWHM}(H\beta)$  [6]. Доля баров уменьшается с ростом  $\text{FWHM}(H\beta)$  и выходит на плато для BLS[6, 7]. В работе [5] даже было сделано утверждение, что крупномасштабный бар является основным источником различий в Сейфертовских галактиках.

Коснёмся теперь вопроса о ядерной морфологии. Ядерные пылевые спирали присутствуют в 83% NLS и 63% BLS[5]. 80%(8/10) из ядерных спиралей NLS обладают крупномасштабной двухрукавной морфологией, по сравнению с 32%(16/50) у BLS. Остальные галактики имеют ядерные спирали со множе-

ством рукавов или клочковатой нерегулярной структурой. В NLS также выше, чем в BLS, доля ядерных звёздных колец [5]. Ряд авторов получил, что в NLS выше темп звездообразования, чем в BLS, например [4]. Это, возможно, связано как раз с морфологией ядерных пылевых спиралей [5].

В настоящее время общепринятым является представление, что в центральных областях Сейфертовских галактик присутствуют: тор, аккреционный диск, BLR, NLR.

Что касается аккреционных дисков NLS и BLS, их температура выше у NLS [7]. Так как светимости AGN в NLS и BLS схожи, то схожими оказываются и  $R_{BLR}$  ( $R_{BLR} \propto \sqrt{L}$ ) [8]. На геометрию BLR существуют противоречивые взгляды. Общепринятым является предположение о сферической симметрии [9]. Некоторые авторы выдвигают гипотезу дисковой геометрии BLR, но такое объяснение имеет ряд проблем. Были выдвинуты и довольно специфические гипотезы, как, например, что облачка газа BLS движутся по вытянутым прецессирующим эллипсам [10].

Область образования узких линий (NLR) связана с истечением вещества из NLS. Если перенести отсчёт скорости на линию [OIII] $\lambda$ 3727Å, то получится, что истечения в [OIII] $\lambda$ 5007Å присутствуют, когда скорость, определяемая по FeII принимает околонулевые значения. Это свидетельствует об ортогональности областей излучения этих линий. FeII излучается в диске, [OIII] в полярном коническом истечении. Т.е. некоторая доля NLS действительно наблюдается с полюса [11, 12].

Мазеры в NLS заслуживают особого внимания. По утверждению авторов работы [13], доля обнаружений мазеров в NLS аномально высока. Основываясь на имеющихся спектрах, авторы делают вывод, что источником мазерного излучения являются или истечения, или джет, причём первая гипотеза, по их мнению, предпочтительнее.

Авторы работы [14], используя масштабирование микроквazarов до масс чёрных дыр в ядрах активных галактик получили, что NLS соответствуют режиму аккреции soft-high. Доля радиогромких NLS (RL NLS) среди NLS в целом меньше, чем доля RLQ среди квазаров [15]. RL NLS чаще всего компактные объекты, с крутым спектром, обладают общими свойствами с ранее известным классом CSS. RL NLS это просто NLS с релятивистскими джетами, во всех остальных смыслах они являются обычными NLS. В пользу наличия у NLS релятивистских джетов говорят следующие факты: быстрая оптическая переменность, поляризация и переменность поляризации, свойства в рентгеновском диапазоне а также непосредственные наблюдения в радиодиапазоне.

Результат, что в NLS массы центральных чёрных дыр меньше, чем в BLS, был получен во множестве независимых исследований, например [8, 16]. Вторым параметром, возможно определяющим свойства NLS, является вращение СМЧД. Ситуация осложняется тем, что оценка вращения СМЧД — это весьма затруднительная задача. Многие авторы, утверждают, что ЧД в NLS обладают очень высоким моментом вращения. Приобретается он за счёт secularной эволюции, аккреции вещества с высоким угловым моментом. Именно очень высокие спины  $a \sim 1$  (см., например, [17]) могут объяснить наблюдаемые свойства активных ядер в NLS. В качестве примера можно привести две NLS (IRAS13224-3809[18] и NGC1365[19]) обладающие измеренными высокими спинами (0.988 и  $> 0.84$  соответственно).

До сих пор открыт вопрос о том, лежат ли NLS на масштабных соотношениях  $M_{BH} - \sigma_*$  и  $M_{BH} - M_{bulge}$ . Данные масштабные соотношения, судя по всему, не выполняются для псевдобалджей.

