АСТРОФИЗИКА

ТОМ 56 НОЯБРЬ, 2013 ВЫПУСК 4

ОБЗОРЫ

МОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СТАТУС АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК ТИПА NLS

А.А.ЕРМАШ, Б.В.КОМБЕРГ

Поступила 21 мая 2013
Принята к печати 14 августа 2013

Данная работа представляет собой обзор публикаций, посвященных активным галактикам типа NLS. Объекты NLS рассмотрены как совокупность множества структур, процессов и факторов, таких как: место в крупномасштабной структуре, 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 черной дыры и др. Отдельное внимание уделено текущим представлениям об эволюционном статусе объектов данного типа. Показано, что основное отличие NLS от классических Сейфертовских галактик первого типа заключается в морфологии центральной области и параметрах центральной машины. Для NLS характерны псевдобалджи, образовавшиеся вследствие секулярной эволюции, а также более регулярная морфология ядерных пылевых спиралей. Присутствие псевдобалджей объясняет отклонение NLS от масштабных соотношений, справедливых для галактик с классическими балджами. Черные дыры в данном типе объектов, по-видимому, обладают меньшими массами и высокими спинами, что влияет на эффективность запуска релятивистских джетов.

Ключевые слова: *галактики: активные ядра: Сейфертовские галактики с узкими линиями*

1. *Вопрос классификации.* Впервые термин "NLS" - Narrow Line Seyferts 1, что в переводе означает "Сейфертовские галактики первого типа с узкими линиями" был определен в работе [1]. Ширина разрешенных линий у данных объектов лишь немного шире запрещенных. В настоящий момент определяющей характеристикой в оптике принято считать полуширину разрешенной линии водорода $FWHM(H\beta) \leq 2000$ км/с.

Хотелось бы остановиться на имеющейся путанице в терминологии. Существуют два основных типа Сейфертовских галактик по Остерброку - Sy1 и Sy2. У первого типа в спектрах присутствуют как узкие разрешенные линии (например, $H\beta$), ширина которых такая же, как и у запрещенных линий (например, [OIII] $\lambda 5007$ Å), так и широкие разрешенные линии, полуширина которых достигает более 10000 км/с. У второго типа присутствуют только узкие разрешенные линии и запрещенные. Под промежуточными типами в этой классификации подразумеваются объекты с различной

выраженностью широких разрешенных линий. Узкие линии образуются в области образования узких линий (NLR), широкие разрешенные линии - в области образования широких линий (BLR). Это две пространственно разделенные области с резко различными физическими условиями. NLS - это Сейфертовские галактики первого типа, у которых, соответственно, присутствуют NLR и BLR, но широкие разрешенные линии аномально узкие (< 2000 км/с), что все же существенно больше, чем ширина запрешенных линий.

Многие авторы указывали на недостаточность критерия отделения NLS только по ширине линий. Например, в [2] было отмечено, что некоторые объекты со значительно большими ширинами линий демонстрируют характерные для NLS свойства в рентгене и сильные линии FeII. Там же предложено, что классификация по R_{4570} - отношению потоков FeII к Hβ может быть более достоверной. Более того, было отмечено, что эмиссионные характеристики NLS помещают их в обособленное положение на Eigenvector1 (EV1) [3] в выборке AGN на низких красных смещениях. Методика PCA[1] подтверждает, что сильное излучение FeII, слабое [OIII] λ5007 Å и узкая линия Hβ есть определяющие спектральные характеристики класса NLS [4]. Возможная причина в целом более высокого соотношения FeII/Hβ в NLS заключается в том, что при бóльших плотностях водородные линии термализованы, что снижает их светимость [2].

В недавней работе [5] были использованы методики PCA и кластерного анализа, что позволило в выборке AGN выделить 2 группы, которые авторы связывают с NLS и BLS. EV1 отличался от общепринятого, в него вошли такие параметры, как наклон рентгеновского спектра, наклон континуума в оптике, индекс α_{OX}. EV1 был интерпретирован как L/L_{edd}, EV2 как M_{BH}. В этой работе делается вывод, что FWHM(Hβ) - лишь формальный критерий, и нужно более комплексно подходить к этому вопросу. В ряде работ высказывалось предположение, что для корректного определения класса NLS нужно ввести в определение светимость. Например, в [6] было предложено ввести класс HERG[2], NLS же в таком случае являются его подклассом. В [7] было отмечено существование аналогов NLS на $z \sim 3$. Резкое изменение свойств происходит скорее на ширине Hβ ~ 4000 км/с, объекты с ширинами Hβ ~ 2000 – 4000 км/с зачастую продолжают демонстрировать свойства NLS. Вывод авторов работы [7] - для заданной светимости есть максимально возможная ширина линий (если исключить переход Эддингтоновского предела), следовательно, следует включить в определение класса NLS светимость. Возможность того, что максимальная ширина линии Hβ может увели-

---

[1] *Principal Component Analysis - Анализ Базовых Компонент.*

[2] *High Eddington Ratio Galaxies -галактики с высокими Эддингтоновскими соотношениями.*

чиваться со светимостью была отмечена еще в работе [2].

Был выдвинут также ряд гипотез насчет неоднородности самой популяции NLS. Так, было выдвинуто предположение, что NLS может быть композитной группой, состоящей как из объектов с малыми M_{BH} и высокими Эддингтоновскими соотношениями, так и ориентированных на наблюдателя [6]. Возможно, что многие NLS обладают высоким L/L_{edd} и ориентированы на наблюдателя. Что касается наблюдаемых свойств в УФ и ИК диапазонах, то NLS имеют тенденцию быть яркими в ИК, слабыми и красными в УФ [8] (см. также ссылки в этой работе).

Особого внимания заслуживают свойства NLS в рентгеновском диапазоне, так как они зачастую рассматриваются как один из определяющих критериев данного класса AGN. NLS обладают очень крутыми спектрами, имеется значительный избыток мягкого рентгена. Спектральные индексы находятся в пределах $\Gamma = 1-4$ и выше. Рентгеновская светимость находится в диапазоне от 10^{42} эрг/с до 10^{44} эрг/с [9]. Они обладают быстрой переменностью в мягком рентгеновском диапазоне с большой амплитудой [9], лишь некоторые NLS демонстрируют переменность в жестком [10].

Один из возможных механизмов, объясняющий избыток излучения в мягком рентгеновском диапазоне, следующий: Больше L/L_{edd} => больше фотонов аккреционного диска => более эффективное охлаждение электронов короны => более крутой рентгеновский спектр [11]. NLS чаще находятся в состоянии со слабой рентгеновской эмиссией[1]. В этом состоянии основной континуум подавлен, что позволяет изучить остальные компоненты. Наблюдаемая рентгеновская переменность связана с переменностью степенной компоненты спектра, а не с чернотельным излучением аккреционного диска. Что, в свою очередь, может быть вызвано как изменением физических условий в короне, так и геометрическими эффектами, например, отклонением света возле черной дыры.

Сам BBB[2] обычно интерпретируется как излучение оптически толстого, физически тонкого диска. BBB может доходить до мягкого рентгеновского диапазона, что вносит вклад в наблюдаемые свойства NLS [2]. Отсутствие в некоторых NLS избытка мягкого рентгена может быть связано с большим количеством нейтрального водорода, поглощающего рентген.

Однако, согласно [12], спектральный индекс мягкого рентгена Γ не может служить определяющим критерием NLS. Дисперсия данного параметра резко возрастает при переходе границы $\mathrm{FWHM}(\mathrm{H}\beta) \leq 2000$ км/с, поэтому то, что у NLS Γ ниже, не является достоверным результатом.

По спектральным индексам жесткого рентгена (20 - 100 кэВ) NLS являются очень неоднородной популяцией, демонстрируя как плоские (~1.3), так и

---

[1] *X-ray weak state.*

[2] *Big Blue Bump - большой избыток в синей области спектра.*

очень крутые (~3.6) спектральные уклоны, и различий в распределениях для NLS и BLS не наблюдается [13]. Авторы [13] подтвердили обнаруженную ранее корреляцию Г с L/L_{edd} на энергиях от 2.4 кэВ до бóльших энергий (0.5 кэВ - 12 кэВ), исключив возможность того, что она является результатом наличия избытка мягкого рентгена.

В общем случае, выборки NLS по оптике и рентгену не являются тождественными. Так, в работе [14] говорится о существовании группы NELG[1], которые в оптическом диапазоне классифицируются как галактики с интенсивным звездообразованием, но у них слишком высока светимость в рентгене, и часть галактик этой популяции является NLS, а оптическая диагностика ошибается по отношению к 30-50% из рентгеновской выборки AGN.

2. *Свойства родительских галактик NLS.*

2.1. *Окружение NLS.* В работе [15] исследовался вопрос о различии в окружении объектов LINER[2], TO[3] и Sy1. Было обнаружено, что локальное окружение не отличается. Тот же результат был получен в работе [16] касательно NLS и BLS. Таким образом, об окружении галактик типа NLS можно сказать только, что оно соответствует таковому для галактик с аналогичными светимостями и Хаббловскими типами.

2.2. *Крупномасштабные свойства.* Перейдем теперь к вопросу о родительских галактиках активных ядер типа NLS. Мысль о том, что феномен активности в ядре не взаимосвязан с крупномасштабной морфологией для AGN малой светимости в локальной вселенной (на малых z) высказывалась неоднократно. Например, в работе [15] утверждалось, что родительские галактики Sy1, Sy2, LINERs и TO не отличаются. Основное различие заключается в морфологии центральной области. Тем не менее, в [4] было отмечено, что усредненный Хаббловский тип родительских галактик BLS: $\langle HT \rangle = 1.0$, NLS: $\langle HT \rangle = 3.0$ (то есть Sa и Sb, соответственно). Также родительские галактики NLS слабее на $0^m.73$, но это находится в пределах стандартного отклонения. Если этот эффект действительно существует, то это может являться продолжением закономерности, заключающейся в том, что светимость родительских галактик уменьшается на последовательности RLQ - RQQ - Sy (радиогромкие квазары - радиотихие квазары - Сейфертовские галактики). Стоит отметить отдельно, что крупномасштабные свойства родительских галактик RL NLS

---

[1] *Narrow Emission Line Galaxies - галактики с узкими эмиссионными линиями.*

[2] *Low-Ionization Nuclei Emission Region galaxies - галактики с низкой ионизацией в излучающей области.*

[3] *Transition Objects - переходные объекты, содержащие как области интенсивного звездообразования, так и активное ядро.*

(радиогромких NLS) и RQ NLS (радиотихих NLS) не отличаются [17].

Коснемся теперь крайне интересного, на наш взгляд, вопроса о шаровых звездных скоплениях (ШЗС). В [18] было обнаружено, что существует тесная корреляция между количеством шаровых скоплений и массой центральной сверхмассивной черной дыры (СМЧД) в галактиках ранних типов (в том числе для спиралей ранних типов). Интересно, что эта корреляция по меньшей мере такая же тесная, как и хорошо известная между дисперсией скоростей и массой СМЧД. Еще в работе [19] было выяснено, что число ШЗС пропорционально общей светимости сферического компонента галактик. Популяции ШЗС имеют схожие пространственные распределения, количества, химический состав и размеры в эллиптических и спиральных галактиках. Зависимость сохраняется даже для Млечного Пути - спиральной галактики позднего типа, если рассматривать только ШЗС сферической составляющей нашей галактики [18]. Вопрос о популяции ШЗС в Сейфертовских галактиках, и в том числе NLS, на настоящий момент не изучен, хотя это, на наш взгляд, весьма важный момент. Для многих из них, в силу их принадлежности к поздним морфологическим типам, задача видится непростой.

2.3. *Свойства центральных областей.* Масса газа, необходимая для питания AGN - лишь малая часть того, что присутствует в центральных областях галактик. Скорость аккреции у Сейфертовских галактик, выраженная в $M_{\odot}$/год, невелика, и за перенос газа может отвечать множество различных механизмов, в том числе ветер от вспышки звездообразования. Возможно поэтому связи с крупномасштабной структурой не обнаруживается [20].

Одно из первых предположений об отличных свойствах балджей в NLS было сделано в работе [21]. Было получено, что светимость балджей в NLS ниже. Однако для оценки светимостей балджей авторы использовали соотношение B/T[1], получаемое из морфологического типа. Таким образом, данный результат свидетельствует лишь о различии в Хаббловском типе родительских галактик NLS и BLS, о чем речь уже шла выше.

