

Препринт

В печать, в свет

Руководитель АКЦ ФИАН,  
академик Кардашев Н.С.

Морфология и эволюционный статус  
активных галактик типа NLSy1.

Б. В. Комберг, А. А. Ермаш<sup>1</sup>

Астрокосмический центр Учреждения Российской академии наук  
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
117997, ул. Профсоюзная, 84/32, Москва, Россия

Москва 2011

---

<sup>1</sup>e-mail:aermash@gmail.com

## **Аннотация**

Данная работа представляет собой обзор публикаций, посвящённых 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 околядерной области, структура BLR (области образования широких линий) и NLR (области образования узких линий), аккреционный диск, джеты, околядерные истечения, вращение сверхмассивной чёрной дыры и др. Отдельное внимание уделено текущим представлениям об эволюционном статусе объектов данного типа.

# 1 Вопрос классификации

Впервые термин "NLS" — Narrow Line Seyferts, что в переводе означает "Сейфертовские галактики с узкими линиями" был определён в работе (Osterbrock, Pogge, 1985). Определяющей характеристикой было обозначено сходство с Sy1 во всём, кроме ширин разрешённых линий, что были лишь немного шире запрещённых. В настоящий момент определяющей характеристикой в оптике принято считать полуширину разрешённой линии водорода  $FWHM(H\beta) \leq 2000 \text{ km s}^{-1}$ . При том, что у объектов данного типа эмиссия в запрещённых линиях относительно слаба.

Многие авторы указывали на искусственность такого критерия отделения NLS. Например, в (Veron-Cetty, Veron, 2001) было отмечено, что некоторые объекты со значительно бóльшими ширинами линий демонстрируют характерные для NLS свойства в рентгене и сильные линии FeII. Там же предложено несколько новых способов отделения NLS от BLS, лучшим из которых, по мнению авторов, является  $R_{4570}$  — отношение потоков FeII к  $H\beta$ .

Более того, было отмечено, что эмиссионные характеристики NLS помещают их в обособленное положение на Eigenvector1 (EV1) (Boroson, Green, 1992) в выборке AGN на низких красных смещениях. Методика PCA (Principal Component Analysis) подтверждает, что сильное FeII, слабое [OIII] $\lambda$ 5007 и узкая линия  $H\beta$  есть определяющие характеристики класса NLS.

Но в некоторых недавних работах отмечалось, что распределение по  $FeII/H\beta$  обладает значительной дисперсией, и достоверность отделения NLS при использовании этого критерия может быть поставлена под сомнение (Caccianiga, Severgnini, 2011).

Возможная причина в целом более низкого соотношения  $FeII/H\beta$  в NLS заключается в том, что при бóльших плотностях водородные линии термализованы, что снижает их светимость (Veron-Cetty, Veron, 2001). Подробно вопрос структуры BLR (Broad Line Region — области образования широких линий) рассмотрен ниже.

В недавней работе (Grupe, 2011) были использованы методики PCA и кластерного анализа, что позволило выделить 2 группы, которые авторы

связывают с NLS и BLS. EV1 отличался от общепринятого, в него вошли такие параметры, как укрупнение рентгеновского спектра, более голубой континуум в оптике, более крутой индекс  $\alpha_{OX}$ . EV2 соответствовал известному из работы (Boroson, Green, 1992) ([OIII] и FeII). EV1 соответствует  $L/L_{edd}$ , EV2 —  $M_{BH}$ . В этой работе делается вывод, что  $FWHM(H\beta)$  — 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 (Peterson, 2011) было предложено ввести класс HERG — High Eddington Ratio Galaxies (радиоисточники с высокими Эддингтоновскими соотношениями), NLS же в таком случае являются его подклассом.

В (Dultzin, Martínez, 2011) было отмечено существование аналогов NLS на  $z \sim 3$ , в смысле схожести спектров. При бóльшей светимости ширины линий не могут быть меньше граничного для NLS значения  $2000 km/s$ , в противном случае будем иметь сверхэддингтоновскую аккрецию, исходя из чего авторами было предложено ввести в определение класса NLS светимость. Резкое изменение свойств происходит скорее на ширине  $H\beta \sim 4000 km/s$ , объекты с ширинами  $H\beta \sim 2000 - 4000 km/s$  зачастую продолжают демонстрировать свойства NLS. В обзоре SDSS (Sloan Digital Sky Survey) существует множество объектов с  $FWHM(H\beta) > 2000 km/s$ , но с остальными спектральными свойствами как у NLS, а именно: низкая EW (equivalent width — эквивалентная ширина) линий, смещённая в синюю сторону CIV и лоренцевский профиль линии  $H\beta$ . Вывод авторов работы (Dultzin, Martínez, 2011) — 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  $H\beta$  может увеличиваться со светимостью была указана ещё в работе (Veron-Cetty, Veron, 2001).

Был выдвинут так же ряд гипотез насчёт неоднородности самой популяции NLS. Так, (Peterson, 2011) предполагали, что NLS может быть композитной группой, состоящей из объектов с малыми  $M_{BH}$  и высокими эддингтоновскими соотношениями, а так же ориентированных на наблюдателя. Также сильные линии железа обнаруживаются не во всех NLS

(Pogge, 2011), хотя тут дело, возможно, в значительной дисперсии соотношения  $FeII/H\beta$ , о чём уже говорилось выше, и в различном соотношении  $S/N$  для полученных спектров разных объектов.

Что касается наблюдаемых свойств в УФ и ИК диапазонах, то NLS, как правило, не обладают высокой светимостью в ИК диапазоне, а их спектр более красный в УФ, чем у BLS (Komossa, 2007).

Особого внимания заслуживают свойства NLS в рентгеновском диапазоне. Зачастую свойства в рентгене рассматриваются как один из определяющих критериев данного класса AGN.

В последнее время становится ясно, что NLS не являются ни пекулярным, ни редким классом AGN. Они составляют  $\sim 15\%$  в выборке AGN по жёсткому рентгену. И до 30 – 50% всех Sy1 в выборках по мягкому рентгену (Dultzin, Martínez, 2011). Однако, возможно есть систематическая тенденция в выборках по рентгену отбирать объекты в high-state (Ho, Darling, 2008).

Собственно, свойства NLS в рентгене таковы (Sani, Lutz, 2010):

- Очень крутые спектры, демонстрирующие присутствие значительного избытка мягкого рентгена. Спектральные индексы от  $\Gamma = 1$  до  $\Gamma > 4$ . Рентгеновская светимость находится в диапазоне от  $10^{42} \text{ergs}^{-1}$  до  $10^{44} \text{ergs}^{-1}$ .
- Быстрая переменность с большой амплитудой. Переменность в мягком рентгене, лишь некоторые NLS демонстрируют переменность в жёстком (Ricci, Walter, 2011).
- Свидетельства значительной насыщенности металлами как в рентгеновском, так и в оптическом и ИК диапазонах.

Модель с малыми массами ЧД и высокими темпами аккреции объясняет более крутой рентгеновский спектр NLS тем, что светимость горячей фазы меньше в NLS, в силу меньшей массы ЧД. В случае принятия УС требуется включение горячих пузырей над диском и механизма, связывающего их толщину и ориентацию, подразумевающего сложную асимметрию излучения. В первом случае объяснение намного проще (Whalen, Laurent-Muehleisen, 2006).

Отсутствие в некоторых NLS избытка мягкого рентгена может быть связано с большим количеством нейтрального водорода, поглощающего рентген. Сам ВВВ (Big Blue Bump — большой избыток в синей области спектра) обычно интерпретируется как излучение оптически толстого, физически тонкого диска. ВВВ может быть ответственен за наблюдаемые свойства в мягком рентгене (Veron-Cetty, Veron, 2001).

Однако, согласно (Pogge, 2011), спектральный индекс мягкого рентгена  $\Gamma$  не может служить определяющим критерием NLS. Хотя у NLS  $\Gamma$  меньше, чем у BLS, скорее дисперсия соотношения резко возрастает при переходе границы  $FWHM(H\beta) < 2000 km/s$ .

По спектральным индексам жёсткого рентгена (20–100keV) NLS кажутся очень гетерогенной популяцией, демонстрируя как плоские ( $\sim 1.3$ ), так и очень крутые ( $\sim 3.6$ ) спектральные уклоны, и различий в распределениях для NLS и BLS не наблюдается (Panessa, De Rosa, 2011). Отличие в спектрах между NLS и BLS начинаются на энергиях выше 40keV, что, возможно, говорит не о более крутых наклонах континуума, а о различных cutoff energy (Ricci, Walter, 2011). Ранее была обнаружена корреляция  $\Gamma$  с  $L/L_{edd}$ . Авторы работы (Caccianiga, Severgnini, 2011) подтвердили её до больших энергий, исключив, что данная корреляция является результатом наличия избытка мягкого рентгена.