Далее в обзорной части диссертации показано, что наша галактика обладает свойствами, типичными для NLS и, вполне возможно, что она проявляла активность типа NLS или проявит её в будущем. В конце хотелось бы под-

черкнуть, что эволюционный статус родительских галактик NLS не отличается от такового для галактик таких же Хаббловских типов. Что касается активного ядра, то основную роль в его эволюции играют секулярные процессы, как внутренние, так и внешние. Результаты первой главы опубликованы в работах [35],[31].

**Вторая глава** посвящена построению функции светимости NLS.

Были использованы данные обзора SDSS DR7. Для классификации AGN была использована линия  $H\alpha$ . Основная выборка состояла из 9020 объектов Sy1 с  $FWHM(H\alpha) \geq 1200$  км/с. Количество NLS в выборке равнялось 2082, BLS — 6938. Для оценки светимости AGN использовалась линия  $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$ , так как она образуется в NLR, который является протяжённым и имеет коническую геометрию. Излучение данной линии не зависит от эффектов ориентации и поглощения, а вклад излучения от областей звездообразования в данную линию пренебрежимо мал[20].

Нами был использован модифицированный  $V/V_{max}$  метод, позволяющий учесть вариации плотности галактик из-за крупномасштабной структуры. Для каждого бина по светимости нужно было получить функцию средней вероятности обнаружения объекта  $\rho(d_c)$ , где  $d_c$  — сопутствующее расстояние. Откуда мы можем получить усредненное значение  $v_{max}$  для объектов в данном бине:

$$\langle v_{max} \rangle = \int_{d_{c,min}}^{d_{c,max}} 4\pi r^2 \rho(d_c) dr$$

Таким образом, значение LF в отдельном бине:

$$\hat{\phi}(L) = \frac{N_{norm}}{\langle v_{max} \rangle \times d \log L_{[OIII]}}$$

где  $N_{norm}$  — количество галактик после нормировки.

Функция светимости неактивных галактик на низких красных смещениях хорошо известна. Пусть  $\langle \rho_{gal} \rangle$  — вычисленная из функции светимости средняя

плотность галактик, а  $\rho_{gal}$  — плотность галактик в рассматриваемом элементе объема. Пусть в этом же элементе объема наблюдается количество AGN ( $N_{AGN}$ ), удовлетворяющих неким критериям отбора. Тогда количество AGN, нормированное на среднюю плотность галактик, выражается следующим образом  $N_{AGN,norm} = N_{AGN}\langle\rho_{gal}\rangle/(\rho_{gal})$ . Для построения нормировки создадим отдельную выборку галактик, ограниченную по величине значениями  $m_{min} = 14.5$  и  $m_{max} = 17.6$ . Пусть  $L_{obs}$  — суммарная наблюдаемая светимость галактик в рассматриваемом объеме. Функция светимости, как правило, аппроксимируется функцией Шехтера:  $\phi(L)dL = \phi^*(L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*)d(L/L^*)$ . Используя параметры функции Шехтера для неактивных галактик из [21] можно вычислить расчетную суммарную светимость галактик в единичном объеме:  $L_{sch} = \int_{L_1}^{L_2} L' \phi(L')dL$ . Интегрирование в этой формуле необходимо ограничить сверху и снизу в силу того, что для слабых галактик точность определения функции светимости невысока, а при интегрировании до больших  $L_{max}$  итоговое значение  $L_{sch}$  очень сильно зависит от параметров функции Шехтера. Были использованы следующие граничные значения:  $M_{min} = -17$ ,  $M_{max} = -23$  для полосы  $r$ .

Теперь можно получить отношение средней плотности галактик к наблюдаемой в рассматриваемом объеме:  $\langle\rho_{gal}\rangle/\rho_{gal} = L_{sch}V\mu/L_{obs} = \kappa$ , где  $\mu$  — область покрытия обзора. Данное соотношение, естественно, справедливо только в случае, когда параметры функции Шехтера  $\alpha$  и  $L^*$  являются постоянными. Что интересно, при таком подходе не обязательно знать телесный угол обзора, так как, при переходе к концентрациям, получаем:  $n_{AGN,norm} = N_{AGN} \frac{L_{sch}}{L_{obs}} \frac{\mu}{\mu} \frac{1}{\mu}$ . То есть угол покрытия обзора уже содержится в подсчёте количества наблюдаемых объектов.