В настоящий момент балджи в галактиках принято делить на 2 типа - классические и псевдобалджи [22]. Первые по характеристикам близки к сферическим системам эллиптических галактик, вторые по свойствам сходны с дисками, являясь более плоскими, обладая бóльшими моментами вращения и меньшими дисперсиями скоростей звезд. Принятой границей разделения балдж/псевдобалдж является значение индекса Серсика $n=2$, псевдобалджи имеют $n<2$, классические балджи $n>2$, соответственно. Псевдобалджи также имеют меньшее соотношение B/T. Индекс Серсика псевдобалджей не коррелирует с B/T, в отличие от классических, где эта корреляция наблюдается. На родственные связи псевдобалджей с дисками указывает

[1] *Отношение светимости балджа к общей светимости всей галактики.*

также то, что их размеры коррелируют с размерами дисков галактик, в то время как у классических балджей такой корреляции не наблюдается [23].

Если судить по индексам Серсика, то родительские галактики NLS всегда имеют псевдобалджи, в то время как в родительских галактиках BLS присутствуют как классические, так и псевдобалджи (см. рис.1 взятый из работы [24]). Сравнение распределений по B/T для NLS и BLS дает тот же результат. Средние значения B/T таковы - у BLS $\langle B/T \rangle \sim 0.39$, у NLS $\langle B/T \rangle \sim 0.17$ [24]. Что интересно, на всей популяции Sy1 (NLS и BLS) прослеживается зависимость n_b от FWHM(Hβ) [24]. В этой же работе говорится о том, что псевдобалджи есть результат внутренней секулярной эволюции, классические же, напротив, - результат внешней секулярной эволюции[1].

Численному моделированию малых мержингов посвящена работа [25], где сделан вывод, что малые мержинги приводят к росту индекса Серсика

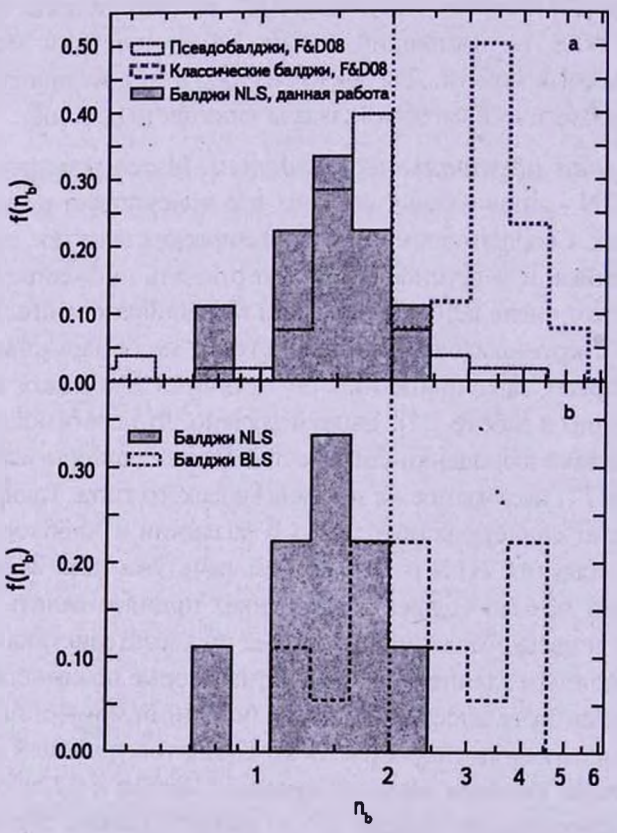

Рис.1. Гистограмма индексов Серсика балджа, log*n*. a) Балджи NLS по сравнению с псевдобалджами и классическими балджами. b) Балджи NLS по сравнению с балджами BLS из работы [24].

---

[1] *Под внешней секулярной эволюцией авторы подразумевают малые мержинги(слияния), продолжительную аккрецию газа на галактику и т.п.*

и отношения B/T, однако звезды, составляющие падающие галактики-спутники не достигают центральных областей и не попадают в растущий балдж. Балдж набирает массу за счет звезд диска, разогреваемого такими мержингами. При наличии в системе бара балджи имеют тенденцию содержать более молодые звезды, что опять же свидетельствует о роли секулярной эволюции [26]. Однако, как это часто бывает, на эволюцию псевдобалджей тоже есть противоречивые точки зрения. Так, в работе [27] был предложен следующий механизм. Как известно, диски галактик на больших красных смещениях богаты газом и подвержены различного рода неустойчивостям. Это ведет к формированию "комковатых" (clumpy) структур, которые затем за счет динамического трения мигрируют к центру галактики, образуя балдж. Такой балдж будет обладать динамическими характеристиками, как у псевдобалджей, но его звездное население будет старым. Авторы назвали это "clump-origin bulge" - балдж, образующийся из "комков".

Авторы работы [28] предложили еще один механизм формирования псевдобалджей. В их модели они формируются как результат вспышек звездообразования на больших красных смещениях. Они образуются как диски с малыми размерами путем быстрой аккреции газа с малым угловым моментом. Тем не менее, секулярная эволюция в этой модели тоже вносит заметный вклад в образование псевдобалджей в более поздние эпохи.

Перейдем теперь к вопросу о барах. Их исследованию в последнее годы было посвящено множество работ, в том числе и численному моделированию. Например, в [29] были получены результаты, что бары более устойчивы, чем ранее считалось. Центральная масса должна быть велика, порядка нескольких процентов массы диска, чтобы разрушить бар, а массы СМЧД даже вместе со звездным каспом, вероятно, слишком малы для того, чтобы разрушить бар. В работе [20], посвященной Сейфертовским галактикам, так же отмечалось, что бары могут быть более устойчивыми образованиями, чем принято считать. Более слабые бары Сейфертовских галактик объяснялись разрушением орбит из-за большей концентрации холодного газа в таких галактиках. Возможно, существует перенос углового момента от потока газа ("gas inflow") к бару.

Доля баров уменьшается с ростом FWHM(Hβ) и выходит на плато для BLS, что подтверждается, например, в работе [24] (см. рис.2а). В работе [4] даже было сделано утверждение, что крупномасштабный бар является основным источником различий в Сейфертовских галактиках. Крупномасштабные звездные бары, как правило, имеют начало около 1 кпк от ядра и тянутся до 5 кпк - 10 кпк.

Коснемся теперь вопроса о ядерной морфологии. Так, в [4] было получено, что ядерные пылевые спирали присутствуют в 83% NLS и 63% BLS. 80% (8/10) из NLS с ядерными пылевыми спиралями имеют GD[1] ядерные

---

[1] *Ядерная пылевая спираль называется GD (Grand Design - с глобальной морфологией), если есть два раздельных симметричных спиральных рукава.*

спирали по сравнению с 32% (16/50) BLS. Остальные галактики имеют FL[1] ядерные спирали.

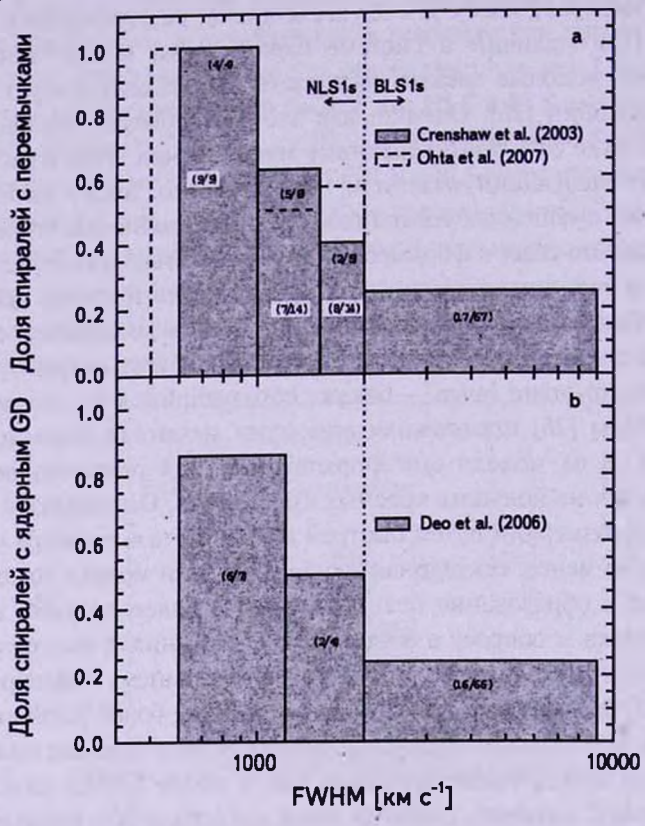

Рис.2. Гистограммы, представляющие долю спиральных галактик Sy1 a) с барами и b) с ядерными GD спиралями как функцию FWHM(Hβ), из работы [24].

Тот же результат (родительские галактики NLS имеют бары, пылевые ядерные спирали GD морфологии) был получен и в более поздней работе [24].

Идея о том, что именно ядерная морфология ответственна за характер активности в ядре, отнюдь не нова. Например, в [30] выдвигалось предположение, что темп аккреции может обеспечиваться питанием через бар. Более глубоко эта гипотеза была проработана в [4]. Там обосновывается гипотеза, что крупномасштабные бары ответственны за образование GD ядерной пылевой структуры. Питание NLS происходит через крупномасштабный бар, переносящий газ к центральному килопарсеку, что в свою очередь формирует GD ядерную спираль. В этой же работе сделаны два следующих крайне интересных утверждения. Первое заключается в

[1] *FLocculent - флоккулентная. У них присутствует число спиралей большее двух, а также облачка пыли и газа.*

том, что потенциал бара превосходит потенциал центрального объекта, и GD форма ядерных спиралей поддерживается потенциалом бара. Второе - ядерные пылевые спирали - наиболее распространенная морфология в центральных областях всех Сейфертовских галактик. Однако, у большинства BLS - многорукавные, флоккулентные или хаотические ядерные спирали.

Помимо вышеупомянутого, в NLS выше, чем в BLS доля ядерных звездных колец [4]. Вообще в Сейфертовских галактиках довольно часты околоядерные кольца, что ставит вопрос, не являются ли они наследием баров [30].

Много исследовался также вопрос о звездообразовании в NLS. По-видимому, тут имеется связь с морфологией центральных областей, а не с феноменом AGN и возможным feedback[1] от него.

В двух работах [9] были проанализированы данные ИК спектроскопии Spitzer. Основные результаты этих двух работ заключаются в том, что темп звездообразования выше у NLS, чем у BLS при той же светимости AGN и он выше для меньших ЧД и бóльших Эддингтоновских соотношений, что свидетельствует в пользу того, что рост ЧД и звездообразование эволюционно связаны.

Очень малые темпы звездообразования наблюдаются в галактиках с флоккулентными ядерными спиралями без бара, в то время как GD спирали демонстрируют звездообразование на внешних границах спиральных рукавов и в звездных ядерных кольцах [4]. А, как уже упоминалось, FL морфология характерна для BLS, GD - для NLS.

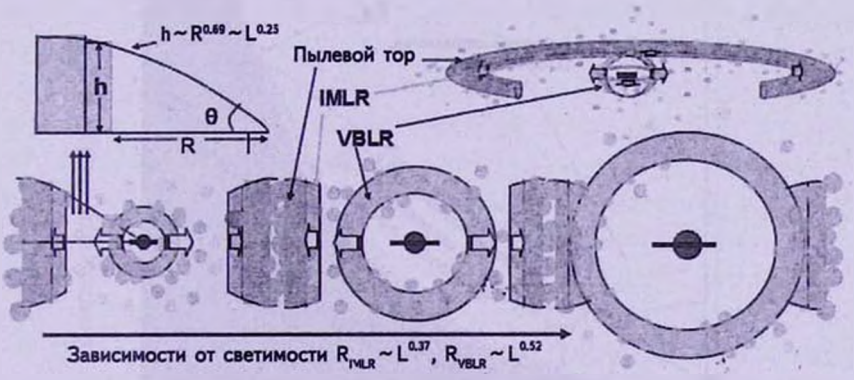

Рис.3. Схематическое изображение эволюции окрестности AGN. По мере увеличения массы СМЧД и светимости AGN, как *VBLR*, так и IMLR расширяются. Радиус *VBLR* растет быстрее, так что эти области имеют тенденцию к слиянию, изображение из работы [31]. Подробности в тексте.

3. *Активное ядро.*

3.1. *NLR, BLR, тор и диск*. Перейдем теперь к рассмотрению

[1] *Feedback, в переводе с английского - обратная связь.*

структуры центральных областей NLS. В настоящее время общепринятым является представление, что в центральных областях Сейфертовских галактик присутствуют следующие образования: тор, аккреционный диск, BLR, NLR. Рассмотрим их по порядку.

3.1.1. *Тор*. Работа [32] полностью посвящена моделированию пылевого тора. Авторы рассматривают модель "clumpy"[1] тора. В этой работе был получен результат, что соотношение между размером и светимостью в среднем ИК диапазоне хорошо согласуется с другими масштабными соотношениями для AGN - для внутреннего радиуса тора $r_{in} \propto (L_{AGN})^{0.5}$. Радиус области образования широких линий меньше, чем радиус внутренней границы тора - $r_{BLR} < r_{in}$ (см. также ссылки в этой работе). Кроме того, отношение между размером тора, определяемым по среднему ИК диапазону, и радиусом его внутреннего края составляет ~30.