В общем, выборки NLS по оптике и рентгену не являются тождественными. Так, в работе (Castelló-Mor, Barcons, 2011) говорится о существовании группы NELG (Narrow Emission Line Galaxies — галактик с узкими эмиссионными линиями), которые в оптическом диапазоне классифицируются как галактики с интенсивным звёздообразованием, но у них слишком высока светимость в рентгене. Как обнаружили авторы работы, часть этой популяции — NLS, а оптическая диагностика ошибается по отношению к 30 – 50%% из рентгеновской выборки AGN.

## 2 Окружение NLS

В работе (Ho, Filipenko, 2002) исследовался вопрос о различии в окружении объектов LINER (Low-Ionization Nuclei Emission Region galaxies — галактики с низкой ионизацией в излучающей области), TO (Transition

Objects — переходные объекты) и Sy1. Было обнаружено, что локальное окружение не отличается. Тот же результат был получен в работе (Komossa, 2007) 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. Про LF (Luminosity Function — функция светимости) и окружение галактик различных типов, см., например, (Tempel Saar, 2010).

## 3 Свойства родительских галактик NLS

### 3.1 Крупномасштабные свойства

Перейдём теперь к вопросу о родительских галактиках AGN типа NLS. Мысль о том, что феномен AGN не взаимосвязан с крупномасштабной морфологией для AGN малой светимости в локальной вселенной (на малых  $z$ ) высказывалась неоднократно. Например, в работе (Ho, Filipenko, 2002) утверждалось, что HG(host galaxy — родительская галактика) для Sy (Sy1 и Sy2), LINERs и TO не отличаются. Основное отличие заключается в морфологии центральной области.

Тем не менее, в (Deo, Crenshaw, 2006) было отмечено, что усреднённый хаббловский тип для галактик BLS:  $\langle HT \rangle = 1.0$ , для NLS:  $\langle HT \rangle = 3.0$  (то есть Sa и Sb соответственно). Так же HG NLS слабее на  $0.73m$ , но это находится в пределах стандартного отклонения. Если этот эффект действительно существует, то это может являться продолжением закономерности, выявленной ещё в работе (Kotilainen, Ward, 1994), 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 (радиогромких NLS) и RQ NLS (радиотихих NLS) не отличаются (Whalen, Laurent-Muehleisen, 2006)

### 3.1.1 Шаровые звёздные скопления

В (Burkert, Tremaine, 2010) было обнаружено, что существует тесная корреляция между количеством шаровых скоплений и массой центральной сверхмассивной чёрной дыры 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 корреляция между дисперсией скоростей и массой СМЧД. Правда, следует отметить, что этот вывод авторов основан на выборке из 13-ти галактик.

Ещё в работе (Harris, 1981) было выяснено, что число ШЗС пропорционально общей светимости сферического компонента галактик. Популяции GC в спиральных и эллиптических галактиках имеют много общего (Forbes, 2001). Зависимость сохраняется даже для Млечного Пути - спиральной галактики позднего типа, если учитывать только ШЗС балджа (Burkert, Tremaine, 2010).

Как уже было сказано выше, средний Хаббловский тип для родительских галактик NLS:  $\langle HT \rangle = 3.0$ , для BLS:  $\langle HT \rangle = 1.0$ .

Вопрос о популяции ШЗС в сейфертовских галактиках и в том числе NLS на настоящий момент не изучен, несмотря на то, что это, на наш взгляд, весьма важный момент. Хотя для многих из них, в силу их принадлежности к поздним морфологическим типам, задача видится непростой.

## 3.2 Свойства центральных областей

Масса газа, необходимая для питания AGN - лишь малая часть того, что присутствует в центральных областях галактик. Скорость аккреции у сейфертов невелика, и за перенос газа может отвечать множество различных механизмов. Возможно поэтому связи с крупномасштабной структурой не обнаруживается (Slavcheva-Mihova, Mihov, 2010).

Одно из первых предположений об отличных свойствах балджей в NLS было сделано в работе (Botte, Cioffi, 2004). Светимость балджей в NLS получалась меньше. Однако дело в том, что для оценки светимостей балджей авторы использовали соотношение  $B/T$ , получаемое из морфологического типа, которое было позаимствовано из работы (Simien, Vaucouleurs, 1986). Таким образом, данный результат свидетельствует лишь о различии

в хаббловском типе родительских галактик NLS и BLS, о чём речь уже шла выше.

В настоящий момент балджи в галактиках принято делить на 2 типа — классические и псевдобалджи (Kormendy, Kennicutt, 2004). Первые по характеристикам близки к сферическим системам эллиптических галактик, вторые по свойствам сходны с дисками.

В работе (Xivry, Davies, 2011) вопрос о различной природе балджей для BLS и NLS решался путём анализа архивов HST и использования индекса серсика  $n$ :

$$\mu(r) = \mu_0 + b_n \left(\frac{r}{r_e}\right)^{\frac{1}{n}}$$

, где  $b_n = 0.8682n - 0.1405$ . Профилю Де-Вокулера соответствует  $n = 4$ , экспоненциальному  $n = 1$ .

Принятой границей разделения балдж/псевдобалдж является значение  $n_b = 2$ , у псевдобалджей  $n_b < 2$ , а у классических балджей  $n_b > 2$  соответственно. Соотношение  $B/T$  у псевдобалджей меньше. По индексам Серсика получается, что у NLS присутствуют псевдобалджи, у BLS - промежуточные, со значительной дисперсией в значении  $n_b$  (см рис 1). Различие в распределениях подтверждает KS тест. Сравнение распределений по  $B/T$  для NLS и BLS даёт тот же результат.

Что интересно, на всей популяции Sy1 (в смысле, NLS плюс BLS) прослеживается зависимость  $n_b$  от  $FWHM(H\beta)$  (см рис 3).

В работе тех же авторов (Xivry, Davies, 2011a) говорится о том, что псевдобалджи есть результат внутренней секулярной эволюции, классические же, напротив — результат внешней секулярной эволюции. У BLS индекс серсика немного ниже, чем у классических балджей. У неактивных галактик, в целом, такой же. Средние значения  $B/T$  таковы — для BLS  $\langle B/T \rangle \sim 0.39$ , для NLS  $\langle B/T \rangle \sim 0.17$ . Подробно вопрос псевдобалджей в NLS был исследован в работе (Mathur, Fields, 2011). Авторы использовали полосу F625W, т.к. контраст между AGN и балджем сильнее в более длинноволновых диапазонах. Вместо индекса Серсика было применено соотношение Корменди:

$$\langle \mu_e \rangle = \alpha + \beta \times \log(r_e)$$

, где  $\alpha = 19.13$ ,  $\beta = 3.02$ ,  $\langle \mu_e \rangle$  - средняя поверхностная яркость внутри

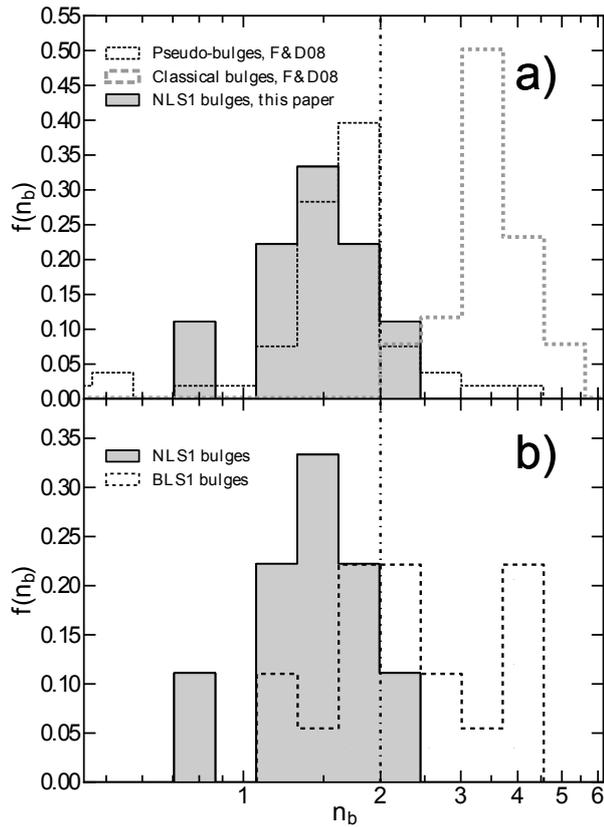


Рис. 1: Гистограмма индексов Серсика балджа,  $\log(n_b)$ . а) Балджи NLS по сравнению с псевдобалджами и классическими балджами. б) Балджи NLS по сравнению с балджами BLS. Из работы (Xivry, Davies, 2011).