Проверим успешность данного алгоритма. Применим его для выборки галактик с известными абсолютными величинами. SDSS является полным для галактик с  $14.5 < m_r < 17.6$  [22]. Если нормировка выполнена верно, то функ-

ция должна сначала расти, затем выходить на плато, а по достижении определенного значения снова спадать, когда видимые звездные величины, соответствующие абсолютным  $M_1$  и  $M_2$  выходят за границы полноты обзора. Именно такое поведение и наблюдается.

Существует множество факторов, из-за которых объект не попадет в выборку AGN. Эти факторы можно условно разделить на две группы. 1) Невозможность наблюдения ярких объектов на близком расстоянии — слишком яркая видимая величина и засветка спектров очень ярких эмиссионных линий. 2) Снижение вероятности обнаружения объекта с ростом расстояния — снижение соотношения  $S/N$  в линиях и уменьшение общей наблюдаемой фотометрической величины.

Функция вероятности, назовем ее  $\rho_{inc}(d_c)$  будет увеличиваться с расстоянием. Будем искать ее в форме  $\exp(-b_1/d_c^2)$ . Функция вероятности  $\rho_{dec}$  будет уменьшаться по мере роста расстояния до объекта. Будем искать ее в форме  $\exp(-b_2 d_c^2)$ . Для каждого бина по светимости  $L_{[OIII]} \in [L_i, L_{i+1}]$  нужно нормированную плотность AGN фитировать функцией  $\rho_{AGN} = a\rho_{dec}\rho_{inc}$ . Соответствующее среднее значение объема  $v_{max}$  равняется

$$\langle v_{max} \rangle = \int_{d_{c,min}}^{d_{c,max}} 4\pi d_c^2 e^{-b_1/d_c^2} e^{-b_2 d_c^2} d(d_c)$$

Для анализа мы использовали кумулятивную функцию  $f_{obs}(d_c) = N_{AGN}(d_{c,i} < d_c)$ , где  $N_{AGN}(d_{c,i} < d_c)$  — количество AGN в рассматриваемом бине светимости, с расстоянием  $d_{c,i} < d_c$  и большим минимального расстояния, которым была ограничена выборка. Фитирование проводилось, соответственно, функцией:

$$f_{fit}(d_{c,i}) = \int_{d_{c,min}}^{d_{c,i}} 4\pi a d_c^2 e^{\left(-\frac{b_1}{d_c^2}\right)} e^{(-b_2 d_c^2)} d(d_c).$$

Вместо фиксированного шага по расстоянию  $d_c$  использовался шаг с постоянным приращением объема  $\delta V_c$ . Построенная функция светимости в линии [OIII] Sy1 демонстрирует очень сильное расхождение с таковой из работ [23] и [24]. Для сравнения с LF из других работ светимости были пересчитаны к величинам в полосе В. Формулы пересчета были использованы следующие. Из  $L_{[OIII]}$  в  $M_B$ , в соответствии с [24]:  $\log(L_{[OIII]}/L_\odot) = -0.38M_B - 0.42$ . Из  $H_\alpha$  в  $M_B$  в соответствии с [25]:  $M_B = -2.1(\log L_{H_\alpha} - 42) - 20.1$ .

Функции светимости различных авторов образуют условно образуют 2 группы. В первой находятся результаты [23] и [24], во второй — [25, 26]. Полученная нами функция светимости для Sy1 находится примерно посередине между противоречащими друг другу результатами. Что существенно, полученная нами LF для Sy1 переходит в таковую для квазаров из работы [20]. Различие между функциями светимости различных типов объектов в одной публикации на порядки меньше, чем расхождение в результатах различных авторов. Согласие полученной функции светимости с какой-либо из опубликованных ранее не подтверждает достоверность результатов.

Для подтверждения достоверности полученных результатов была построена предсказанная функцию светимости в мягком рентгене (0.5 – 2 кэВ) на основе данных о светимостях в линии [OIII]. Функция светимости, предсказываемая на основе наших данных для AGN 1-ого типа соответствует реально наблюдаемой лучше, чем LF других авторов.

Результаты главы 2 были опубликованы в работах [32], [36–39].