Многие авторы, например [31] объясняют снижение доли AGN II с ростом светимости тем, что высота тора h растет медленнее, чем его диаметр по мере увеличения светимости активного ядра.

При рассмотрении вопроса о природе тора нельзя не упомянуть работу [33]. В модели авторов тор состоит из следующих компонент: 1) Тор, состоящий из отдельных облаков ("clumpy"); 2) Пылевые облака в области образования узких линий (NLR); 3) Очень горячие, состоящие из графита облака.

Горячая углеродная пыль находится на внутреннем крае тора, между

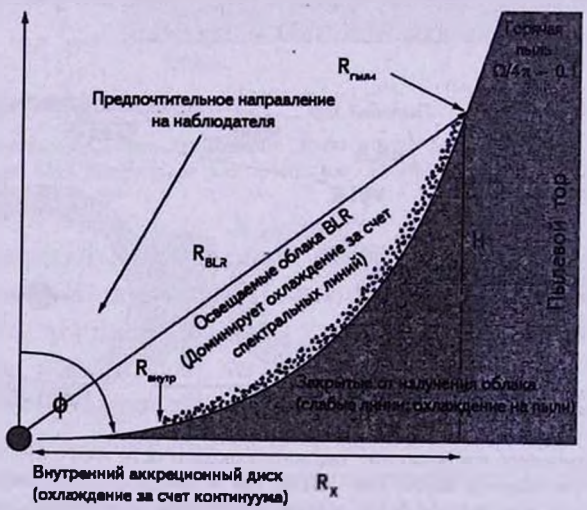

Рис.4. Схема геометрии тора по версии [34]. H - высота тора. R_{dust} - радиус горячей пыли. R_{BLR} - радиус области образования широких линий. R_{in} - внутренний радиус тора. $\Omega/4\pi \sim 0.1$ - covering factor (фактор покрытия).

---

[1]*Clumpy в переводе означает комковатый. В этой модели тор рассматривается как совокупность множества отдельных облаков газа.*

радиусами сублимации графита и кремния (температура сублимации кремния ниже и, следовательно, радиус сублимации выше). Химический состав основного тора: 53% - силикатная часть, 47% - графит. Любопытно, что, так как горячая пыль оптически толстая в УФ и оптике, то ее светимость есть мера фактора покрытия ("covering factor"). У NLS он в целом ниже, чем у BLS.

Интересное предположение о геометрии тора было сделано в работе [34] (см. рис.4, взятый из этой работы). По словам авторов, именно такая, "чашеобразная"[1] форма объясняет многие наблюдаемые свойства.

Нельзя не упомянуть здесь работы [35] и [36]. Авторы считают, что структура, которая обычно описывается как пылевой тор, скорее является истечением, вызванным давлением излучения активного ядра, чем квазистатическим тором. Эта картина напоминает истечения в звездных атмосферах. Данный вывод был сделан на основе результатов численного моделирования.

3.1.2. *Аккреционный диск*. Во многих работах было указано на различие в физических свойствах аккреционных дисков NLS и BLS. Так, например, в [30] было отмечено, что температура аккреционных дисков выше у NLS.

При приближении к Эддингтоновскому пределу диск "раздувается" световым давлением, что приводит к тому, что больший объем нагревается рентгеновским излучением. Это является (а) причиной генерации

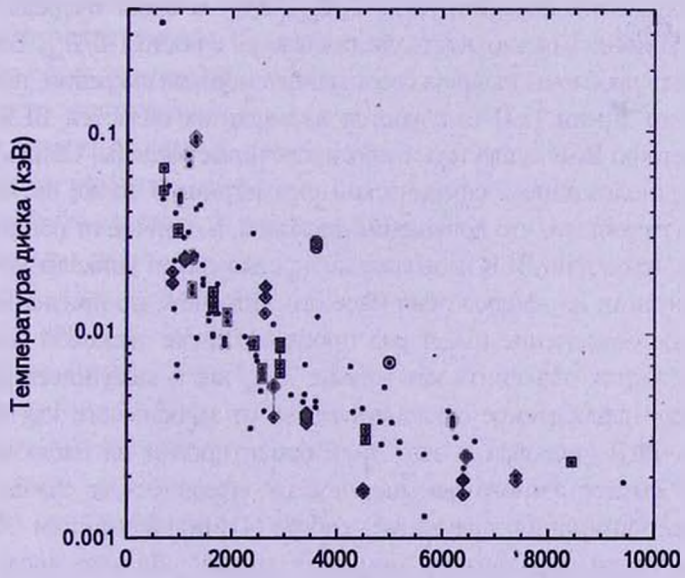

Рис.5. Максимальная температура аккреционного диска (кэВ), в зависимости от FWHM(Hβ) км/с. Рисунок из работы [37].

[1] *Авторы называют это bowl-shaped.*

наблюдаемой эмиссии FeII и (б) экранирует NLR от ионизирующего УФ излучения, что приводит к более слабой эмиссии в [OIII] [17]. Авторами работы [37] было обнаружено, что аккреционный диск является относительно спокойным, в то время как переменность в короне должна быть ответственна за широкополосную переменность спектра - α_{OX}[1]. На рис.5, взятом из этой работы, приведен график зависимости температуры диска от FWHM(Hβ). Наблюдается ярко выраженный тренд уменьшения температуры диска с ростом полуширины линии Hβ, таким образом, температура диска в NLS выше, чем в BLS. Причина может быть как в том, что масса ЧД с уменьшением FWHM(Hβ) уменьшается, так и в том, что внутренний край диска у NLS находится ближе к центральному объекту, что может быть вызвано вращением СМЧД (см. раздел 3.1.3.).

3.1.3. *BLR*. Как известно, структуры в активных ядрах галактик масштабируются со светимостью [32]. Так, $r_{BLR} \propto (L)^{0.5}$. Но, что интересно, светимости AGN в NLS и BLS одинаковые и схожими оказываются и R_{BLR} [21]. По словам авторов, ошибка в определении R_{BLR} составляет менее 40%, а M_{BH}~50%. Интересный результат был получен в [38]. NLS и BLS лежат на общем соотношении $R_{BLR} - \log\lambda L_{\lambda}(5100\text{Å})$, что говорит в пользу того, что физика BLR у них одинакова.

Плотность облаков BLR в NLS выше, чем в BLS, что следует из того факта, что у них выше отношение потоков FeII в оптике к УФ [39], кроме того это отношение коррелирует с L/L_{edd}. Это, в свою очередь, ведет к выводу, что колонковая плотность увеличивается с ростом L/L_{edd}. Более того, чтобы избежать проблемы наличия сверхэддингтоновской аккреции, необходимо допустить, что линии FeII излучаются из внешних областей BLR.

На геометрию BLR существуют противоречивые взгляды. Общепринятым является предположение о сферической симметрии. В то же время авторы работы [40] утверждали, что допущение дисковой, в отличие от общепринятой сферической, геометрии BLR позволяет полностью свести уникальные свойства NLS к ориентации на наблюдателя (face-on). Впрочем, по признанию самих авторов, такое объяснение имеет ряд проблем. Также дисковой геометрией BLR они пытаются объяснить как низкие M_{BH}, так и кажущиеся высокими L/L_{edd}, а также наблюдаемое отклонение NLS от зависимости $\log(M_{BH})$ - σ_*. Если форма BLR дисковая и этот диск ориентирован на наблюдателя, то масштабный фактор f много меньше, чем для сферического случая.

Отдельного внимания заслуживает работа [41] под названием "Динамика облаков в области образования широких линий". Данное исследование посвящено стабильности облаков в BLR и их орбит. При наличии сильного светового давления круговые орбиты становятся нестабильными, движение

---

[1] *Спектральный индекс оптика-рентген в диапазоне* 2500 Å – 2 *кэВ*.

облаков BLR происходит в таком случае по вытянутым эллипсам. На периферийных участках этих орбит облака излучают более узкие линии. Более того, вероятно, излучение от AGN анизотропно. В таком случае орбиты облаков BLR не могут лежать в экваториальной плоскости, а наклонены к ней. Суммарная сила, действующая на облака, тогда не является постоянной и орбиты представляют собой прецессирующие эллипсы. Авторами также рассмотрен механизм "pancake" (радиальное сжатие, азимутальное расширение плюс неустойчивость Кельвина-Гельмгольца) разрушения облаков. Однако разрушения облаков можно избежать путем включения в модель магнитного поля самих облаков.

NLS являются идеальным кандидатом для поиска эффекта запаздывания в рентгеновском диапазоне[1]. Авторами [42] был обнаружен этот эффект между мягким и жестким рентгеном. В оптическом диапазоне рассматривают запаздывание эмиссии в линиях по отношению к континууму, но, к сожалению, в рентгеновском диапазоне на сегодняшний день поиск этого эффекта возможен только в широких полосах. Обнаружение этого эффекта означает, что на расстояниях от нескольких десятков до нескольких сотен гравитационных радиусов (R_g) присутствует рассеивающее и поглощающее вещество.

Существование IMLR[2] было обосновано в работе [31]. Спектры были аппроксимированы двумя Гауссианами: IMGC[3] и VBGC[4]. Сначала при помощи метода эхо-картирования[5] вычисляли R_{VBLR}, затем по отношению ширин линий получали отношение R_{VBLR}/R_{IMLR}, откуда, в свою очередь, R_{IMLR}. С ростом светимости R_{VBLR} растет быстро, R_{IMLR} же гораздо медленнее, поэтому имеется тенденция к их слиянию. Эквивалентная ширина IMGC уменьшается с ростом яркости AGN, в то время как эквивалентная ширина VBGC не зависит от яркости AGN. Эквивалентная ширина линий является мерой фактора покрытия. Авторами работы сделан вывод, что VBLR обладает сферической геометрией, а IMLR - дисковой. Так как высота тора растет медленнее, чем радиус с ростом светимости, то фактор покрытия IMLR уменьшается. При дальнейшем росте светимости активного ядра IMLR и BLR могут слиться воедино (см. рис.3). Схема центральной машины, изображенная на этом рисунке, само собой, не является единственной.

Коснемся теперь вопроса о металличности вещества, составляющего BLR. Работа [43] посвящена изучению металличности у различных типов AGN. По словам авторов, NLS демонстрируют такой же уровень активности, как и BLS, но без широких линий в спектре. Результат заключается в

---

[1] *X-ray reverberation.*

[2] *InterMediate Line Region - области образования линий промежуточной ширины.*

[3] *Intermediate Gaussian Component - Гауссова компонента промежуточной ширины.*

[4] *Very Broad Gaussian Component - очень широкая Гауссова компонента.*

[5] *Reverberation Mapping.*

том, что металличность коррелирует со светимостью в континууме, массой ЧД и Эддингтоновским соотношением. Причем из второй зависимости NLS выпадают, лежа значительно выше общего тренда.

3.1.4. *NLR*. Если построить распределение V_{opt} (по узким линиям в оптике) от V_{gas} (скорость системы, определяемая по наблюдениям HI) получается, что среднее значение находится около нуля, но отрицательных значений больше. Объяснение этому - газ выдувается из системы [44]. Вывод данной работы был сделан по всей популяции Sy1, как NLS, так и BLS.

О наличии у линии [OIII] синих крыльев, свидетельствующих о истечении вещества из системы, говорилось еще в [2]. Если перенести отсчет скорости на линию [OII] λ3727 Å, то получится, что истечения в [OIII] λ5007 Å присутствуют, когда скорость, определяемая по линии FeII, принимает околонулевые значения. Это свидетельствует об ортогональности областей излучения этих линий. FeII излучается в диске, [OIII] в полярном коническом истечении. То есть некоторая доля NLS действительно наблюдается с полюса [3]. См. рис.10, взятый из [3].

По-видимому, свойства истечений, определяемые по поглощению в УФ диапазоне, схожи в NLS и BLS. Истечения в NLR также обладают сходными свойствами во всех типах Сейфертовских галактик (NLS, BLS, Seyfert 2) [45]. Форма линии [OIII] бывает двух типов: смещенное в синюю сторону основание, или смещенное в синюю сторону ядро. Интересно, что, если отбросить объекты со смещенным ядром линии, то NLS ложатся на зависимость M_{BH} - σ_* [46]. В работе [47] была исследована большая выборка NLS. Впервые авторы включили в PCA плотность NLR. EV1 сильно коррелирует плотностью, помимо L/L_{edd}. EV2 оказался связанным со светимостью и соответствует таковому из [48]. Плотность области образования узких линий у NLS ниже, чем у BLS.