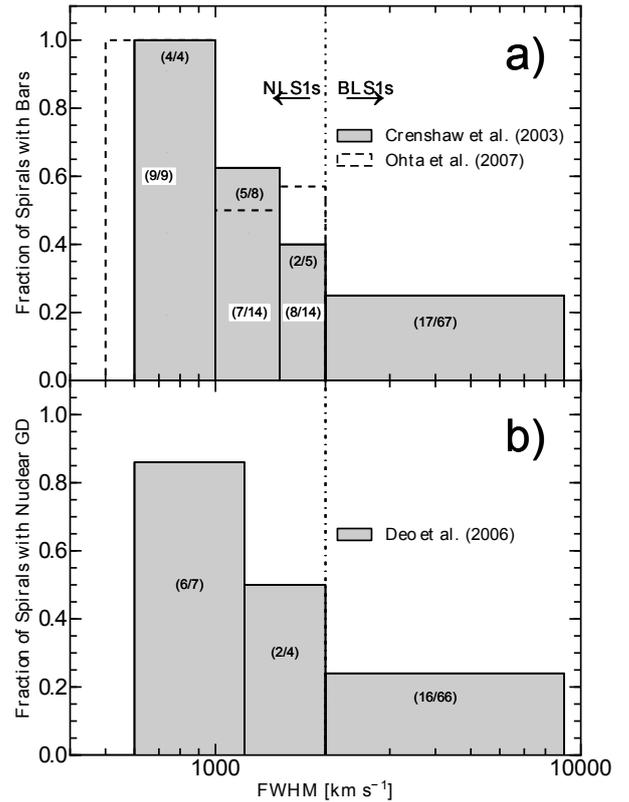


Рис. 2: Гистограммы, представляющие долю спиральных галактик Sy1 а) с барами и б) с ядерными GD спиральями как функцию  $FWHM(H\beta)$ . Из работы (Xivry, Davies, 2011)

радиуса  $r_e$ .

Авторы утверждают, что это соотношение есть более важный критерий определения псевдобалджа (Mathur, Fields, 2011). Далее они исследовали, лежат ли балджи NLS на соотношении Магоряна (масса ЧД - светимость балджа). Было получено, что все NLS лежат ниже, и, следовательно, ЧД малы для своих балджей, а не балджи слишком яркие.

На "photometric plane":  $\log(r_e)$  vs  $\log(n) + b\langle I_e \rangle$  балджи NLS так же не лежат, что говорит о том, что псевдобалджи выпадают и из этой зависимости.

Исследованию баров в последнее годы было посвящено множество

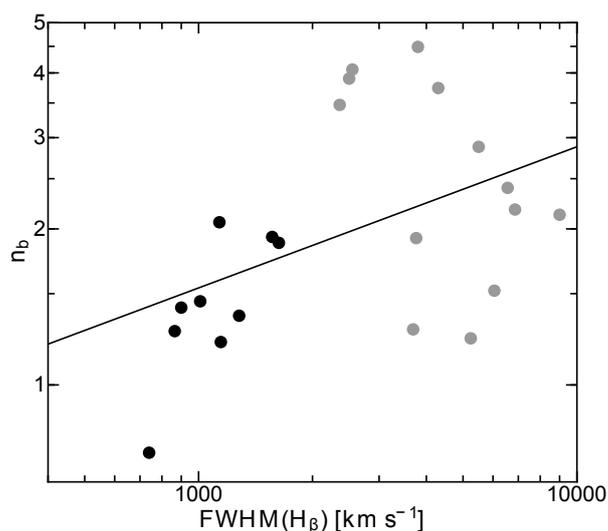


Рис. 3: Зависимость индекса Серсика от  $FWHM(H\beta)$ . NLS и BLS представлены чёрными и серыми точками соответственно. Коэффициент корреляции Спирмана составляет 0.49. Рисунок взят из работы (Xivry, Davies, 2011).

работ, в том числе и численному моделированию. Например, в (Shen, Sellwood, 2003) были получены результаты, что бары более устойчивы, чем ранее считалось. Приведём основные выводы, полученные из модели авторов:

- центральная масса должна быть велика, порядка нескольких процентов массы диска, чтобы разрушить бар
- компактные объекты (несколько pc) оказывают самое разрушительное действие на бар, эффект от диффузных меньше
- амплитуда бара уменьшается по мере роста центральной концентрации, далее он разрушается на космологическом масштабе времени.
- массы СМЧД (сверхмассивных чёрных дыр) даже вместе со звёздным каспом слишком малы для того, чтобы разрушить бар

В работе (Slavcheva-Mihova, Mihov, 2010), посвящённой 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 "gas inflow" к бару.

Вопросу о частоте встречаемости баров в сейфертовских галактиках и, в частности, в NLS посвящено множество работ. На сложность этой задачи было указано, например, в (Crenshaw, Kraemer, 2003). В ИК диапазоне доля баров возрастает. Но в грамотно построенных выборках, как правило, получается, что доля баров в сейфертовских галактиках и в неактивных — одинакова.

В той же работе делается вывод, что, напротив, звёздные бары более распространены в NLS, BLS же - обычные спиральные галактики.

На рис3 в работе (Crenshaw, Kraemer, 2003) приводится зависимость доли баров от  $FWHM(H\beta)$ . Доля баров уменьшается с ростом  $FWHM(H\beta)$ , и выходит на плато для BLS, что подтверждается и в более поздних работах, например (Xivry, Davies, 2011) (см рис 2а).

В более поздней работе (Deo, Crenshaw, 2006) даже было сделано утверждение, что крупномасштабный бар — основной источник различий типов сейфертовских галактик.

Размер баров в NLS — от 1кpc и тянется до 5–10кpc (Deo, Crenshaw, 2006)

Вопрос о ядерной морфологии также был исследован множеством авторов. Так, в (Deo, Crenshaw, 2006) было получено, что ядерные пылевые спирали присутствуют в 83% NLS и 63% BLS. 80%(8/10) NLS с ядерными пылевыми спиралями имеют GD(grand design) <sup>2</sup> ядерные спирали по сравнению с 32%(16/50) BLS.

Тот же результат (родительские галактики NLS имеют бары, пылевые ядерные спирали GD морфологии) был получен и в более поздней работе (Xivry, Davies, 2011). Однако, следует отметить, что там же приводится ссылка на утверждение (Martini, Regan, 2003), что GD ядерные спирали встречаются только в галактиках с баром.

Идея о том, что именно ядерная морфология ответственна за характер активности в ядре, отнюдь не нова. Например, в (Crenshaw, Kraemer, 2003) выдвигалось предположение, что темп аккреции может обеспечиваться питанием через бар.

---

<sup>2</sup>Ядерная пылевая спираль называется GD (grand design), если есть два отдельных симметричных спиральных рукава. FL(flocculent) — присутствует большее число спиралей и облачка пыли и газа

Более глубоко эта гипотеза была проработана в (Deo, Crenshaw, 2006). 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:

- Потенциал бара превосходит потенциал центрального объекта, и GD форма ядерных спиралей поддерживается потенциалом бара.
- 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 велика доля ядерных звёздных колец (выше, чем в BLS) (Deo, Crenshaw, 2006).

Там же отмечено, что все галактики, демонстрирующие ядерные звёздные кольца, обладают барами и GD ядерными спиралью. Вообще в сейфертах довольно часты окооядерные кольца, что ставит вопрос, не являются ли они наследием баров (Crenshaw, Kraemer, 2003).

Весьма нагляден рис 26 — зависимость доли GD ядерных спиралей от  $FWHM(H\beta)$ . Она уменьшается с ростом  $FWHM(H\beta)$ , как и доля баров.

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

Напрямую темп звёздообразования исследовался в работах (Sani, Lutz, 2010, 2011). Авторами были проанализированы данные ИК-спектроскопии Spitzer. Использовались линии РАН (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons — Полициклические Ароматические Углеводороды), что являются индикаторами звёздообразования. Основные результаты этих двух работ таковы:

- Темп звёздообразования выше у NLS, чем у BLS, для той же светимости AGN.