**Третья глава** посвящена связи между частотой встречаемости NLS и крупномасштабной структурой Вселенной. В этой главе была использована те же выборки объектов каталога SDSS DR 7, что и в главе 2. В первую очередь нами было задано разбиение на бины по светимости AGN в линии [OIII] $\lambda$ 5007Å, а также минимальное и максимальное красное смещение. Нами

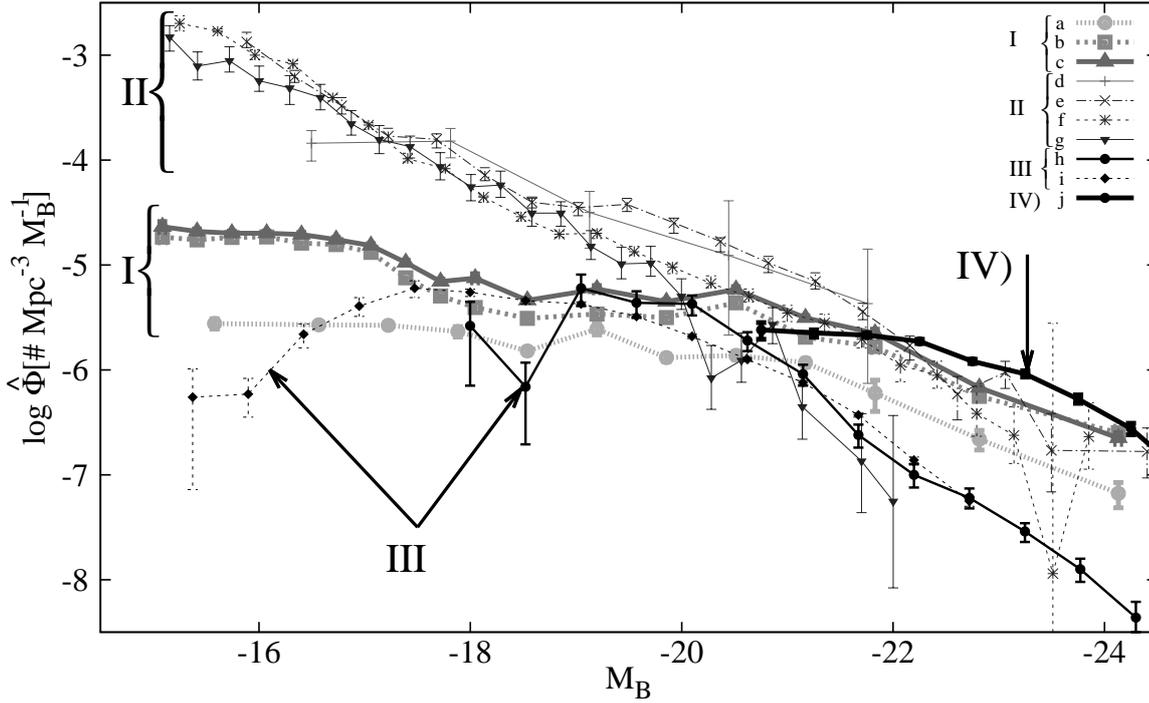


Рис. 1. Функции светимости в полосе B, полученные конвертированием светимостей из  $[\text{OIII}]\lambda 5007\text{\AA}$  или  $\text{H}\alpha$ . a,b,c) NLS, BLS, NLS+BLS по результатам данной работы d) Type2 AGN, из  $[\text{OIII}]$  [24] e) Sy1 из  $[\text{OIII}]$  [23] f) Sy2 из  $[\text{OIII}]$  [23] g) Sy1+Sy2 из  $\text{H}\alpha$  [23] h) Sy1 из  $\text{H}\alpha$  [25] i) Sy1 из  $\text{H}\alpha$  [27] g) QSO, получена в полосе B [20]. Функции светимости поделены на следующие группы. Группа I – LF, полученные в данной работе. Группа II – из работ [23] и [24]. Группа III – LF из работ [25] и [26]. Эти две группы выделены из-за хорошего согласия результатов между собой. IV – функция светимости для квазаров из [20]. Рисунок опубликован в работе автора диссертации [32].

был, аналогично главе 2, использован фиксированный шаг по объему. Сначала для рассматриваемых объектов полностью аналогично главе 2 проводилось вычисление функции вероятности наблюдения объектов в каждом рассматриваемом интервале светимости  $p(d_c)$ , где  $d_c$  – сопутствующее расстояние. Затем проводилось разбиение объема обзора на элементы. Для каждого элемента объема производилось вычисление соотношения  $\rho_{gal}/\langle\rho_{gal}\rangle$ . Подсчитывалось количество интересующих нас объектов в рассматриваемом интервале светимостей.