Объекты со смещенными в коротковолновую сторону эмиссионными линиями ($V_{[OIII]} > 200$ км/с) были обнаружены с частотой встречаемости 17% в радиогромких NLS [49], что в 2.4 раза выше, чем в выборке радиотихих NLS. Такая высокая частота встречаемости объектов со смещением линий в коротковолновую сторону среди RL NLS может говорить о том, что взаимодействие джета с облаками вносит вклад или является доминирующим фактором.

В работе [50] металличность NLR по запрещенным линиям выше у NLS, чем у BLS. В работе [51] для одного из представителей класса NLS - NGC 4056 было получено, что область образования узких линий имеет геометрию двойного конуса, наблюдается истечение газа. Скорость газа сначала увеличивается по мере удаления из центра, потом снова уменьшается. Видимо, подобной же геометрией NLR обладают как NLS, так и BLS.

3.1.5. *H_2O Мазеры*. Общеизвестно, что мегамазеры могут исполь-

зоваться для определения с высокой точностью масс центральных ЧД. Это довольно редкий объект, присутствующий в ~10% Sy1.8 - 2. Но данная методика неприменима к Sy1 , так как в них мегамазеры наблюдаются не в дисках. Так, например, в работе [52] исследовался объект NGC5506. Ранее существовали проблемы с классификацией данного объекта, он предполагался относяшимся к типу Sy2. Однако по данным спектроскопии в ближнем ИК диапазоне авторами был обнаружен BLR и оказалось, что это самая яркая NLS и первый обнаруженный объект такого типа с сильным поглощением. Более того, в нем был обнаружен мегамазер. На необычность наличия мегамазера у объекта типа Sy1 было указано авторами. Еще одна крайне интересная работа была посвящена исследованию мазеров в NLS [53]. Изучение архивов VLA дало следующие результаты: у NGC 4051 мегамазер наблюдается в 5 пк (0".1) от ядра, он может находиться как в диске, так и в джете/ветре. Второй вариант, по утверждению авторов, предпочтительнее. У NGC 5506 положение мегамазера определено неточно, выводов сделать невозможно. Спектр мазера смещен в коротковолновую сторону, что говорит об истечении вещества. Диск наклонен под углом 40°, что не соответствует сценарию усиления мазера в диске. Видимо мазер связан с истечением вещества или джетом. Еще для трех объектов интерферометрические наблюдения отсутствуют.

Отметим, что в уже упоминавшейся работе [36] сделано предположение, что мазерное излучение может генерироваться в веществе, истекающем под действием инфракрасного излучения. Мазеры в NLS необходимо исследовать, на текущий момент нет даже окончательной ясности насчет областей их образования. Возможно, учитывая удивительно большую долю обнаружения мазеров в NLS, что эти явления каким-либо неизвестным на настоящий момент образом взаимосвязаны.

3.2. *Центральная машина.*

3.2.1. *Наблюдаемые проявления.* Как уже упоминалось, NLS и BLS обладают сравнимыми яркостями центрального источника.

Отдельного внимания заслуживает работа [54]. Авторами была предпринята успешная попытка масштабирования GBH[1] к черным дырам в AGN с целью изучения свойств последних. Неудачи предыдущих попыток масштабирования GBH к AGN объясняются неучетом значительного отличия в ширине распределения масс первых и вторых. Используя обоснованное наблюдениями логнормальное распределение масс ЧД для AGN, авторам удалось воспроизвести наблюдаемую зависимость α_{OX} от $L_{2500\text{Å}}$. Не вдаваясь в подробности, отметим, что в модели авторов

---

[1] *Galactic Black Holes - галактические чёрные дыры. Имеются в виду продукты звездной эволюции.*

LINERs соответствуют состоянию микроквазаров "hard-low" , а NLS - состоянию "soft-high"[1] (см. рис.6, взятый из этой работы). Другими словами, это подтверждает, что NLS аккрецируют около Эддингтоновского предела.

Касательно Эддингтоновского соотношения следует сделать одно замечание. Когда говорят об Эддингтоновском пределе, подразумевают случай сферически-симметричной аккреции, Томпсоновское рассеяние и прозрачную среду. В плотной среде на внутренние области не влияет излучение, но действует гравитация [3].

При аккреции около Эддингтоновского предела велико время охлаждения $t_{cooling}$, и энергия может уходить под горизонт событий, не успевая высвечиваться. Таким образом, процесс аккреции в радиогромких NLS может резко отличаться от такового в RLQ/BLRGs[2] [49].

Доля радиогромких NLS (RL NLS) среди NLS в целом меньше, чем доля RL QSO среди квазаров [55], но при этом они могут быть ярче в радио, чем обычные Sy1 [17]. RL NLS чаще всего компактные объекты, с крутым спектром, обладают общими свойствами с ранее известным классом CSS[3] и занимают верхнюю часть распределения M_{BH} для NLS. Также они находятся на ранее слабо заселенной области диаграммы M_{BH} - R, где R - параметр радиогромкости [8]. RL NLS являются самыми радиогромкими объектами в этом интервале масс ЧД и, по-видимому, представляют собой маломассивный хвост распределения по M_{BH} среди всех RL AGN [49].

RL NLS выделяются также своими свойствами в оптическом диапазоне. В [48] по выборке квазаров и Сейфертовских галактик, в том числе NLS, нашли, что радиогромкость статистически связана с "Eigenvector1" в том смысле, что квазары с сильной линией [OIII] и слабым излучением FeII чаще являются радиогромкими, в то время как объекты с сильной эмиссией в FeII и слабой в [OIII] имеют тенденцию быть радиотихими и иметь более узкую линию Hβ с асимметрией в синюю сторону. Также их континуум в оптике голубее, что, по-видимому, вызвано наличием нетепловой компоненты излучения от джета [49]. Отметим, что в [49] было получено, что RL NLS обладают бо́льшими отношениями FeII(4570)/Hβ, чем RQ NLS. Факты говорят о том, что RL NLS это просто NLS с релятивистскими джетами, во всех остальных смыслах они являются обычными NLS. Стоит здесь отметить также тот факт, что объекты с допплеровским усилением, т.е. ориентированные на наблюдателя, должны обладать самыми узкими линиями в случае принятия унифицированной схемы, что не наблюдается

---

[1] *Hard-low - состояние с низкой светимостью в рентгеновском диапазоне и жестким спектром. Soft-high - состояние с высокой светимостью и мягким спектром. Считается, что у QSO первое соответствует низкому темпу аккреции, а второе - высокому.*

[2] *Broad Line Radio Galaxies - радиогалактики с широкими линиями.*

[3] *Compact Steep Spectrum sources - компактные источники с крутыми спектрами.*

[55]. Рассмотрим теперь по порядку имеющиеся на настоящий момент признаки существования джетов в RL NLS.

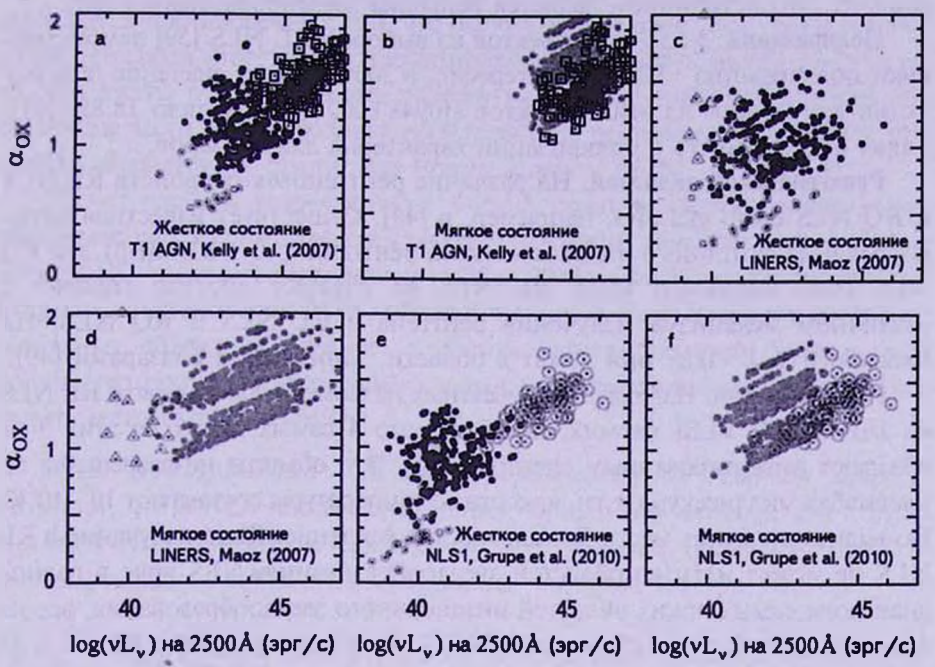

Рис.6. Сравнение свойств синтезированных спектров AGN с наблюдаемыми. Объекты в состоянии с жестким спектром обозначены черным цветом, с мягким - серым, с жестким рентгеновским спектром и пренебрежимо малым излучением от аккреционного диска обозначены пустыми кружками. (a-b) AGN 1-го типа, (c-d) LINERs, (e-f) NLS наложены на синтезированные состояния с жестким и мягким рентгеновскими спектрами AGN ($\log M_{BH}$ получены из распределения Гаусса). Наблюдаемые LINERs перекрываются с "жестким" состоянием, QSO 1-го типа и NLS перекрываются с "мягким" состоянием AGN. Взято из работы [54].

Быстрая оптическая переменность. Тот факт, что NLS демонстрируют оптическую переменность на масштабах дней, известно довольно давно [8]. Впервые быстрая переменность в течение ночи на масштабах часов была обнаружена в работе [56], по наблюдениям на 80 см телескопе в стандартных полосах B и R радиогромкой NLS. Поиску быстрой оптической переменности посвящена и работа [57] в которой авторы изучали выборку очень радиогромких галактик ($R > 100$). У двух из восьми исследовавшихся объектов микропеременность была обнаружена. Тот факт, что RL NLS более переменны в оптике, был отмечен также авторами работы [49].

γ -излучение. После запуска космического аппарата FERMI у многих NLS было обнаружено излучение в γ -диапазоне. До этого считалось, что только 2 класса объектов излучают в этом диапазоне, а именно, блазары и радиогалактики. Во время вспышки активности объект PMN J0948+0022 демонстрировал светимость 10^{48} эрг/с в диапазоне энергий 0.1 - 100 ГэВ,

что сравнимо с ярчайшими блазарами [58]. Более того, некоторые NLS демонстрируют переменность в γ-диапазоне [59], что полностью исключает вариант, что источником является вспышка звездообразования [60].

Поляризация. 3 из 7-ми объектов из выборки RL NLS [59] демонстрируют поляризацию ~1%. Что интересно, в 2009-ом году значение поляризации для одного из этих объектов (J0948+0022) составляло 18.8% [61]. Такая переменность в поляризации характерна для блазаров.

Рентгеновский диапазон. На различие рентгеновских свойств RL NLS и RQ NLS было указано, например, в [49]. Существует известная антикорреляция фотонного индекса мягкого рентгена Г с FWHM(Hβ) для RQ NLS (см., например [62]). RL NLS не следуют ей, что говорит о различном механизме излучения рентгена в RL NLS и RQ NLS. На плоскости $\alpha_{OX} - \alpha_{RO}$ они лежат в области, занимаемой блазарами [49].

Радиодиапазон. Наблюдения известных на момент 2007г. девяти RL NLS на JAPANESE VLBI network, показали, что 4 самых ярких из этих 9-ти обладают инвертированным спектром [63]. Эти объекты не разрешены на масштабах миллисекунд дуги, яркостные температуры составляют $10^7 - 10^9$ K. По-видимому, имеет место Допплеровское усиление. Радиоизлучение в RL NLS не может идти из областей звездообразования. NLS ярче в радиодиапазоне самых ярких областей интенсивного звездообразования, все из которых находятся в LIRG или ULIRG галактиках [55]. Все RL NLS из выборки [49] компактны, не разрешены в обзоре FIRST. Большинство объектов с известными спектральными параметрами имеют плоские спектры (1.4 - 5 ГГц). Несколько объектов демонстрируют инвертированные радиоспектры ($\alpha_r > 0$) около 5 ГГц и в сторону бóльших частот. Бóльшая часть объектов с плоскими спектрами демонстрируют значительную переменность, яркостная температура достигает порядка $t_b > 10^{11}$ K. Видимо, наблюдаемое объясняется релятивистским усилением.

Непосредственные наблюдения. Совсем недавно появились свидетельства непосредственного обнаружения килопарсековых джетов в NLS. Так, авторы работы [64] обнаружили протяженные радиоструктуры в трех NLS, увеличив число таких объектов до шести. Четыре из них имеют двусторонние радиоструктуры на масштабах килопарсек, одностороннюю морфологию джета на масштабах парсек. Все объекты, кроме одного, обладают морфологией с доминированием ядра (core-dominated).