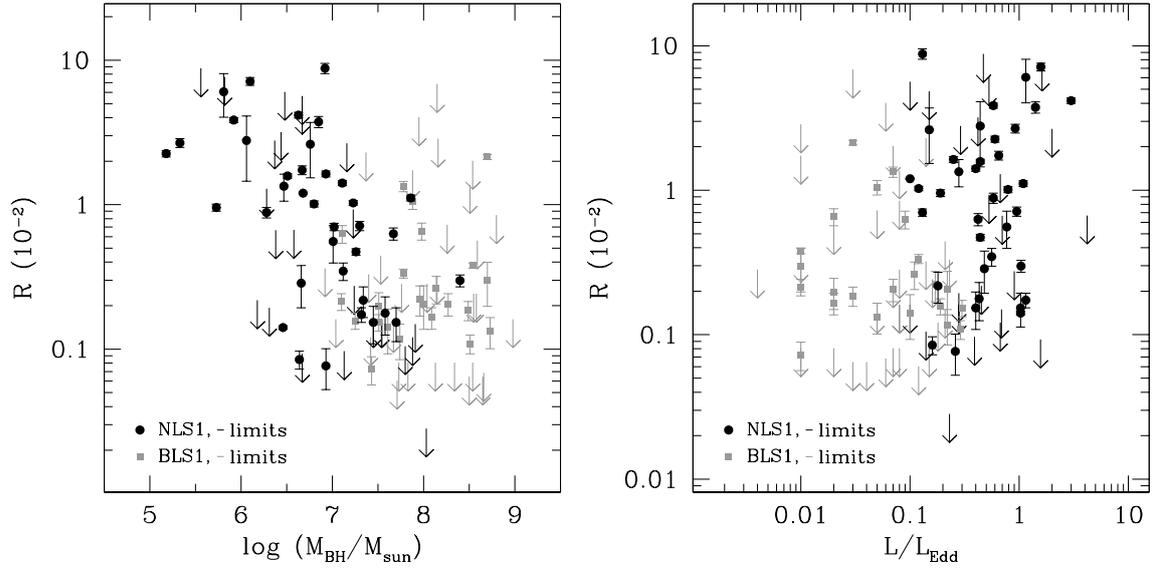


Рис. 4: Отношение ПАН к континууму AGN ( $R$ ) как функция параметров центральных СМЧД. Левая панель : По оси ординат —  $R$ , по оси абсцисс — массы центральных СМЧД ( $\log M_{BH}/M_{\odot}$ ). Правая панель : По оси ординат —  $R$ , по оси абсцисс — Эддингтоновское соотношение светимости ( $L/L_{Edd}$ ). Рисунок из работы (Sani, Lutz, 2010).

- Темп звёздообразования выше для меньших ЧД и бóльших эддингтоновских соотношений, что свидетельствует в пользу того, что рост ЧД и звёздообразование эволюционно связаны.

Для количественной оценки вклада областей звёздообразования в спектр NLS и BLS использовалось соотношение

$$R = \frac{L(6.2, PAH)}{\nu L_{\nu}(6, AGN)}$$

$R$  пропорционально эквивалентной ширине ПАН на фоне чистого континуума от AGN. Вероятность того, что распределение по  $R$  для NLS и BLS идентичны —  $6 \times 10^{-5}$ . На рис 4а и б изображены зависимости  $R$  от  $\log M_{BH}/M_{\odot}$  и  $R$  от  $\log L/L_{Edd}$  для NLS и BLS.

Однако, стоит отметить, что такой метод непригоден для RL (радиогромких) AGN (Sani, Lutz, 2011), так как хвост синхротронного излучения может доходить до mid-IR диапазона, очень сильно искажая получаемые результаты.

Для подтверждения достоверности полученных результатов, авторами (Sani, Lutz, 2011) было исследовано возможное влияние светимости и красного смещения. Даже после учёта этого получается, что темп звёздообразования в NLS значительно выше, чем в BLS.

Достоверность того, что темп звёздообразования в NLS в среднем выше, чем в BLS, сомнений не вызывает. Однако, например, в (Xivry, Davies, 2011a) было отмечено, что более высокий темп звёздообразования в центральных областях галактик с баром - известный факт(то, что в родительских галактиках NLS доля крупномасштабных баров выше, уже упоминалось). Там же сказано, что такие образования, как GD ядерные пылевые спирали должны вести к более высоким темпам звёздообразования.

5/12 NLS из выборки (Deo, Crenshaw, 2006) демонстрируют следы недавнего звёздообразования в ядерных кольцах. В целом присутствие звёздообразования в ядерном кольце в центральном килопарсеке поддерживает идею, что газ теряет свой угловой момент через ядерные спиральные ударные волны, и всем этим управляет потенциал крупномасштабного бара.

Очень малые темпы звёздообразования наблюдаются в галактиках с флоккулентными ядерными спиралями или без бара, в то время как GD спирали демонстрируют звёздообразование во внешних областях спиральных рукавов, и в звёздных ядерных кольцах (Deo, Crenshaw, 2006). А, как уже упоминалось, FL морфология характерна для BLS, GD — для NLS.

## **4 Активное ядро**

### **4.1 NLR, BLR, тор и диск**

Перейдём теперь к рассмотрению структуры центральных областей NLS. В настоящее время общепринятым является представление, что в центральных областях сейфертовских галактик присутствуют следующие образования: тор, аккреционный диск, BLR (Broad Line Region - область образования широких линий), NLR (Narrow Line Region - область образования узких линий).

Рассмотрим их по порядку.

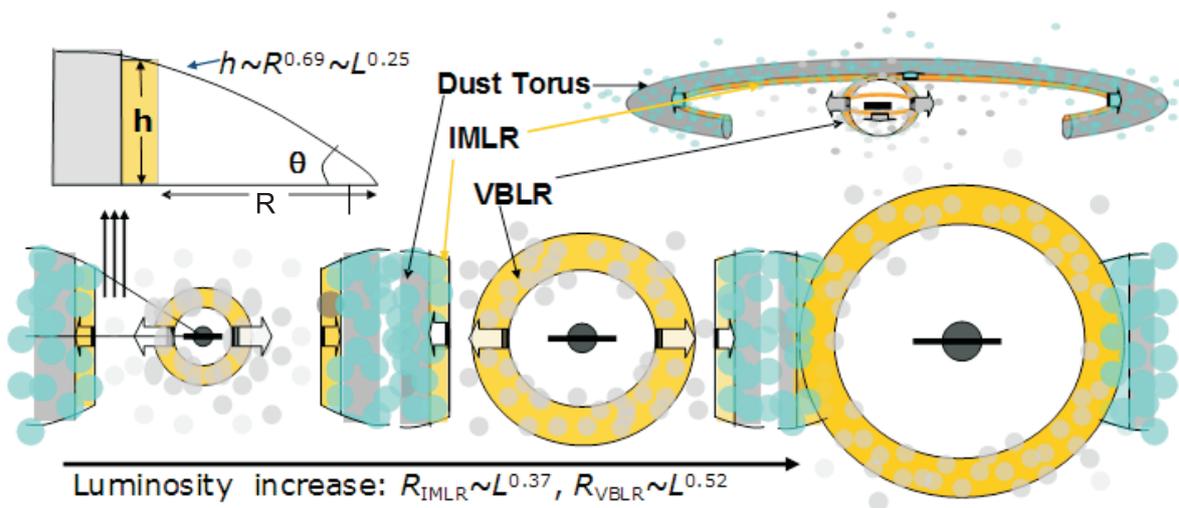


Рис. 5: Схематическое изображение эволюции BLR. По мере увеличения массы СМЧД и светимости, как VBLR, так и IMLR расширяются. Радиус VBLR растёт быстрее, так что эти области имеют тенденцию к слиянию. Изображение из работы (Zhu, Zhang et al., 2009). Подробности см текст.

#### 4.1.1 Тор

Работа (Tristram, Schartmann, 2011) полностью посвящена моделированию пылевого тора. Авторами рассмотрена так называемая "clumpy" версия модели. Важное соотношение из этой работы:

$$r_{inner} \propto \sqrt{L}$$

Существующая проблема, заключающаяся в недостатке ярких AGN type II может помочь пролить свет на изменения, происходящие с тором с ростом светимости AGN. Так, модель из (Zhu, Zhang et al., 2009) с медленно растущей высотой тора  $h$  объясняет эту проблему.

Недавняя работа (Mor, Netzer, 2011) под названием "Hot dust, warm dust and star formation in NLS", что в переводе означает "Горячая пыль, тёплая пыль и звёздообразование в NLS", почти полностью посвящена вопросу изучения тора. Авторы исследовали спектр в MIR. После вычитания вклада от звёздообразования, спектр аппроксимировался тремя компонентами:

- Clumpy torus ("комковатый" тор)
- Dusty narrow line region clouds (пылевые облака в области образова-

ния узких линий)

- Very hot pure-graphite line dust clouds (очень горячие, состоящие из графита облака).

Горячая углеродная пыль находится на внутреннем крае тора, между радиусами сублимации графита и кремния (температура сублимации кремния ниже и, следовательно, радиус сублимации выше). Химический состав основного тора: 53% — силикатная часть, 47% — графит.