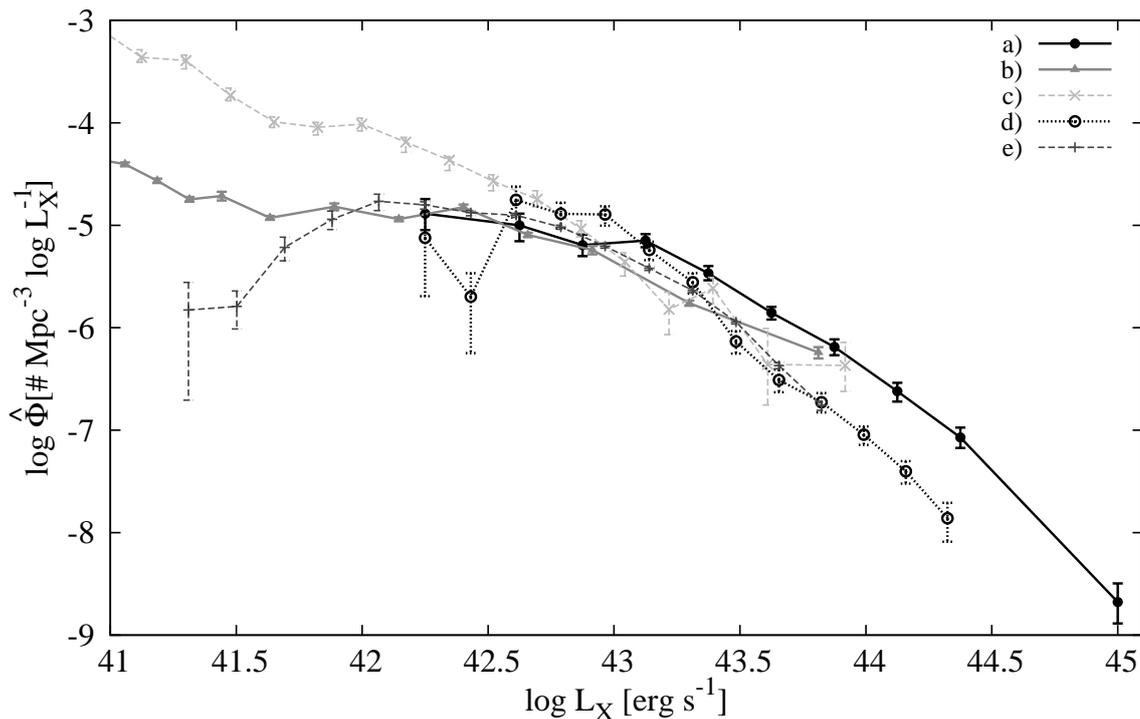


Рис. 2. Наблюдаемая функция светимости в рентгене в диапазоне энергий 0.5–2keV по данным [28]. Также показаны предсказываемые рентгеновские функции светимости на основе нашей и других работ. а) Sy1, x-ray 0.5–2keV [28] б) Sy1 по данным нашей работы, из [ОIII] в) Sy1 из [ОIII] [23] д) Sy1 из H $\alpha$  [25] е) Sy1 из H $\alpha$  [27] Рисунок опубликован в работе автора диссертации [32].

Это количество корректировалось при помощи вычисленной ранее функции  $p(d_c)$ . Проведя аналогичные вычисления для всех элементов объема, мы получаем зависимость  $N_{NLS}$ ,  $N_{BLS}$  и  $N_{NLS}/N_{BLS}$  от  $\rho_{gal}/\langle\rho_{gal}\rangle$ , где  $N_{NLS}$  и  $N_{BLS}$  — пространственные концентрации NLS и BLS соответственно.

Были использованы 2 сетки разбиения. Параметры первой таковы. Телесный угол каждого элемента  $\Omega = 0.037\text{sr}$  или  $120^\square$ , минимальное красное смещение  $z_{min} = 0.027$ , максимальное красное смещение  $z_{max} = 0.18$ , количество бинов по  $z$  равняется 8. Параметры 2-ой сетки разбиения следующие:  $\Omega = 0.011\text{sr}$  или  $36^\square$ ,  $z_{min} = 0.022$ ,  $z_{max} = 0.18$ , количество бинов по  $z$  составляет

15. Было использовано следующее разбиение по светимости: 5.25 – 6.25, 6.25 – 7.0, 7.0 – 7.75, 7.75 – 9.0( $\lg L_{[OIII]}/L_{\odot}$ ).