Вернемся теперь к рассмотрению свойств джетов в NLS. На плоскости P_{jet}-L_{disk}/L_{edd} (мощность джета отношение светимости аккреционного диска к Эддингтоновской светимости) объекты GRP[1] и RPD[2] занимают различные

---

[1] *Gas Pressure Dominated- с доминированием газового давления. У таких объектов мощность джета зависит от темпа аккреции.*

[2] *Radiation Pressure Dominated - с доминированием давления излучения. У таких объектов мощность джета зависит от массы ЧД.*

области. BL Lac являются GPD, FSRQ и γ-NLS - RPD[1] [65].

Отдельно стоит обратить внимание на то, что джет образуется в спиральных системах, в противоречии с тем, что было известно ранее (см. [66] и ссылки далее). Подводя итог, можно процитировать работу [65]: "Даже несмотря на то, что джеты в γ-NLS очень похожи на таковые в блазарах, почти все остальные части AGN и родительской галактики различны. Это означает, что γ-NLS являются на самом деле новым классом AGN".

Насчет частоты встречаемости γ-NLS стоит привести сказанное на конференции "Сейфертовские галактики с узкими линиями и их место во вселенной"[2] в Бонне, Германия, в ноябре 2012 года: "Когда были впервые открыты рентгеновские AGN, обсуждалась их уникальность и отличия от остальных объектов. Позднее, с ростом чувствительности приемников количество таких объектов сильно возросло. Сейчас аналогичная ситуация имеет место быть с γ-AGN".

3.2.2. *Центральная СМЧД (Сверхмассивная Черная Дыра).* Результат, что в NLS массы центральных черных дыр меньше, чем в BLS, был получен во множестве независимых исследований, например [21,46]. В последней работе приведены следующие значения $\log M_{BH}$: NLS: 5.7 - 7.3 ($\langle\log M_{BH}\rangle = 6.5$); BLS: 6.5 - 8.4 ($\langle\log M_{BH}\rangle = 7.2$). График распределения по $\log M_{BH}$ и $\log L/L_{edd}$ для BLS и NLS из этой работы приведен на рис.7a и b. В недавней работе [67], посвященной объекту IRAS 01072+4954, делаются интересные выводы. Эта галактика демонстрирует рентгеновское излучение, характерное для Sy1, несмотря на отсутствие широких линий. Авторы

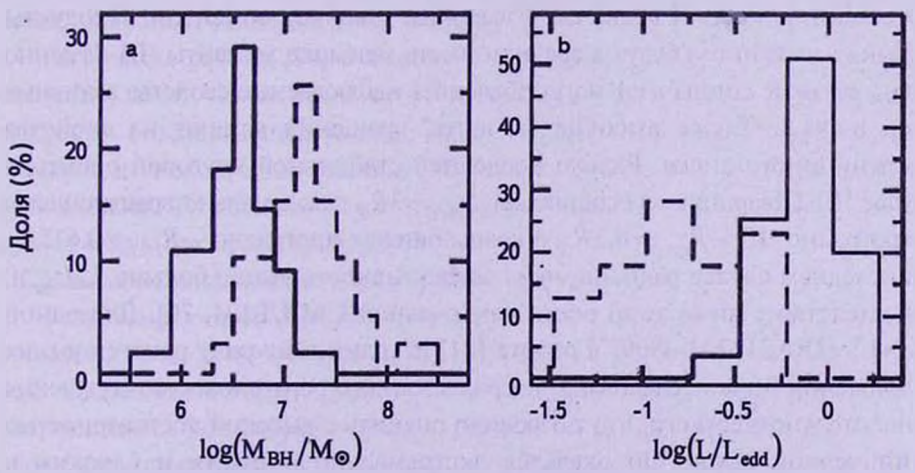

Рис.7. Гистограммы распределений масс СМЧД (слева) и Эддингтоновских соотношений (справа). NLS - сплошная линия, BLS - пунктирная. График взят из работы [46].

---

[1] *Там же см. подробнее о свойствах этих режимов, особенно с.10, формулы (5) и (6).*

[2] *Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe.*

дают оценку массы СМЧД $M_{BH} \sim 10^5 M_\odot$, верхний предел составляет $2.5\times10^6 M_\odot$. При такой массе ЧД ширина линий будет находиться в пределах 400 - 600 км/с, чем авторы и объясняют отсутствие наблюдаемых широких линий. Если оценка авторов справедлива, то данный объект представляет собой NLS с черной дырой промежуточной массы.

Вторым параметром, возможно определяющим свойства NLS, является вращение СМЧД. Ситуация осложняется тем, что оценка вращения СМЧД - это весьма затруднительная задача. Для этого требуются рентгеновские спектры высокого разрешения, позволяющие исследовать линию Kα. Про методику оценки спинов ЧД см., например, работу [68]. Упомянем, однако, работу, где авторы оценивали спины ЧД для выборки квазаров и объектов FRII на основе предположения, что спин зависит от мощности джета, массы ЧД и силы магнитного поля [69]. Предположение о связи вращения СМЧД со свойствами NLS было сделано многими авторами, но выводы зачастую делаются противоположные. Например, авторы работы [55] утверждают, что если аккреция раскручивает ЧД и ее вращение ответственно за запуск джета, то в среднем меньшая частота встречаемости радиогромких объектов среди NLS, чем среди обычных Сейфертовских галактик может говорить об их меньшем возрасте. То есть, в среднем, спины ЧД у NLS, по мнению авторов, меньше, чем у BLS. Более того, в таком случае более проэволюционировавшие NLS и, таким образом, лежащие ближе к зависимости $M_{BH}-\sigma_*$ должны быть более радиогромкими. Этот эффект авторами был обнаружен.

Многие авторы, напротив, утверждают, что ЧД в NLS обладают очень высоким моментом вращения. Приобретается он за счет секулярной эволюции, аккреции вещества с высоким угловым моментом. Продукты больших мержингов будут в среднем иметь меньшие моменты ЧД. Именно очень высокие спины $a \sim 1$ могут объяснить наблюдаемые свойства активных ядер в NLS. Также высокие моменты вращения влияют на свойства аккреционного диска. Радиус последней стабильной круговой орбиты в случае ЧД Шварцшильда составляет $R_{ISCO} \sim 3R_G$, максимально вращающейся ретроградно ЧД - $R_{ISCO} \sim 4.5R_G$, а вращающейся проградно - $R_{ISCO} \sim 0.615R_G$. В последнем случае радиационная эффективность выше, больше L/L_{edd} и, как следствие, ниже темп роста центральной СМЧД [24, 70]. Для одной из NLS (IRAS13224-3809) в работе [71] по длинному ряду рентгеновских наблюдений была исследована задержка мягкого рентгеновского излучения относительно жесткого, что позволило оценить с высокой достоверностью спин черной дыры. Он оказался экстремально высоким и близким к максимальному, что авторы связывают с секулярной эволюцией NLS.

В недавней статье [72] был оценен спин ЧД для NGC 1365, который оказался $a > 0.84$ с достоверностью 90%. Хотя авторы и не упоминают NLS в своей работе, масса ЧД составляет $M_{BH} \sim 2\times10^6 M_\odot$, что соответствует

таковым у NLS. Таким образом, хотя в современных публикациях прослеживается тенденция связывать свойства активности в NLS с быстрым вращением центральной ЧД, окончательной ясности по этому вопросу до сих пор нет. Аргументом в пользу того, что вращение ЧД играет роль в RL NLS, является тот факт, что RL NLS кроме джета ничем более не отличаются от RQ NLS. Радиомощность RL NLS соответствует таковой у объектов FRI [49]. Более того, ситуация осложняется тем, что существуют диаметрально противоположные точки зрения на взаимосвязь джета и момента вращения ЧД вообще. Приведем имеющие отношение к рассматриваемой проблеме выводы 2-х работ 2010 года.

Авторы первой из них [73] считают, что FRII обладают ретроградной, FRI - проградной аккрецией, у FRII эффективность джетов выше, чем у FRI. В проградных системах в состояниях HERG высока эффективность диска и, таким образом, у них присутствуют сильные ветры из диска. В ретроградных же системах и в LERG состояниях эффективность диска низка. Ветры тоже, соответственно, слабее. Системы с эффективными дисками обладают неэффективными джетами и наоборот. FRI HERG обладают низким проградным вращением. RQ AGN - проградные системы с *высоким спином*, радиативно эффективны. *Самые быстро вращающиеся радиативно эффективные системы являются самыми радиотихими.* В спиральных галактиках аккреция проградная. *Спиральные галактики должны быть более радиояркими, когда скорость вращения их ЧД ниже.* Переход от радиативно неэффективного состояния к радиативно эффективному режиму в проградных системах с высоким спином порождает короткоживуший, мощный, коллимированный джет, подобный наблюдаемому в μQSO.

Авторы же работы [74] считают, что проградная аккреция также может запустить джет, но он будет в ~30 раз слабее, чем в случае ретроградной аккреции. Должна существовать зона избегания от некоего отрицательного момента до некоего минимального положительного, где генерация джета невозможна. То есть *джеты в проградных системах образуются только в случае очень быстрого вращения.*

Взаимоисключающие моменты выделены курсивом.

Результирующий момент вращения ЧД в случае NLS есть результат совместного действия нескольких процессов - секулярной эволюции (в том числе малых мержингов), переработки момента вращения ЧД в энергию джета. Малые мержинги, по-видимому, необходимы для объяснения эволюции псевдобалджа в классический балдж, если принять гипотезу о эволюции NLS => BLS. Точка зрения кого из авторов, [73] или [74] справедлива, определяет возможные пути эволюции NLS. Окончательная ясность по этому вопросу, к сожалению, отсутствует.

4. *Функция светимости*. Функции светимости[1] активных галактик посвящено множество работ. Для квазаров LF, как правило, вычисляется в предположении, что вкладом излучения от родительской галактики можно пренебречь. В случае с Сейфертовскими галактиками приходится либо производить разделение фотометрическими методами, либо использовать для оценки светимости AGN эмиссионные линии. Различные авторы брали для этого запрещенную линию кислорода [OIII] λ5007 Å [75,76], или линии водорода, Hα и Hβ [77-79].

Функция светимости NLS была исследована в работе одного из авторов данной статьи [80]. Была использована методика, позволяющая учесть вариации плотности Вселенной из-за крупномасштабной структуры. Для вычисления светимости активного ядра использовалась линия [OIII]. Полученная функция светимости была пересчитана в Джонсоновскую полосу *B* для сравнения с результатами других работ. Как видно на рис.8, между результатами различных авторов существуют расхождения на много порядков, и наш результат для Sy1 находится между противоречащими друг другу результатами различных работ.

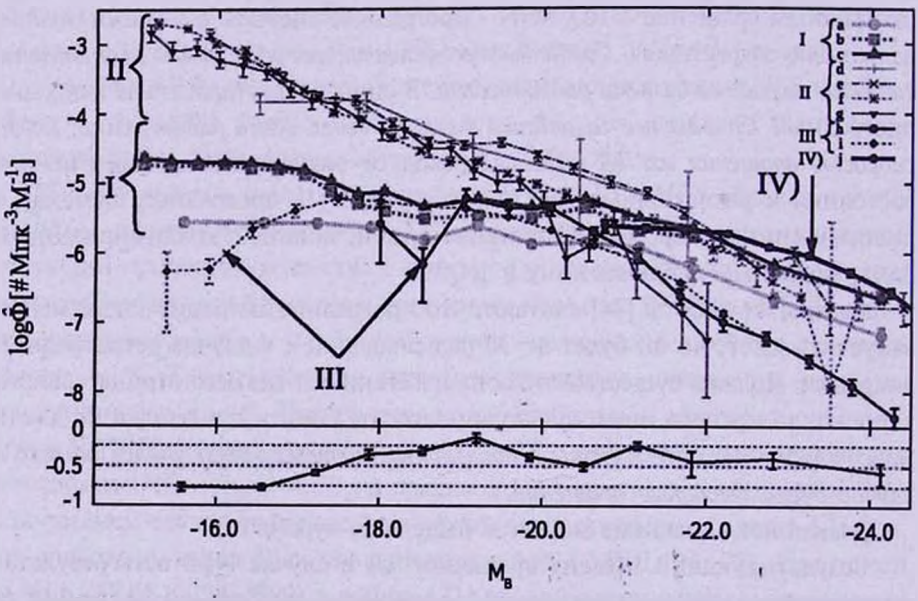

Рис.8. Функции светимости в полосе B, полученные конвертированием светимостей из [OIII] λ5007 Å или Hα. a, b, c) NLS, BLS, NLS+BLS по результатам [80] d) Type2 AGN, из [OIII] [76] e) Sy1 из [OIII] [75] f) Sy2 из [OIII] [75] g) Sy1+Sy2 из Hα [75] h) Sy1 из Hα [77] i) Sy1 из Hα [79] g) QSO, получена в полосе B [82]. Функции светимости поделены на следующие группы. Группа I-LF, полученные в работе [80]. Группа II - из работ [75] и [76]. Группа III-LF из работ [77] и [78]. Эти две группы выделены из-за хорошего согласия результатов между собой. IV - функция светимости для квазаров из [82]. Нижняя панель - логарифм отношения количества NLS к BLS.