Авторы делают важное замечание, что при исследовании тора обязательно нужно учитывать вклад от звездообразования в ИК диапазон, т.к. это является основным источником ошибок.

Любопытно, что, так как горячая пыль оптически толстая в УФ и оптике, то её светимость есть мера covering factor. Covering factor у NLS в целом ниже, чем у BLS.

#### 4.1.2 IMLR

Существование IMLR (InterMediate Line Region - области образования линий промежуточной ширины) было обосновано в работе (Zhu, Zhang et al., 2009). Всё нижесказанное про IMLR почерпнуто из этой работы.

IMGC (Intermediate Gaussian Component) и VBGC (Very Broad Gaussian Component) излучаются в различных областях. Но при росте светимости имеют тенденцию сливаться в один объект.

Авторы находили  $R_{IMLR}$  следующим образом. Сначала при помощи RM (Reverberation Mapping) вычисляли  $R_{VBLR}$ , затем по отношению ширин линий получали отношение  $\frac{R_{VBLR}}{R_{IMLR}}$ , откуда —  $R_{IMLR}$ .

С ростом светимости  $R_{VBLR}$  растёт быстро,  $R_{IMLR}$  гораздо медленнее, есть тенденция к их слиянию.  $EW(IMGC)$  уменьшается с ростом яркости AGN.  $EW(VBGC)$  не зависит от яркости AGN. Эквивалентная ширина линий является мерой covering. Из получаемого covering factor следует, что VBLR обладает сферической геометрией, IMLR - дисковой.

Так как высота тора растёт медленнее, чем радиус с ростом светимости, то covering factor IMLR уменьшается. При дальнейшем росте светимости активного ядра IMLR и BLR могут слиться воедино (см рис 5).

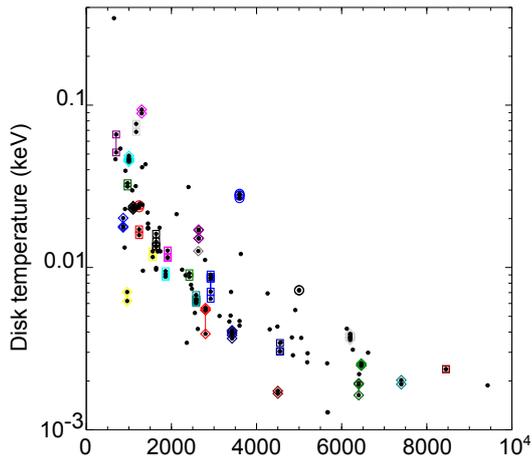


Рис. 6: Максимальная температура аккреционного диска,  $T_{max}$  в зависимости от  $FWHM(H\beta) km\ s^{-1}$ . Рисунок из работы (Vasudevan, Gallo, 2011).

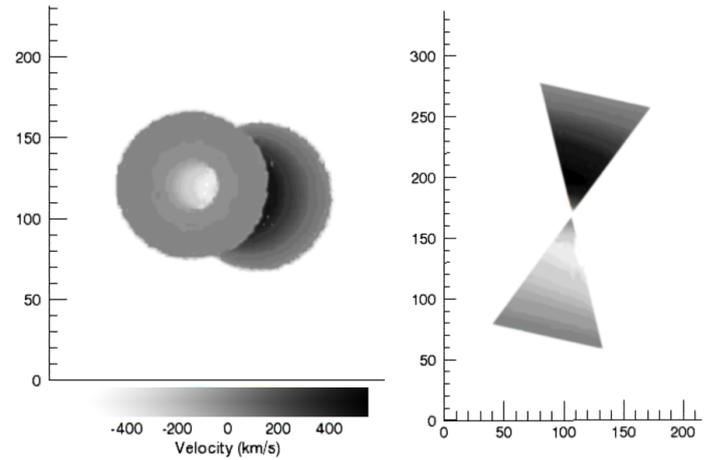


Рис. 7: Кинематические модели вдоль оси зрения (слева) и сверху (справа) на примере NLR NGC4051. Рисунок из работы (Fischer, Crenshaw, 2011).

### 4.1.3 Аккреционный диск

Температура дисков выше в NLS  $T_{disk,NLS} > T_{disk,BLS}$  (Crenshaw, Kraemer, 2003). Высокий темп аккреции приводит к образованию тонкого диска и ветра из него.

В (Whalen, Laurent-Muehleisen, 2006) сказано, что в NLS вследствие околоэддингтоновской светимости диск "раздут" световым давлением. Это приводит к генерации наблюдаемого FeII, а также экранированию NLR от УФ, что в свою очередь приводит к более слабому излучению в [OIII].

Диск излучает чернотельно, и свойственная NLS переменность и прочие особенности в рентгеновском диапазоне с диском не связаны (Gallo, 2011). На рис 6, взятом из этой работы, приведён график зависимости температуры диска от  $FWHM(H\beta)$ . Тренд очень сильный. Причина может быть как в том, что масса ЧД с уменьшением  $FWHM(H\beta)$  уменьшается, или в том, что внутренний край диска у NLS находится ближе к центральному объекту. Таким образом, температура диска в NLS выше, чем в BLS. Причины того, что IMSO (InnerMost Stable Orbit - последняя стабильная орбита) находится ближе к СМЧД, мы коснёмся ниже.

Схожие результаты были получены и в более поздней работе (Vasudevan, Gallo, 2011): диск не является источником переменности в  $\alpha_{OX}^3$ , источник — корона; температура в аккреционном диске у NLS выше, как и  $L/L_{edg}$ .

Задачей на будущее авторы ставят проведение прямых измерений внутренних радиусов аккреционных дисков и спинов чёрных дыр.

#### 4.1.4 BLR

Вообще, AGN масштабируется со светимостью (Tristram, Schartmann, 2011). Так,  $r_{BLR} \propto \sqrt{L}$ . Но, что интересно, светимости AGN в NLS и BLS одинаковые и схожими оказываются и  $R_{BLR}$  (Botte, Cioi, 2004). По словам авторов, ошибка в определении  $R_{BLR}$  составляет менее 40%, а  $M_{BH} \sim 50\%$ . Интересный результат был получен в (Bentz, 2011). NLS и BLS лежат на общем соотношении  $R_{BLR} - \log \lambda L_{\lambda}(5100\text{\AA})$ , что говорит в пользу того, что физика BLR у них одинакова.

Отдельно следует отметить результаты из работы (Peterson, 2011). Приведём самые важные, на наш взгляд, выводы:

- В  $R_{BLR}$  присутствует стратификация по степени ионизации.
- $\Delta V^2 \tau$  — константа, где  $\Delta V^2$  — ширина линии,  $\tau$  - время задержки. Это означает, что газ в BLR подвергается действию сил  $\propto \frac{1}{r^2}$ .
- $R_{BLR} \sim L_{AGN}^{\frac{1}{2}}$ . Этот результат получен только для линии  $H\beta$ .
- $\tau \propto L^{\frac{1}{2}}$

Плотность BLR в NLS выше, что следует из соотношения  $FeII(opt)/FeII(UV)$  (Sameshima, Kawara, 2011).  $FeII(оптика)/FeII(УФ)$  коррелирует с эддингтоновским соотношением, следовательно, по мере роста  $L/L_{edg}$  растёт и плотность. Более того, линии FeII должны излучаться из внешних областей BLR, в противном случае получится сверхэддингтоновский режим аккреции.

---

<sup>3</sup> $\alpha_{OX}$  у авторов - диапазон 2500Å — 2Кев

На геометрию BLR существуют противоречивые взгляды. Общепринятым является предположение о сферической симметрии. См, например, уже упоминавшиеся результаты из работы (Zhu, Zhang et al., 2009).

Так, авторы работы (Decarli, Dotti, 2008) утверждали, что допущение дисковой, в отличие от общепринятой сферической, геометрии BLR, позволяет полностью свести уникальные свойства NLS к ориентации face-on (на наблюдателя). Впрочем, по признанию самих авторов, такое объяснение имеет ряд проблем. В более поздней работе тех же авторов (Decarli, Dotti, 2011) дисковой геометрией BLR пытаются объяснить как низкие  $M_{BH}$ , так и кажущиеся высокими  $L/L_{edd}$ , а так же наблюдаемое отклонение NLS от зависимости  $\log(M_{BH}) - \sigma_*$ . Подход авторов прост — если форма BLR дисковая, и ориентация face-on, то масштабный фактор  $f$  много меньше, чем для сферического случая. К вопросу, почему такое простое предположение не кажется полностью удовлетворительным, мы вернёмся ниже.

Отдельного внимания заслуживает работа (Krause, 2011) — "Динамика облаков в области образования широких линий". Данное исследование посвящено стабильности облаков в BLR и их орбит.