Для всех рассмотренных интервалов светимости AGN зависимости  $N_{NLS}$  и  $N_{BLS}$  от  $\rho_{gal}/\langle\rho_{gal}\rangle$  являются линейными. То же справедливо и для всего рассмотренного диапазона светимости AGN. Все вышесказанное говорит о том, что NLS и BLS составляют некую долю всех галактик, которая зависит от светимости NLS и BLS, но не от средней плотности галактик.

Тот факт, что в областях с повышенной концентрацией галактик выше доля галактик ранних типов был обнаружен во множестве работ, например [29]. Также с ростом плотности окружения растёт доля красных галактик. Работа [29] посвящена проекту Galaxy Zoo, что в переводе с английского означает “Зоопарк Галактик”. На сегодняшний день это наибольший каталог визуально классифицированных галактик. Проверим, возможно ли нашей методикой повторить результат о зависимости доли красных галактик от плотности окружения. Зависимости были построены для 6 бинов по абсолютной величине с шагом 0.5 в интервале  $-23.0 \leq M_r < -20.0$ . Галактика считалась красной, если  $u - r > 2.2$ , аналогично работе [30]. Результатом являются зависимости доли красных галактик  $N_{red}/N_{all}$  от  $\rho_{gal}/\langle\rho_{gal}\rangle$ . Сравним полученный результат с таковым из работы [29]. Повторяется не только общая тенденция увеличения доли красных галактик с ростом плотности окружения, но также и то, что данная закономерность более ярко выражена для галактик меньшей светимости свидетельствует о корректности использованных нами методов и о достоверности полученных результатов относительно NLS и BLS. А объясняется это тем, что маленькие галактики сильнее подвержены различным механизмам истощения газа, действующим в плотном окружении.

Результаты третьей главы были опубликованы в *Астрономическом Журнале* [33], а также в трудах конференций [38–40].

**В четвёртой главе** даётся обоснование введения нового класса активных ядер AGN — III. Существующая классификация на два типа — AGN I и AGN II не способна описать всё многообразие проявления феномена активности ядра, сводя всё различие к наличию или отсутствию широких разрешённых линий в спектрах.

То, как галактика эволюционировала, должно сказаться и на центральной чёрной дыре. По существующим представлениям, чёрные дыры в галактиках, эволюционировавших секулярно будут *относительно* маломассивными ( $10^6 - 10^8 M_{\odot}$ ). А также они будут обладать значительными удельными моментами вращения за счёт аккреции газа с высоким угловым моментом. Высокий угловой момент влияет на эффективность запуска джета.

Когда говорят об AGN I/II имеют в виду галактики с очень массивными центральными чёрными дырами, ранних Хаббловских типов или массивные спирали с классическими балджами. NLS же являются спиральными галактиками, обладают псевдобалджами, их ЧД относительно маломассивны  $10^6 - 10^8 M_{\odot}$  и обладают высокими моментами вращения. Этого, на наш взгляд, достаточно, чтобы выделить системы с такими параметрами в отдельных класс активных ядер — AGN III. Новый класс активных ядер объединяет объекты, эволюционировавшие секулярно.

Результаты четвёртой главы опубликованы в работе [34].

В разделе **выводы диссертационной работы** приводятся результаты отдельно по каждой главе. По первой главе кратко суммированы свойства объектов NLS как класса. В выводах по второй главе подведены итоги касательно методики получения функции светимости, результатов, полученных с её помощью — уверенное предсказание рентгеновской функции светимости сейфертовских галактик первого типа, а также факт зависимости доли NLS от светимости. В выводах по третьей главе говорится о подтверждении достовер-

ности использованной методики путём повторения результата о зависимости доли красных галактик от плотности окружения. Данная методика позволила получить, что доля NLS не зависит от плотности окружения на масштабе ячеек крупномасштабной структуры, что свидетельствует в пользу секулярной эволюции данного типа объектов. В выводах по четвёртой главе обобщены критерии, позволяющие выделить новый класс активных ядер галактик. В приложении приводится список использованных сокращений и аббревиатур.