[1] *Luminosity function, LF.*

Аргументом в пользу достоверности полученных результатов является то, что рентгеновская функция светимости, предсказываемая на основе полученной нами для Sy1 очень хорошо соответствует реально наблюдаемой (см. [80]).

Очень важным, на наш взгляд, является то, что отношение пространственных плотностей NLS и BLS не является постоянным. Зависимость данного соотношения от светимости отображено на нижней панели рис.8.

Этот результат перекликается с таковым из работы [47]. Авторами было получено, что распределения M_{BH} и L/L_{edd} для выборок NLS и BLS значительно отличаются. Математические ожидания светимостей NLS и BLS находятся в пределах погрешностей, однако дисперсии различны. Что существенно, распределение NLS значительно уже. По результатам [47] максимум доли NLS приходится на болометрическую светимость $\log L_{bol} = 44.64$, что соответствует $\log L_{[OIII]}/L_{\odot} = 7.4$.

На непостоянство отношения встречаемости NLS и BLS и на наличие пика при определенной светимости в оптическом и рентгеновском диапазонах было указано еще в работе [81].

5. *Масштабные соотношения.*

5.1. *Соотношение* $M_{BH}-\sigma_*$. Долгое время господствовало мнение, что соотношение $M_{BH}-\sigma_*$, где σ_* - дисперсия скоростей балджа, не выполняется для объектов типа NLS. В том смысле, что NLS лежат ниже основной зависимости ([21,83]).

Однако данный вопрос далек от своего окончательного решения. У NLS сильная эмиссия затрудняет оценку дисперсии скоростей непосредственно по абсорбционным линиям звезд. Вместо этого используются эмиссионные линии газа, например [OIII] $\lambda 5007$ Å и [SII] $\lambda 6716, 6731$Å. Еще в [21] было отмечено, что корреляция FWHM([OIII]) - σ_* является не очень тесной и ее достоверность для NLS, вообще говоря, не проверялась. Выше упоминалось о наличии истечений в линии [OIII] $\lambda 5007$ Å в NLS. Именно этот факт может быть ответственным за выпадение NLS из рассматриваемой зависимости. Так, в [46] было отмечено, что если брать дисперсию ядра линии [OIII] и исключать объекты с ярко выраженным синим смещением (истечениями) в этой линии, то NLS ложатся на соотношение $M_{BH}-\sigma_*$ для BLS и неактивных галактик.

Также NLS ложатся на зависимость $M_{BH}-\sigma_*$, если использовать другую спектральную линию, что было показано, например, в работах [8,46], использовавших для анализа линию [SII].

Вторым источником ошибок является неточность определения M_{BH}. Так, в подробно рассмотренной выше работе [31], было отмечено, что, если брать не всю ширину линии, а ширину только VBGC, то NLS ложатся ближе к зависимости $M_{BH}-\sigma_*$.

Проблема заключается не только в неточности измерений. Псевдобалджи не следуют зависимости $M_{BH}-\sigma_*$ для эллиптических галактик и классических

балджей [84], а именно такой тип балджей наблюдается у NLS.

Вообще говоря, физика взаимосвязи массы центральной ЧД и дисперсии скоростей неизвестна. В области, где измеряются σ_*, звезды в гораздо большей степени "чувствуют" гравитацию других звезд, чем центральной ЧД. Рядом авторов были сделаны предположения об отсутствии некоего физического механизма, ответственного за данную корреляцию. Что, возможно, соотношение $M_{BH}-\sigma_*$ является эффектом селекции, вызванным тем, что мы предпочтительнее наблюдаем объекты с бóльшими (из-за ограничений в разрешающей способности) радиусами влияния. Таким образом наблюдаемая зависимость представляет собой верхний предел [85].

Возможно также, что корреляция существует в действительности, но не является результатом действия какого-либо особого физического механизма, а лишь совместной сборки в ходе эволюции (см. [24] и ссылки в ней).

Отметим работу [86], посвященную AGN с маломассивными ЧД, где сделан вывод, что они лежат на продолжении зависимости $M_{BH}-\sigma_*$ для неактивных галактик.

До сих пор нет окончательной ясности, следуют ли NLS соотношению $M_{BH}-\sigma_*$ для неактивных галактик и AGN с широкими линиями.

5.2. *Соотношение* M_{BH} - L_{bulge}. Окончательная ясность в вопросе о соотношении M_{BH}-L_{bulge} применительно к NLS также отсутствует. Многими авторами было получено, что NLS лежат ниже зависимости для BLS, авторы работы [83] пытались объяснить это либо меньшими массами ЧД, либо меньшими соотношениями масса светимость (по причине более молодого звездного населения).

В [87] было высказано предположение, что отношение M_{BH}/M_{bulge} не является константой, т.е. зависимость M_{BH} от L_{bulge} - нелинейна. Там же было отмечено наличие корреляции M_{BH}/M_{bulge} с FWHM([OIII]).

Отклонение NLS от зависимости M_{BH} - L_{bulge} было подтверждено и в совсем недавних работах, например [88] по наблюдениям HST/ACS и [89].

Тем не менее, справедливости ради стоит отметить работу [38], авторами которой исследовалась выборка NLS с данными эхо-картирования. Результат заключается в том, что NLS и BLS лежат на общей зависимости, независимо от наличия/отсутствия бара и типа балджа. Соотношение M_{BH} - L_{bulge}, в силу малой дисперсии даже предложено автором как средство оценки масс ЧД. Бóльшая дисперсия соотношения у NLS объясняется более молодым звездным населением, пылью, баром и другими явлениями, снижающими точность фотометрии.

Очень категоричной точки зрения придерживаются авторы работы [90], что черные дыры вообще не коррелируют с псевдобалджами и галактическими дисками.

Подводя итог касательно масштабных соотношений между балджем и

черной дырой, упомянем работу [91]. Авторами была обнаружена активность в ядре галактики без балджа. Масса черной дыры составляет $M_{BH} > 2\times10^4 M_\odot$. Это в очередной раз свидетельствует в пользу того, что за рост черных дыр в галактиках поздних Хаббловских типов может быть ответственна секулярная эволюция.

5.3. *Прочие соотношения*. Рассмотрим теперь некоторые другие масштабные соотношения и корреляции между различными параметрами.

В работе [92] было обнаружено наличие корреляции M_{BH} - V_m, где V_m - максимальная вращательная скорость, полученная по наблюдениям нейтрального водорода HI. Однако, учитывая весьма значительную дисперсию полученных соотношений, можно предположить, что тут отсутствует физический механизм, а результат является следствием общих соображений: больше галактика - больше V_m и больше галактика - больше ЧД(в среднем). Такого же мнения придерживаются и авторы работы [93], что СМЧД в центрах галактик коррелируют только со свойствами балджей, и ни с чем другим.

Исследованию корреляции круговой скорости с M_{BH} посвящена также работа [94]. Результат, полученный авторами, заключается в том, что V_1 -

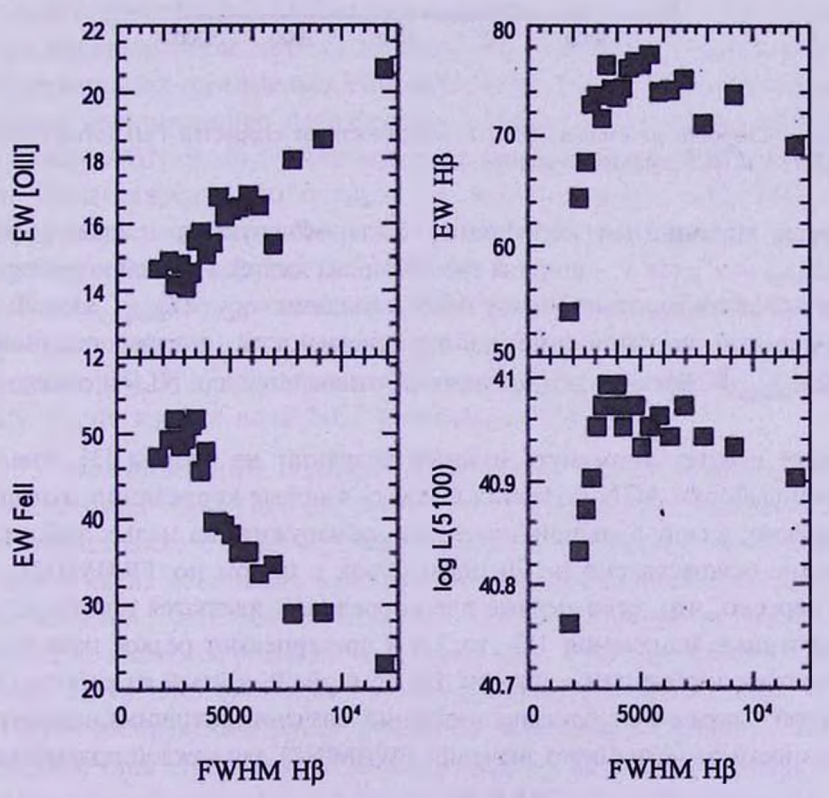

Рис.9. Четыре примера корреляций, обнаруживаемых при обработке большой выборки. График взят из работы [3].

круговая скорость на расстоянии 1 кпк тесно коррелирует с M_{BH}, в отличие от V_{flat} - скорости на бóльшем расстоянии, для которого корреляция гораздо менее тесная. Что в очередной раз подтверждает предположение о том, что свойства СМЧД коррелируют со свойствами центральных областей, а не галактики в целом.

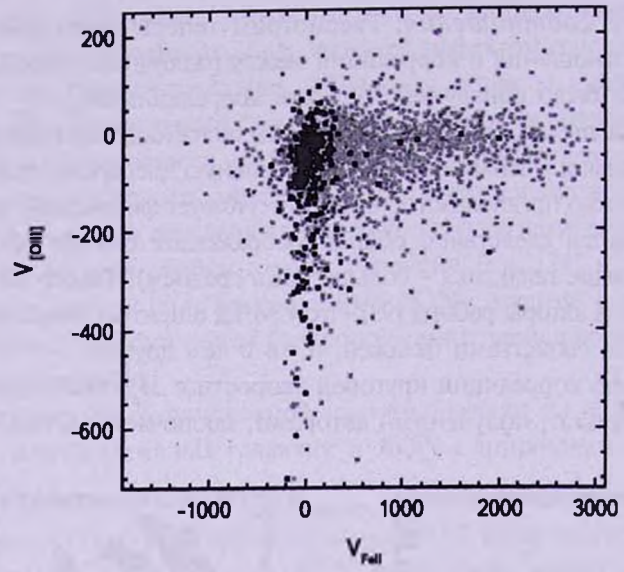

Рис.10. Скорости истечения [OIII] в зависимости от скоростей FeII (относительно [OII] λ3727Å). NLS выделены черным [3].

Новая любопытная корреляция была обнаружена в работе [89]: $M_{BH}/L_{buldge} \propto \nu^2$, где ν - ширина эмиссионных линий. Из этой корреляции следует новое соотношение между AGN и балджем: $r_{BLR} \propto L_{buldge}$. Используя эмпирическое соотношение радиус светимость, авторы получают: $L_{AGN} \propto (L_{buldge})^2$. Все эти соотношения не отличаются для NLS и остальных AGN.

Также следует упомянуть важный результат из работы [3]. Анализ большой выборки AGN позволил выявить 4 новые корреляции, которые невозможно, в силу большой дисперсии, обнаружить на малых выборках. Разбиение осуществлено на 20 подвыборок с шагом по FWHM(Hβ).

Интересно, что, если первые две корреляции являются плавными на всем интервале изменения Hβ, то 3 и 4 претерпевают резкое изменение при переходе к объектам с узкими Hβ (см. рис.9, взятый из работы [3]). На каждой диаграмме отображены медианные значения различных параметров в зависимости от медианного значения FWHM(Hβ) для каждой подвыборки.

6. *Млечный Путь и NLS.* Попробуем взглянуть на феномен NLS с другой точки зрения. Млечный Путь является спиральной галактикой

типа Sbc. Масса центральной сверхмассивной черной дыры составляет, по последним оценкам, $M_{BH} \sim 4\times10^6 M_\odot$ [95]. Спин этой черный дыры достаточно высок. Так, авторы [96], используя разработанный ими метод оценки спина ЧД по ИК-поляриметрии определили $a \geq 0.4$, что, по их словам, соответствует оценкам из других работ.