Выше определённого светового давления круговые орбиты нестабильны, движение происходит по эллиптическим, на периферии излучаются узкие линии. Если же излучатель неизотропен ( $\cos \theta$ ), то BLR облака не могут лежать в экваториальной области. Орбиты неизбежно наклонены, и из расчётов получаются эллиптическими. Авторами также рассмотрен механизм "рапсаке" разрушения облаков. Радиальное сжатие, азимутальное расширение плюс неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Однако, разрушения облаков можно избежать путём включения в модель магнитного поля самих облаков.

Авторами работы (Landt, Bentz, 2011) был обнаружен эффект исчезновения узкой компоненты из Пашеновских линий более высокого порядка. Проявление плоских вершин линий говорит о наличии внешнего радиуса BLR. У большинства объектов есть гар (пробел) в поле скоростей между NLR и BLR. Он уменьшается с ростом светимости (рост внешнего радиуса) и исчезает или оказывается меньше предельного спектрального разрешения.

NLS являются идеальным кандидатом для поиска x-ray reverberation. Авторами (Miller, Turner, 2011) оно было обнаружено. Это означает, что на

десятках–сотнях  $R_g$  присутствует рассеивающее и поглощающее вещество. Поскольку в рентгене из-за временных масштабов переменности набрать достаточную статистику по линиям невозможно, результат был получен изучением отражения мягкого и жёсткого рентгена в континууме.

Коснёмся теперь вопроса о металличности вещества, составляющего BLR. Работа (Neri, Lanos, 2011) посвящена изучению металличности у различных типов AGN: NL AGN, BL AGN. Также рассмотрены активные галактики на больших  $z$ . По определению, принимаемому авторами, NLS демонстрируют такой же уровень активности, как и BLS, но без широких линий в спектре. Основные результаты отображены на рис3 а,б и рис4 из этой работы.

Рис3а — зависимость  $z/z_\odot$  от  $\log \lambda L_\lambda(5100\text{\AA}) \text{ergs}^{-1}$ . Наблюдается чёткий положительный тренд.

Рис3б — зависимость  $z/z_\odot$  от  $\log \frac{M_{BH}}{M_\odot}$ . Присутствует положительный тренд, но NLS выпадают из него, их металличность намного выше, чем ожидается для их  $M_{BH}$ .

Рис4 — корреляция  $z/z_\odot$  с  $\log \frac{L_{bol}}{L_{edd}}$ . Наблюдается положительный тренд, NLS из выборки авторов ложатся на эту зависимость.

Интересная методика определения металличности в BLR была предложена в (Sameshima, Kawara, 2011). Авторы напрямую измерили плотность Fe по соотношению линий

$FeII(opt)/FeII(UV)$ . Для определения металличности необходимо знать плотность водорода, которую авторы планируют получить из будущих наблюдений в рентгеновском диапазоне.

#### 4.1.5 NLR

NLR(область образования узких линий) связана с истечением вещества из NLS. Если построить распределение  $V_{opt}$  (по узким линиям в оптике) от  $V_{sys}$  (скорость системы, определяемая по наблюдениям H $\beta$ ) получается, что среднее значение находится около нуля, но больше отрицательных значений. Объяснение этому — газ выдувается из системы (Ho, Darling, 2008a). 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 ещё в (Veron-Cetty, Veron, 2001).

Если перенести отсчёт скорости на линию [OII], то получится, что истечения в [OIII] присутствуют, когда скорость, определяемая по линии FeII принимает околонулевые значения. Это свидетельствует об ортогональности. FeII излучается в диске, [OIII] — в полярном коническом истечении. Т.е. некоторая доля NLS действительно наблюдается с полюса, но отнюдь не это определяет популяцию NLS (Boroson, 2011). См рис 13.

NLS и BLS, по-видимому, имеют схожие NLR. В кинематике абсорбции они также не отличаются (Crenshaw, Fischer, 2011).

С формой линии [OIII] бывают 2 случая: смещённое в синюю сторону основание, или смещённое в синюю сторону ядро. Интересно, что, если отбросить объекты со смещённым ядром линии, то NLS ложатся на зависимость  $M_{BH} - \sigma_*$  (Ху, Komossa, 2011). Авторы использовали стандартный PCA, но впервые добавили плотность NLR, представленную отношением  $R_{[SII]}$ . EV1 коррелирует с  $L/L_{edd}$ , и скорость истечения растёт с увеличением темпа аккреции. Плотность NLR у NLS получается меньше.

Так называемые "blue outliers" были обнаружены с частотой встречаемости 17% в выборке радиогромких NLS также в работе (Yuan, Zhou, 2008). Причём  $\Delta V$  коррелирует с потенциалом ионизации и шириной линии. Происхождение, возможно, взаимодействие джета и облаков. Синие крылья, вероятно, истечения из NLR.

Вопрос металличности в NLR был изучен в (Nagaо, Murayama, 2002) по запрещённым линиям, что даёт более точные результаты. Металличность в NLR у NLS выше, чем у BLS, что противоречит опубликованным ранее работам, что авторы объясняют использованием в тех исследованиях разрешённых линий.

При помощи высококачественных спектров, полученных на SUBARU, было получено, что простое степенное распределение газа не объясняет наблюдаемого, вместо этого присутствует плотное вещество в центре, обладающее бóльшими скоростями истечения (HINERS - High Ionization Nuclear Emission-line Regions - околядерные области излучения эмиссионных линий с высокой ионизацией) (Nagaо, Murayama, 2003).

Схожий результат был получен в (Fischer, Crenshaw, 2011) для одно-

го объекта NLS — NGC 4056. В наличии двойной конус, истечения. Скорость газа сначала увеличивается по мере удаления из центра, потом снова уменьшается. Предполагаемая геометрия NLR для этого объекта приведена на рис 7. Видимо, подобной же геометрией обладают NLR как у NLS, так и у BLS.

Как было сказано выше, характерным свойством NLS является крутой рентгеновский спектр, причём наблюдается корреляция  $\Gamma$  с  $L/L_{edd}$ . Возможный механизм таков:

Больше  $L/L_{edd}$   $\rightarrow$  больше фотонов аккреционного диска  $\rightarrow$  более эффективное охлаждение электронов короны  $\rightarrow$  более крутой рентгеновский спектр (Caccianiga, Severgnini, 2011).

До энергии  $40\text{keV}$  спектры NLS и BLS схожи. То есть, видимо, не показатели степени отличаются, а cutoff energy различны. Это означает, что температура электронов ниже в коронах NLS (Ricci, Walter, 2011). Хотя, как уже упоминалось, существуют исследования, подтверждающие различие различие в наклоне континуума (Caccianiga, Severgnini, 2011).

NLS чаще находятся в x-ray weak state. В этом состоянии основной континуум подавлен, что позволяет изучить остальные компоненты. Характерная переменность в рентгене как раз и вызвана переменностью степенной компоненты из-за процессов в короне. У NLS в целом рентгеновский спектр круче, чем у BLS, но в x-ray weak state оба типа демонстрируют плоские спектры (Gallo, 2011).

#### 4.1.6 $H_2O$ Мазеры

Мазеры в NLS заслуживают особого внимания. Общеизвестно, что так называемые "мегамазеры" могут использоваться для определения с высокой точностью масс центральных ЧД. Это довольно редкий объект, присутствующий в  $\sim 10\%$  Sy1.8–2. Но данная методика неприменима к Sy1 (Czerny, Nikolajuk, 2009).

Так, например, в работе (Nagar, Oliva, 2002) исследовался объект NGC5506. Ранее существовали проблемы с классификацией данного объекта, он предполагался относящимся к типу Sy2. Однако, по данным спектроскопии с 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 нём был обнаружен мегамазер.

В двух недавних работах 2011-ого года специально исследовался вопрос о мазерах NLS. Так, например, в (Tarchi Capoterra, 2011) были изучены архивы наблюдений VLA для двух объектов: NGC4051 и NGC5506. Выводы авторов таковы:

- NGC 4051 — мегамазер в 5pc от ядра. Может находиться как в диске, так и в джете/ветре. Второй вариант, по утверждению авторов, более достоверен.
- NGC 5506 — положение определено неточно, выводов сделать невозможно. Но из спектров получается, что присутствуют истечения, мазер blushifted. Диск наклонён под углом  $40^\circ$ , что не соответствует сценарию усиления мазера в диске. Видимо, мазер в истечении или джете.

Очень интересной на наш взгляд является работа (Tarchi Castangia, 2011). Название её гласит: "Сейфертовские галактики 1-ого типа с узкими линиями — поразительный класс AGN". Посвящена она целиком изучению феномена мазерного излучения в NLS. Возможные места образования мегамазеров, рассмотренные авторами:

- Диск
- Область взаимодействия джета с молекулярным облаком
- Overlap: континуум от джета перекрывается молекулярным облаком.
- Nuclear outflow (ядерное истечение).