### **Основные результаты, выносимые на защиту**

1. Разработан новый метод вычисления функции светимости, позволяющий учесть вариации плотности галактик вследствие крупномасштабной структуры Вселенной. Метод основан на нормировке на контрольную полную выборку объектов.

2. По выборке, состоящей из 9020 объектов, из которых NLS - 2082 и BLS - 6938 получены функции светимости NLS, BLS и всех Sy1 (NLS и BLS вместе).

3. На основе полученной функции светимости в линии [OIII] $\lambda$ 5007Å построена предсказанная LF для мягкого рентгена в диапазоне 0.5–2кэВ, хорошо соответствующая реальной наблюдаемой. Это также свидетельствует в пользу достоверности полученных нами результатов.

4. При помощи функции светимости подтверждён результат, что доля NLS среди всех Сейфертовских галактик не является постоянной, а имеет пик при определённой светимости.

5. Разработан метод вычисления зависимости пространственной концентрации исследуемых объектов от средней плотности Вселенной на масштабах ячеек крупномасштабной структуры. Полученные в работе зависимости пространственных плотностей NLS и BLS ( $N_{NLS}$  и  $N_{BLS}$ ) от плотности окружения являются линейными, а их отношение константой. Это говорит о том, что NLS и BLS составляют некоторую фиксированную долю всех галактик, в широких

пределах не зависящую от плотности Вселенной.

6. Подтверждён результат, что доля красных галактик зависит от плотности окружения на масштабах ячеек крупномасштабной структуры, причём эта зависимость сильнее выражена для менее ярких галактик.

7. Обосновано введение нового типа активных галактик — AGN III. Их основные параметры таковы. Родительские галактики являются спиральными галактиками вплоть до поздних Хаббловских типов, их балджи являются псевдобалджами (индекс Серсика  $n_b \leq 2$ ). ЧД являются относительно маломассивными ( $10^6 M_\odot < M_\bullet < 10^8 M_\odot$ ). По-видимому, высокий спин ЧД ( $a \lesssim 1$ ). Они не являются ни редкими, ни уникальными объектами. Так, уже в SDSS DR3 тысячи объектов могут быть отнесены к данному классу. NLS являются типичными представителями этого нового класса.

### 3. Цитированная литература

1. Véron-Cetty M.-P. et al. // A&A.- 2001.- Vol. 372.- P. 730.
2. Dultzin D. et al. Narrow-Line Seyfert 1s - a luminosity dependent definition // Proceedings of the Workshop “Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe”, PoS(NLS1) 012 / Ed. by L. Foschini, M. Colpi, L. Gallo et al.- Trieste, Italy: Proceedings of Science, 2011.
3. Komossa S. // RevMexAA (Serie de Conferencias).- 2008.- Vol. 32.- P. 86–92.
4. Sani E. et al. // MNRAS.- 2010.- Vol. 403.- P. 1246–1260.
5. Deo R. P. et al. // Astron. J.- 2006.- Vol. 132.- P. 321.
6. Orban de Xivry G. et al. // MNRAS.- 2011.- Vol. 417.- P. 2721–2736.
7. Crenshaw D. M. et al. // Astron. J.- 2003.- Vol. 126.- P. 1690 – 1698.
8. Botte V. et al. // Astron. J.- 2004.- Vol. 127.- P. 3168.
9. Zhu L. et al. // Astrophys. J.- 2009.- Vol. 700.- P. 1173.