Центральный балдж по своим параметрам подходит под определение псевдобалджа. То есть Млечный Путь обладает характеристиками, присущими родительским галактикам NLS. Более того, по утверждению [97] он является сравнительно редким (~1.2%) типом спиральных галактик, прямым потомком галактик на $z = 1 - 2$ в силу того, что его эволюция была спокойной, без больших мержингов.

Но в текущую эпоху в ядре нашей галактики не наблюдается столь мощной активности, как у NLS. Тем не менее, возможные признаки таковой в прошлом присутствуют.

В работе [98] был обнаружен диск около центральной ЧД, состоящий из молодых звезд, возникновение которого было объяснено авторами как вспышка звездообразования в аккреционном диске. Из оценок возрастов звезд следует, что эта вспышка аккреции имела место 3-9 млн лет назад.

Более существенное подтверждение активности типа NLS в прошлом было получено после запуска лаборатории FERMI. В γ-диапазоне были обнаружены так называемые FERMI bubbles[1]. Работа [99] посвящена численному моделированию этого феномена. Наблюдаемое хорошо описывается вспышкой AGN около 1-2 млн лет назад, продолжительностью ~0.1 - 0.5 млн лет. Темп аккреции по оценкам авторов составлял $\sim 0.015 M_\odot$/год, а Эддингтоновское соотношение $L/L_{edd} \sim 0.16$. Высвобожденная суммарная энергия составила порядка $1-8\times10^{57}$ эрг.

Все же, какова вероятность того, что Млечный путь обладал в прошлом или будет обладать в будущем активностью тип NLS? Как было отмечено авторами [24], 2/3 локальных галактик обладают свойствами, подобными NLS, а уже из них доля NLS составляет ~9%.

7. *Эволюционный статус NLS.* Каков же эволюционный статус объектов типа NLS? Полный ответ на этот вопрос будет включать в себя что происходило с NLS в прошлом, каковы варианты их дальнейшей судьбы и какие механизмы, на каких масштабах управляют происходящими изменениями. Хотелось бы обратить особое внимание на то, что NLS отнюдь не являются редкими объектами. Так, в [81] авторами по данным обзора SDSS DR3 около 2000 активных галактик такого типа.

Один из предполагаемых вариантов возможного прошлого NLS это галактики типа LIRG, однако это было опровергнуто. NLS не претерпевали

---

[1] *В переводе это означает пузыри FERMI.*

больших мержингов, и эволюционируют они за счет секулярных процессов. В Сейфертовских галактиках наблюдающиеся истечения имеют энергию на несколько порядков ниже чем необходимо для эффективного feedback (см. [88] и ссылки в этой работе). Таким образом, о прошлом родительских галактик NLS можно сказать, что оно не отличается от прошлого обычных неактивных галактик соответствующих морфологических типов. Численные симуляции показывают, что галактики, в которых доминирует диск и $B/T<0.3$ имеют чрезвычайно спокойное прошлое, и в большинстве своем не претерпевали больших слияний со времени $z=2$ [100]. Неактивные на настоящий момент галактики могли в прошлом иметь неоднократные эпизоды активности типа NLS, которые не оставили никаких следов на родительской галактике, в силу крайне неэффективного feedback.

Дальнейшая же судьба может развиваться по 2-м сценариям. Если произойдет большое слияние, эволюция галактики пойдет по пути ULIRG => IR QSO => QSO, конечным продуктом будет являться эллиптическая галактика. Впрочем, опять же следует отметить, что такая судьба ожидает любую спиральную галактику в случае большого слияния, независимо от того, есть ли в ее ядре активность на этот момент или нет. В случае же отсутствия больших слияний, дальнейшее будет зависеть от частоты малых слияний, а также их параметров. Не следует забывать и про внутреннюю секулярную эволюцию, которая вполне способна питать активные ядра в Сейфертовских галактиках.

По-видимому, в реальности реализуются варианты эволюции NLS => BLS с различной частотой малых слияний, что влияет на морфологию балджа. Временной интервал роста ЧД в NLS до BLS составляет порядка 10^5 лет [87], что, в принципе, соответствует времени роста балджа за счет малых мержингов [21].

В подтверждение того, что галактика за время своего существования может проходить стадию активного ядра несколько раз, приведем результаты работы [101]. Был подробно изучен объект GSN 069 где, по мнению авторов, на наших глазах происходит смена режима AGN и формируется BLR.

Секулярная эволюция приводит к переносу углового момента к ЧД, что может служить объяснением наблюдаемых свойств. Факты достоверного обнаружения в NLS быстровращающихся ЧД подтверждают предположение о том, что NLS в прошлом эволюционировали за счет секулярных процессов [24].

Таким образом, если эволюция крупномасштабной структуры родительской галактики при переходе NLS => BLS, по-видимому, не несет в себе никаких неожиданностей, как и эволюция крупномасштабного балджа, то изучение центральных областей, динамики газа, пыли, остаточных звездных структур после вспышки звездообразования может пролить свет

на механизм работы секулярной эволюции.

Интересным является вопрос о стабильности различных околоядерных звездных образований при малых мержингах. И если индекс Серсика у BLS действительно позволяет определить, происходили ли мержинги при переходе NLS => BLS, то мы имеем возможность изучить этот вопрос путем исследования центральных областей NLS и BLS с высоким разрешением.

Коснемся теперь, вкратце, так как это не тема данного обзора, роли секулярной эволюции во Вселенной. В силу того, что количество спиральных галактик превосходит количество эллиптических, секулярная эволюция, по-видимому, является доминирующим механизмом роста СМЧД в нашу эпоху [88]. Как мы уже упоминали, около 6% галактик в локальной вселенной подобны NLS, в том смысле, что их активность связана с секулярной эволюцией [24].

Касательно NLS, было выдвинуто предположение, что они являются аналогами QSO на низких красных смещениях, являясь молодыми Сейфертовскими галактиками в начале своего эволюционного пути. И что они являются аналогами квазаров на низких z с малыми светимостями (см, например, [102]). Весьма занятно, на наш взгляд, что появляется все больше подтверждений тому, что в действительности имеет место быть диаметрально противоположная ситуация. NLS, как было рассмотрено выше, претерпевают секулярную эволюцию. И появляется все больше работ, посвященных тому, что и на больших z секулярная эволюция также играет важную роль наряду с мержингами богатых газом галактик.

Так, например, [103] обнаружили, что галактики с интенсивным звездообразованием на $z=2$ имеют кардинальное отличие от таковых на $z=0$. Если в локальной вселенной мощные вспышки звездообразования вызваны мержингами, то SF галактики на $z=2$, несмотря на хаотичную морфологию в оптике, обладают регулярной кинематикой, т.е. вспышка звездообразования не есть результат слияний, а связана с аккрецией газа вдоль филаментов. Эти явления авторы также называют секулярными процессами. В подтверждение тому можно привести результаты еще двух работ. Авторы работы [104] обнаружили, что среди родительских галактик RQ QSO высока доля систем со спиральной морфологией. У многих наблюдается молодое звездное население. А в работе [105] провели анализ данных HST WFC3 в ИК-диапазоне и обнаружили, что на $z=1.5-3$ у родительских галактик AGN высока доля дисковых систем. А в работе [106] авторы показали, что в галактиках с комковатыми дисками с большей вероятностью наблюдается активное ядро. Причем нестабильность возникает за счет аккреции газа, а не за счет слияний.

Все это, впрочем, неудивительно, так как по результатам последних исследований эллиптические галактики стали доминировать среди массивных

систем только с $z \sim 2$ [107].

Для питания активности ядра Сейфертовской галактики достаточно массы нескольких гигантских молекулярных облаков, в то время как для питания яркого квазара нужно перекачать весь газ галактики в центральные 10 - 100 пк. Частота слияний богатых газом галактик возрастает к $z > 2$, в то время как секулярные процессы остаются относительно постоянными [108]. К слову, в недалеком будущем нам предстоит наблюдать пролет около центра нашей галактики и, по-видимому, разрушение молекулярного облака [109]. Это, по всей видимости, вызовет вспышку активности в Sgr A.

Однако, любопытный результат был получен в работе [110]. Как выяснилось, родительская галактика исследованного авторами яркого квазара отнюдь не является богатой газом спиралью. Наблюдается слияние бедной газом галактики, где и присутствует квазар и богатой газом, где мержинг индуцировал вспышку звездообразования. Авторы предполагают, что многие системы, где квазар наблюдается в богатой газом галактике, на самом деле могут быть мержингами такого типа.

Авторы данного обзора полагают, что, помимо существующих классов активных ядер - AGNI и AGNII следует выделить новый класс - AGNIII. Определяющими свойствами этого класса являются малые массы черных дыр, высокие Эддингтоновские соотношения, родительские галактики поздних Хаббловских типов с псевдобалджами. NLS в этом смысле являются типичными представителями этого нового класса активных объектов. Подробнее см. работу [111].

8. *Выводы*. Определяющими спектральными свойствами NLS, выделяющими их в особый класс объектов, являются: в оптике - сильная линия FeII, слабая линия [OIII], узкая разрешенная линия Hβ (< 2000 км/с). В рентгеновском диапазоне они обладают крутыми спектрами, быстрой переменностью в мягком рентгене.

Родительские галактики NLS принадлежат к более поздним типам, чем BLS, средний Хаббловский тип составляет 3.0 и 1.0 соответственно (Sb и Sa). У NLS выше доля баров, ядерных колец. Для NLS характерна "Grand Design" морфология ядерных пылевых спиралей, бóльший темп звездообразования. Важным моментом является то, что в родительских галактиках NLS наблюдаются псевдобалджи.

Касательно вопроса о том, лежат ли NLS на зависимостях $M_{BH} - \sigma_*$ и $M_{BH} - M_{bulge}$ нет окончательной ясности. Вполне возможно, что дело просто в том, что псевдобалджи не следуют масштабным соотношениям для классических балджей и сферических компонент.

Центральная область в NLS, по-видимому, состоит из тех же структур, что и у BLS, а именно: тор, BLR, аккреционный диск, NLR. Различия между NLS и BLS вызваны меньшими массами ЧД, более высокими L/L_{edd} и,

возможно, бо́льшими скоростями вращения ЧД.

В довольно значительной доле NLS обнаружены H_2O мазеры. Местоположение мазеров в NLS достоверно не известно, возможно они излучаются в истечениях или в областях взаимодействия джета с веществом.

В некоторых NLS присутствуют релятивистские джеты, излучающие в широком диапазоне от радио до гамма, что роднит их с объектами типа BL Lac. Образование джетов в подобных системах требует изучения, так как до недавнего времени считалось, что джеты образуются преимущественно в галактиках ранних типов. Возможно, что образование джетов в данном случае связано с процессами, обусловленными присутствием в ядрах NLS быстровращающихся массивных черных дыр.

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.

NLS не являются ни редкими, ни уникальными объектами. То, что они попали под пристальное внимание исследователей сравнительно недавно связано с ограничениями астрономических инструментов и с историческими причинами. Но понимание механизмов, работающих в ядрах NLS, крайне необходимо для создания теории активных ядер в целом.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта в форме субсидий в рамках реализации федеральной целевой программы Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013гг. (соглашение № 8405), а также Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-2915.2012.2 Образование крупномасштабной структуры Вселенной и космологические процессы) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН П-21 Нестационарные явления в объектах Вселенной.

Астрокосмический центр Учреждения Российской Академии Наук
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
Россия, e-mail: aermash@gmail.com bkomberg@asc.rssi.ru

REVIEWS

MORPHOLOGY AND EVOLUTIONARY STATUS OF NARROW LINE SEYFERT GALAXIES

A.A.ERMASH, B.V.KOMBERG

This work is a review of publications dedicated to the Narrow Line Seyfert 1 Galaxies (NLS). They are considered as a complex of multiple structures and factors and as a result of interaction of different processes, such as place in large-scale structure, morphology of the host galaxy both as a whole and in circumnuclear area, Broad Line Region and it's structure, Narrow Line Region, accretion disk, jet, nuclear outflows, black hole rotation et cetera. Special attention is paid to the current picture of evolution of objects of this type. It is shown that main difference between NLS and other types is in morphology of the cirumnuclear area and in parameters of the central engine. NLS host pseudobulges formed via secular evolution and they also show more regular morphology of nuclear dust spirals. The presence of pseudobulges explains why NLS do not lie on the well-known scaling relations for galaxies with classical bulges. It seems that black holes in this type of objects are undermassive and have high spins, which in turn affects the efficiency of the jet launch.