Если мазер образуется в диске, то на спектре будут видны 3 компоненты (смещённая в синюю сторону, в красную сторону и без смещения). В единственном на момент публикации объекте с nuclear outflow в спектре наблюдаются 2 узкие компоненты — "красная" и "синяя".

По утверждению авторов, доля обнаружений мазеров в NLS - огромна. Источником мазерного излучения является или outflow, или джет. Первый вариант кажется более соответствующим действительности. Лишь для двух

NLS есть интерферометрические наблюдения. Всего обнаружено 5 штук. Мазеры в NLS необходимо исследовать, неясно даже, в каких областях они образуются. Возможно, учитывая удивительно большую долю обнаружения мазеров в NLS, что эти явления каким-либо неизвестным на настоящий момент образом взаимосвязаны.

## 4.2 Центральная машина

### 4.2.1 Наблюдаемые проявления

Как уже упоминалось, NLS и BLS обладают сравнимыми яркостями центрального источника. Хотя в (Ricci, Walter, 2011) сделан вывод, что NLS обладают меньшей яркостью, достоверность результата весьма сомнительна, ибо K-S тест даёт очень высокую вероятность одинакового распределения для NLS и BLS, в 10%.

Отдельного внимания заслуживает работа (Sobolewska, Siemiginowska, 2011). Авторами была развита идея о том, что основное отличие GBH (Galactic Black Holes - галактических чёрных дыр) от AGN состоит в их массе. Неудачи предыдущих попыток масштабирования GBH к AGN объясняются неучётом значительного отличия в ширине распределения масс первых и вторых. Используя обоснованное наблюдениями логнормальное распределение масс ЧД для AGN, авторам удалось воспроизвести наблюдаемую зависимость  $\alpha_{OX}$  от  $L_{2500\text{\AA}}$ . Не вдаваясь в подробности, LINERs соответствуют состоянию GBH hard-low, а NLS — soft-high (см рис 8). Другими словами, это подтверждает, что NLS аккрецируют около эддингтоновского предела.

При аккреции около эддингтоновского предела велико время  $t_{cooling}$ , и энергия может уходить под горизонт событий, не успевая высвечиваться (Yuan, Zhou, 2008).

Касательно эддингтонговского 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 (Boroson, 2011).

Среди NLS существует популяция RL NLS (радиогромких NLS).

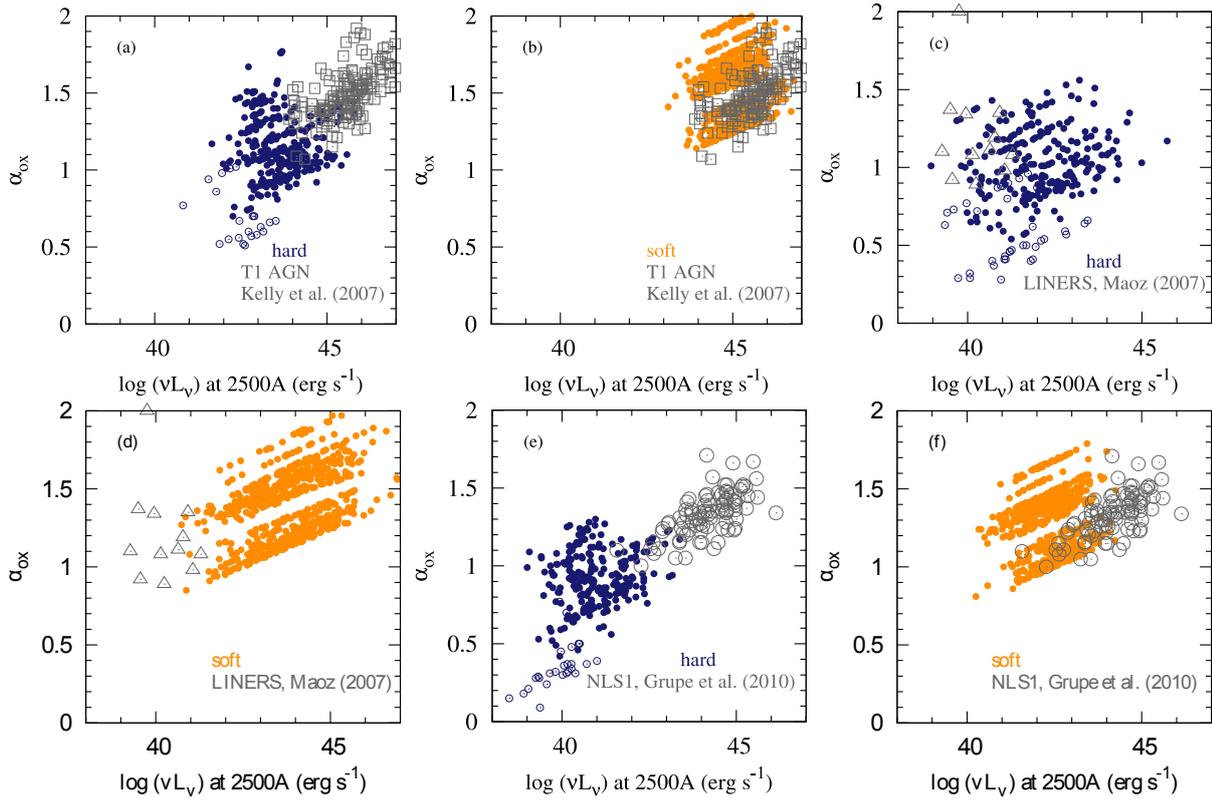


Рис. 8: Сравнение свойств синтезированных спектров AGN с наблюдаемыми. Состояния hard обозначены чёрным цветом, soft — серым, hard состояния с несущественным излучением от диска — открытые кружки. (a–b) AGN 1-ого типа, (c–d) LINERs, (e–f) NLS наложены на синтезированные hard и soft состояния AGN ( $\log M_{BH}$  получены из распределения Гаусса). Наблюдаемые LINERs перекрываются с hard состоянием, QSO 1-ого типа и NLS перекрываются с soft состоянием AGN. Взято из работы (Sobolewska, Siemiginowska, 2011).

Их доля среди NLS в целом меньше, чем доля RL QSO среди квазаров (Komossa, Voges, 2006). RL NLS чаще всего компактные объекты, с крутым спектром, обладают общими свойствами с ранее известным классом CSS (Compact Steep Spectrum sources — компактные источники с крутыми спектрами). RL NLS занимают верхнюю часть распределения  $M_{BH}$  для NLS. Также они находятся на ранее слабо заселённой области диаграммы  $M_{BH} - R$  (Komossa, 2007). RL NLS могут быть ярче в радио, чем Sy1 (Whalen, Laurent-Muehleisen, 2006). Ни один из объектов RL NLS после коррекции на beaming не становится RQ NLS (Yuan, Zhou, 2008). Они являются самыми радиогромкими объектами в этом интервале масс

ЧД. RL NLS, по-видимому, представляют собой маломассивный хвост распределения (по  $M_{BH}$ ) среди всех RL AGN.

RL NLS выделяются также своими свойствами в оптическом диапазоне. (Boroson, Green, 1992) и (Boroson, 2002) нашли, что радиогромкость статистически связана с "Eigenvector1" в том смысле, что квазары с сильным [OIII] и слабым FeII предпочтительно радиогромкие, в то время как объекты с сильным FeII в основном радиотихие. Удивительно, что для NLS наблюдается противоположная тенденция — RL NLS чаще обладают сильными линиями FeII (Komossa, 2007), что подтверждается также в (Yuan, Zhou, 2008). Помимо этого оказывается, что RL NLS, в отличие от RQ NLS систематически превышают ожидаемую светимость в континууме, оцениваемую из  $H\beta$ . Также их континуум в оптике голубее, что, по-видимому, вызвано наличием нетепловой компоненты излучения от джета (Yuan, Zhou, 2008).

Факты говорят о том, что RL NLS - это просто NLS с релятивистскими джетами, во всех остальных смыслах - нормальные NLS. Возможно они представляют собой блазары на нижнем хвосте распределения масс чёрных дыр (Yuan, Zhou, 2008). Стоит здесь отметить также тот факт, что объекты "beamed", то есть точно ориентированные на наблюдателя, должны обладать самыми узкими линиями в случае принятия унифицированной схемы. Что не наблюдается (Komossa, Voges, 2006).