10. Krause M. et al. // MNRAS.- 2011.- Vol. 411.- P. 550.
11. Boroson T. NLS1 properties and demographics(invited) // Proceedings of the Workshop “Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe”, PoS(NLS1) 003 / Ed. by L. Foschini, M. Colpi, L. Gallo et al.- Trieste, Italy: Proceedings of Science, 2011.
12. Boroson T. A. // Astrophys. J.- 2011.- Vol. 735.- P. 14.
13. Tarchi A. et al. // A&A.- 2011.- Vol. 532.- P. 125.
14. Sobolewska M. et al. // MNRAS.- 2011.- Vol. 413.- P. 2259–2268.
15. Komossa S. et al. // Astron. J.- 2006.- Vol. 132.- P. 531.
16. Xu D., Komossa S. The Narrow-Line Region of Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies // Proceedings of the Workshop “Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe”, PoS(NLS1) 006 / Ed. by L. Foschini, M. Colpi, L. Gallo et al.- Trieste, Italy: Proceedings of Science, 2011.
17. Wang J. et al. // Astrophys. J.- 2011.- Vol. 741.- P. 50.
18. Fabian A. et al. // MNRAS.- 2013.- Vol. 429.- P. 2917.
19. Risaliti G. et al. // NATURE.- 2013.- Vol. 494.- P. 449.
20. Croom S. M. et al. // MNRAS.- 2004.- Vol. 349.- P. 1397.
21. Montero-Dorta A. D., Prada F. // MNRAS.- 2009.- Vol. 399.- P. 1106.
22. Abazajian K. N. et al. // Astrophys. J. Suppl. Ser.- 2009.- Vol. 182.- P. 543.
23. Hao L., Strauss M. A., Fan X. et al. // Astron. J.- 2005.- Vol. 129.- P. 1795.
24. Bongiorno A. et al. // A&A.- 2010.- Vol. 510.- P. 56.
25. Schulze A. et al. // A&A.- 2009.- Vol. 507.- P. 781.
26. Greene J. E., Ho L. C. // Astrophys. J.- 2007.- Vol. 667.- P. 131.
27. Greene J. E., Ho L. C. // Astrophys. J.- 2009.- Vol. 704.- P. 1743.
28. Hasinger G., Miyaji T., Schmidt M. // Astron. Astrophys.- 2005.- Vol. 441.- P. 417.
29. Bamford S. P. et al. // MNRAS.- 2009.- Vol. 393.- P. 1324B.

30. Tempel E., Saar E. // A&A.- 2011.- Vol. 529.- P. 53.

#### **4. Научные труды, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

31. Ермаш А. А., Комберг Б. В. Морфология и эволюционный статус активных галактик типа NLSy1 // Астрофизика.- 2013.- Vol. 56.- P. 625–660.

32. Ермаш А. Функция светимости активных галактик типа NLSy1 по данным обзора SDSS DR7 // Астрон. журн.- 2013.- Vol. 90.- P. 355 // e-Print arXiv:1302.2955 [astro-ph].

33. Ермаш А. Сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями. Связь между частотой встречаемости и крупномасштабной структурой Вселенной. // Астрон. журн.- 2014.- Vol. 91.- P. 263–274 // e-Print arXiv:1311.6074 [astro-ph].

34. Комберг Б., Ермаш А. AGN III – Первичная активность в ядрах дисковых галактик с псевдобалджами // Астрон. журн.- 2013.- Vol. 90.- P. 443 // e-Print arXiv:1302.2942 [astro-ph].

#### **5. Другие научные труды, опубликованные по теме диссертации**

35. Б.В.Комберг и А.А. Ермаш. Морфология и эволюционный статус активных галактик типа NLSy1: препринт 31: ФИАН, 2011.

36. Ермаш А. А., Комберг Б. В. Функция светимости активных галактик типа NLSy1 по данным обзора SDSS DR7 // Труды 42-ой международной

студенческой научной конференции Физика космоса.- Коуровка, Россия: Уральский государственный университет, 2013.- Р. 57.

37. Ермаш А. Luminosity function of Narrow-Line Seyfert galaxies based on SDSS DR7 data // Proceedings of the Workshop “Nuclei of Seyfert galaxies and QSOs - Central engine & conditions of star formation”.- Germany, Bonn: 2012, [http://pos.sissa.it/archive/conferences/169/064/Seyfert%202012\\_064.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/169/064/Seyfert%202012_064.pdf) arXiv:1304.7144 [astro-ph].
38. Ермаш А. А., Комберг Б. В. Функция светимости активных галактик типа NLSy1 по данным обзора SDSS DR7 // Тезисы докладов Российской Молодёжной конференции по физике и астрономии ФизикА.СПб.- Санкт - Петербург, Россия: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2013.
39. Ермаш А. А., Комберг Б. В. Функция светимости активных галактик типа NLSy1 по данным обзора SDSS DR7 // Тезисы докладов 5-ой Всероссийской молодежной конференции “Фундаментальные и инновационные вопросы современной физики”.- Москва, Россия: ФИАН им. Лебедева, 2013.
40. Ермаш А. А., Комберг Б. В. Функция светимости активных галактик типа NLSy1 по данным обзора SDSS DR7 // Тезисы докладов Всероссийской Астрономической Конференции “Многоликая Вселенная ВАК - 2013”.- Санкт-Петербург, Россия: 2013.