Key words: *galaxies: active nuclei: Narrow-Line Seyfert galaxies*

ЛИТЕРАТУРА

1. *D.E.Osterbrock*, *R.W.Pogge*, Astrophys. J., **297**, 166, 1985.
2. *M.-P.Véron-Cetty*, *P.Véron*, *A.Gonçalves*, Astron. Astrophys., **372**, 730, 2001.
3. *T.Boroson*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **003**, edited by L.Foschini et al., 2011.
4. *R.P.Deo*, *D.M.Crenshaw*, *S.Kraemer*, Astron. J., **132**, 321, 2006.
5. *D.Grupe*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **004**, edited by L.Foschini et al., 2011.
6. *B.M.Peterson*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **032**, edited by L.Foschini et al., 2011.
7. *D.Dultzin*, *M.L.Martinez*, *P.Marziani et al.*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe,

PoS(NLS1) **012**, edited by L.Foschini et al., 2011.
8. *S.Komossa*, RevMexAA (Serie de Conferencias), **32**, 86, 2008.
9. *E.Sani*, *D.Lutz*, *G.Risaliti*, *H.Netzer*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **403**, 1246, 2010.
10. *C.Ricci*, *R.Walter*, *S.Paltani*, *T.J.-L.Courvoisier*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **021**, edited by L.Foschini et al., 2011.
11. *W.Ishibashi*, *T.J.-L.Courvoisier*, Astron. Astrophys., **512**, A58, 2010.
12. *R.W.Pogge*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **002**, edited by L.Foschini et al., 2011.
13. *F.Panessa*, *A. de Rosa*, *L.Bassani et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **417**, 2426, 2011.
14. N.Castelló-Mor, *X.Barcons*, *L.Ballo et al.*, Astron. Astrophys., **544**, 48, 2012.
15. *L.C.Ho*, *A.V.Filippenko*, *W.L.W.Sargent*, Astrophys. J., **583**, 159, 2003.
16. *Y.Krongold*, *D.Dultzin-Hacyan*, *P.Marziani*, Astron. J., **121**, 702, 2001.
17. *D.J.Whalen*, *S.A.Laurent-Muehleisen*, *E.C.Moran*, *R.H.Becker*, Astron. J., **131**, 1948, 2006.
18. *A.Burkert*, *S.Tremaine*, Astrophys. J., **720**, 516, 2010.
19. *W.E.Harris*, *S. van den Bergh*, Astron. J., **86**, 1627, 1981.
20. *L.Slavcheva-Mihova*, *B.Mihov*, Astron. Astrophys., **526**, A43, 2011.
21. *V.Botte*, *S.Ciroi*, *P.Rafanellin*, *F.D.Mille*, Astron. J., **127**, 3168, 2004.
22. *J.Kormendy*, *R.C.Kennicutt*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **42**, 603, 2004.
23. *D.B.Fisher*, *N.Drory*, Astron. J., **136**, 773, 2008.
24. *G.Orban de Xivry*, *R.Davies*, *M.Schartmann et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **417**, 2721, 2011.
25. *M.C.Eliche-Moral*, *M.Balcells*, *J.A.L.Aguerri*, A.C.Gonzçlez-Garcia, Astron. Astrophys., **457**, 91, 2006.
26. *P.Coelho*, *D.A.Gadotti*, Astrophys. J. (Letters), **743L**, 13, 2011.
27. *S.Inoue*, *T.R.Saitoh*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **422**, 1902I, 2012.
28. *T.Okamoto*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **428**, 718, 2013.
29. *J.Shen*, *J.A.Sellwood*, in Coevolution of Black Holes and Galaxies, from the Carnegie Observatories Centennial Symposia. Carnegie Observatories Astrophysics Series, edited by L.C.Ho (Pasadena: Carnegie Observatories, 2003).
30. *D.M.Crenshaw*, *S.B.Kraemer*, *J.R.Gabel*, Astron. J., **126**, 1690, 2003.
31. *K.R.W.Tristram*, *M.Schartmann*, Astron. Astrophys., **531**, 99, 2011.
32. *L.Zhu*, *S.N.Zhang*, *S.Tang*, Astrophys. J., **700**, 1173, 2009.
33. *R.Mor*, *H.Netzer*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **011**, edited by L.Foschini et al., 2011.
34. *M.R.Goad*, *K.T.Korista*, *A.J.Ruff*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **426**, 3086, 2012.
35. *A.Dorodnitsyn*, *G.S.Bisnovatyi-Kogan*, *T.Kallman*, Astrophys. J., **741**, 29, 2011.
36. *A.Dorodnitsyn*, *T.Kallman*, *G.S.Bisnovatyi-Kogan*, Astrophys. J., **747**, 8, 2012.
37. *R.Vasudevan*, *L.Gallo*, *D.Robertson*, *K.Fulford*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Uni-

verse, PoS(NLS1) **007**, edited by L.Foschini et al., 2011.
38. *M.Bentz*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **033**, edited by L.Foschini et al., 2011.
39. *H.Sameshima, K.Kawara, Y.Matsuoka et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **410**, 1018, 2011.
40. *R.Decarli, M.Dotti, M.Fontana, F.Haardt*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **386**, L15-L19, 2008.
41. *M.Krause, A.Burkert, M.Schartmann*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **411**, 550, 2011.
42. *L.Miller, T.J.Turner*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **019**, edited by L.Foschini et al., 2011.
43. *D.M.Neri-Larios, R.Coziol, J.Torres-Papaqui et al.*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **065**, edited by L.Foschini et al., 2011.
44. *L.C.Ho, J.Darling, J.E.Greene*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **177**, 103, 2008.
45. *D.M.Crenshaw, T.C.Fischer, S.B.Kraemer, H.R.Schmitt*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **027**, edited by L.Foschini et al., 2011.
46. *D.Xu, S.Komossa*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **006**, edited by L.Foschini et al., 2011.
47. *D.Xu, S.Komossa, H.Zhou et al.*, Astron. J., **143**, 15, 2012.
48. *T.Boroson*, Astrophys. J., **565**, 78, 2002.
49. *W.Yuan, H.Y.Zhou, S.Komossa et al.*, Astrophys. J., **685**, 801, 2008.
50. *T.Nagao, T.Murayama, Y.Shioya, Y.Taniguchi*, Astrophys. J., **575**, 721, 2002.
51. *T.C.Fischer, D.M.Crenshaw, S.B.Kraemer, H.R.Schmitt*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **050**, edited by L.Foschini et al., 2011.
52. *N.M.Nagar, E.Oliva, A.Marconi, R.Maiolino*, Astron. Astrophys., **391**, L21-L24, 2002.
53. *A.Tarchi, P.Castangia, A.Columbano et al.*, Astron. Astrophys., **532**, 125, 2011.
54. *M.Sobolewska, A.Siemiginowska, M.Gierlinski*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **413**, 2259, 2011.
55. *S.Komossa, W.Voges, D.Xu*, Astron. J., **132**, 531, 2006.
56. *H.Liu, J.Wang, Y.Mao, J.Wei*, Astrophys. J. (Letters), **715**, L113, 2010.
57. *J.D.Maune, H.R.Miller, J.R.Eggen*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **059**, edited by L.Foschini et al., 2011.
58. *L.Foschini, E.Angelakis, L.Fuhrmann et al.*, Astron. Astrophys., **548**, 106, 2012.
59. *J.R.Eggen, H.R.Miller, J.D.Maune*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **049**, edited by L.Foschini et al., 2011.
60. *G.Calderone*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1

Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **045**, edited by L.Foschini et al., 2011.
61. *Y.Ikejiri, M.Uemura, M.Sasada et al.*, Publ. Astron. Soc. Jap., **63**, 639, 2011.
62. *G. La Mura, S.Ciroi, V.Cracco et al.*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **056**, edited by L.Foschini et al., 2011.
63. *A.Doi, K.Fujisawa*, Publ. Astron. Soc. Jap., **59**, 703, 2007.
64. *A.Doi, H.Nagira, N.Kawakatu et al.*, Astrophys. J., **760**, 41, 2012.
65. *L.Foschini*, RAA, **11**, 1266F, 2011.
66. *F.D'Ammando*, e-Print arXiv:1012.1120v1 [astro-ph], 2010.
67. *M.Valencia-S., J.Zuther, A.Eckart et al.*, Astron. Astrophys. **544**, 129, 2012.
68. *Y.Wang, X.-D.Li*, Astrophys. J., **744**, 186, 2012.
69. *R.A.Daly*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **414**, 1253, 2011.
70. *A.Patrick, J.Reeves, A.Lobban et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **416**, 2725, 2011.
71. *A.Fabian, E.Kara, D.Walton et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **429**, 2917, 2013.
72. *G.Risaliti, F.A.Harrison, K.K.Madsen et al.*, NATURE, **494**, 449, 2013.
73. *D.Garofalo, D.A.Evans, R.M.Sambruna*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **406**, 975, 2010.
74. *M.Dotti, M.Colpi*, ASPCS, **427**, 19, 2010.
75. *L.Hao, M.A.Strauss, X.Fan et al.*, Astron. J., **129**, 1795, 2005.
76. *A.Bongiorno, M.Mignoli, G.Zamorani et al.*, Astron. Astrophys., **510**, 56, 2010.
77. *A.Schulze, L.Wisotzki, B.Husemann*, Astron. Astrophys., **507**, 781, 2009.
78. *J.E.Greene, L.C.Ho*, Astrophys. J., **667**, 131, 2007.
79. *J.E.Greene, L.C.Ho*, Astrophys. J., **704**, 1743, 2009.
80. *А.А.Ермаш*, Астрон. ж., **90**, 1, 2013.
81. *H.Zhou, T.Wang, W.Yuan et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **166**, 128, 2006.
82. *S.M.Croom, R.J.Smith, B.J.Boyle et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **349**, 1397, 2004.
83. *S.Mathur, J.Kuraszkiewicz, B.Czerny*, New Astronomy, **6**, 321, 2001.
84. *D.A.Gadotti*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **393**, 1531, 2009.
85. *D.Batcheldor*, Astrophys. J., **711**, L108, 2010.
86. *T.Xiao, A.J.Barth, J.E.Greene et al.*, Astrophys. J., **739**, 28, 2011.
87. *W.-H.Bian, Y.-H.Zhao*, Publ. Astron. Soc. Jap., **55**, 143, 2003.
88. *S.Mathur*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **035**, edited by L.Foschini et al., 2011.
89. *A.Wandel*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **042**, edited by L.Foschini et al., 2011.
90. *J.Kormendy, R.Bender, M.E.Cornell*, NATURE, **469**, 374, 2011.
91. *C.Araya Salvo, S.Mathur*, Astrophys. J., **757**, 179, 2012.
92. *L.C.Ho, J.Darling, J.E.Greene*, Astrophys. J., **681**, 128, 2008.

93. *J.Kormendy, R.Bender*, NATURE, **469**, 377, 2011.
94. *А.В.Засов, Л.Н.Черепащук*, А.М.Катков, Астрон. ж., **88**, 648, 2011.
95. *A.M.Ghez, S.Salim, N.N.Weinberg et al.*, Astrophys. J., **689**, 1044, 2008.
96. *M.Zamaninasab, A.Eckart, M.Dovciak et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **413**, 322, 2011.
97. *F.Hammer, M.Puech, H.Flores et al.*, in Assembling the Puzzle of the Milky Way, EPJ Web of Conferences, Volume 19, id.01004, edited by C.Reyle et al., 2012.
98. *Y.Levin, A.M.Beloborodov*, Astrophys. J., **590**, L33-L36, 2003.
99. *F.Guo, W.G.Mathews*, Astrophys. J., **756**, 181G, 2011.
100. *M.Martig, F.Bournaud, D.Croton et al.*, Astrophys. J., **756**, 26, 2012.
101. *R.Saxton, A.Read, P.Esquej, G.Miniutti*, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) **008**, edited by L.Foschini et al., 2011.
102. *S.Mathur*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **314**, L17, 2000.
103. *R.Dave*, EAS, **52**, 35, 2011.
104. *G.Letawe, P.Magain, F.Courbin et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **378**, 83, 2007.
105. *K.Schawinski, E.Treister, C.M.Urry, C.N.Cardamone*, Astrophys. J. (Letters), **727**, L31, 2011.
106. *F.Bournaud, S.Juneau, E. Le Floc'h et al.*, Astrophys. J., **757**, 81, 2012.
107. *F.Buitrago, I.Trujillo, C.J.Conselice, B.Haeussler*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **428**, 1460, 2013.
108. *P.F.Hopkins, L.Hernquist*, Astrophys. J., **694**, 599, 2009.
109. *M.Schartmann, A.Burkert, C.Alig et al.*, Astrophys. J., **755**, 155, 2012.
110. *P.P.Papadopoulos, I.J.Feain, J.Wagg, D.J.Wilner*, Astrophys. J., **684**, 845, 2008.
111. *Б.В.Комберг, А.А.Ермаш*, Астрон. ж., **90**, 443, 2013.