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

**Быстрая оптическая переменность** Тот факт, что NLS демонстрируют оптическую переменность на масштабах дней, известно довольно давно (Komossa, 2007). Впервые быстрая переменность в течении ночи на масштабах часов была обнаружена в работе (Liu, Wang, 2010), по наблюдениям на 80см телескопе в стандартных полосах В и R. Это подтверждает предположение, что эти объекты обладают релятивистскими джетами с малым углом раскрыва, направленным на наблюдателя.

Поиску быстрой оптической переменности посвящена и работа (Maune, Miller, 2011). Но здесь авторы изучали выборку очень радиогромких галактик ( $R > 100$ ). Время наблюдения составляло 5 ночей,

количество объектов в выборке авторов — 8, использовался телескоп диаметром 1.8м. Из 8-ми объектов переменность была обнаружена в 2-ух. У J094+0022 лишь в одну из ночей. В ранних работах обнаруживали переменность у данного объекта 7 ночей подряд. Такое поведение неудивительно: BL Lac также демонстрируют периоды спокойствия. Однако, имеются свидетельства микропеременности и у RQ NLS, так что микропеременность не может служить единственным критерием определения блазароподобной ориентации объекта. Нужны измерения и других параметров — поляризации, радиогромкости и т.п. Хотя следует отметить, что RL NLS более переменны в оптике, чем RQ NLS (Yuan, Zhou, 2008).

**$\gamma$ -излучение** После запуска космического аппарата FERMI во многих NLS было обнаружено излучение в  $\gamma$ -диапазоне. До запуска считалось, что только 2 класса объектов излучают в этом диапазоне - блазары и радиогалактики. Более того, некоторые NLS демонстрируют переменность в  $\gamma$ -диапазоне (Eggen, Miller, 2011). Сильная переменность в  $\gamma$  полностью исключает вариант, что источником является вспышка звездообразования (Calderone, 2011). Все наблюдаемые в  $\gamma$ -лучах NLS являются радиогромкими (Foschini, 2011), на настоящий момент известны блазары с такими же, относительно небольшими, радиопотоками.

**Поляризация** 3 из 7-ми объектов из выборки RL NLS (Eggen, Miller, 2011) демонстрируют поляризацию  $\sim 1\%$ . Лишь в J0948+0022 поляризация составляет 1.18% (0.9% по результатам (Giroletti, Paragi, 2011)). Что интересно, в работе 2009-ого года значение составляло 18.8%. Такая переменность в поляризации характерна для блазаров.

**Рентгеновский диапазон** То, что рентгеновские свойства RL NLS и RQ NLS различны, было указано в (Yuan, Zhou, 2008). Существует известная корреляция фотонного индекса мягкого рентгена  $\Gamma$  с  $FWHM(H\beta)$  для RQ NLS. RL NLS не следует ей, что говорит о различном механизме излучения рентгена в RL NLS и RQ NLS. Форма спектра в мягком рентгене разнообразна среди RL NLS. Наблюдаются

объекты с плоскими спектрами из-за обратного комптона в джете, у большинства же — крутые спектры от высокоэнергетичного хвоста синхротронного рентгена.

Также на плоскости  $\alpha_{OX} - \alpha_{RO}$  они лежат в области, занимаемой блазарами (Yuan, Zhou, 2008). Интересно, что доля HFSRQ высока, хотя пики их синхротронных компонент обладают не очень высокой энергией, находясь в УФ-диапазоне. Это расширяет недавно обнаруженную популяцию HFSRQ/HBL с сильными линиями до диапазона NLS (Yuan, Zhou, 2008; Padovani, Perlman, 2003).

**Радиодиапазон** Наблюдения известных на тот момент (2007г) RL NLS (9 штук) на JAPANESE VLBI network, показали, что они обладают инвертированным спектром (Doi, Fujisawa, 2007). По-видимому, имеет место доплеровское усиление.

Радиоизлучение в RL NLS не может идти из областей звездообразования, NLS ярче в радиодиапазоне, чем самые мощные LIRG и ULIRG (Komossa, Voges, 2006).

Все источники из выборки (Yuan, Zhou, 2008) компактны, не разрешены в обзоре FIRST. Большинство объектов с доступными радиоиндексами имеют плоские спектры ( $1.4 - 5GHz$ ), некоторые — инвертированные. Большая часть объектов с плоскими спектрами демонстрируют значительную переменность, яркостная температура составляет порядка  $10^{11}K$ . В 4-ех даже превышает  $10^{12}K$  (Комптоновский предел). Видимо, наблюдаемое объясняется релятивистским усилением (relativistic beaming).

По наблюдениям в радио на см–мм, в (Fuhrmann, Angelakis, 2011) был сделан вывод, спектры RL NLS похожи на спектры блазаров, и что яркостные температуры в NLS находятся на нижнем конце распределения такового для блазаров.

Заслуживает упоминания результат из работы (Broderick, Fender, 2011). Если осуществить коррекцию радиогромкости на массу, то дихотомия объектов радиогромкие/радиотихие исчезает, остаётся лишь общий тренд увеличения радиогромкости с уменьшением темпа аккреции. Под

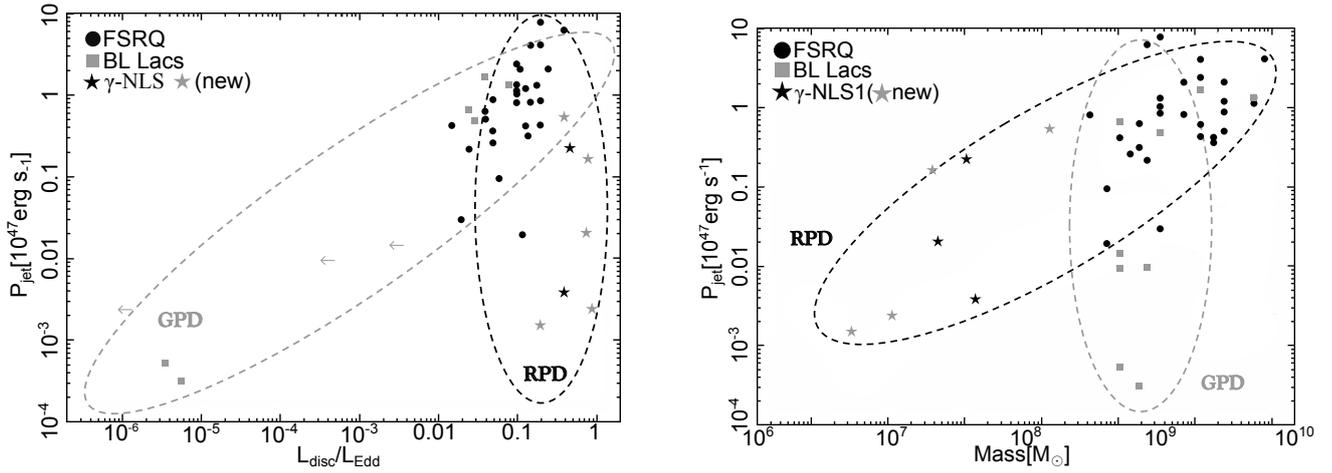


Рис. 9: Мощность джета в зависимости от массы центральной ЧД(справа) и аккреционной светимости в Эддингтоновских единицах(слева). GPD (Gas Pressure Dominated) - режим с доминирующей ролью давления газа, RPD (Radiation Pressure Dominated) - режим с доминирующей ролью давления излучения. Рисунок взят из работы (Foschini, 2011a).

коррекцией авторы подразумевают использование  $\lg R - 0.4 \lg M_{BH}$  вместо  $\lg R$ , где  $R$  — радиогромкость.

На плоскости  $P_{jet}$  (мощность джета) —  $L_{disk}/L_{edd}$  объекты GRP (Gas Pressure Dominated — с доминированием газового давления) и RPD (Radiation Pressure Dominated — с доминированием давления излучения) занимают различные области. BL Lac являются GPD, FSRQ (Flat Spectrum Radio Quasars) и  $\gamma$ -NLS — RPD (Foschini, 2011a). Подробнее см рис 9. По энергетике  $\gamma$ -NLS находятся между BL LAC и FSRQ, в ярких вспышках энергия сравнима с FSRQ (D’ammando, 2010).

Интересно, что светимости в линиях в оптическом диапазоне не связаны со светимостью джета, так как не он освещает BLR (Decarli, Dotti, 2011).

RL NLS отличаются от других RL AGN во многих отношениях: у них меньшие чёрные дыры, большие  $L/L_{edd}$  и более сильная эмиссия FeII, высокая доля объектов со спектрами типов HBL/HFSRQs (Yuan, Zhou, 2008). Важным является, то джет образуется в спиральных системах, в противоречии с тем, что было известно ранее (D’ammando, 2010).

Как было отмечено в работе (Foschini, 2011a),  $\gamma$ -NLS (с джетами)

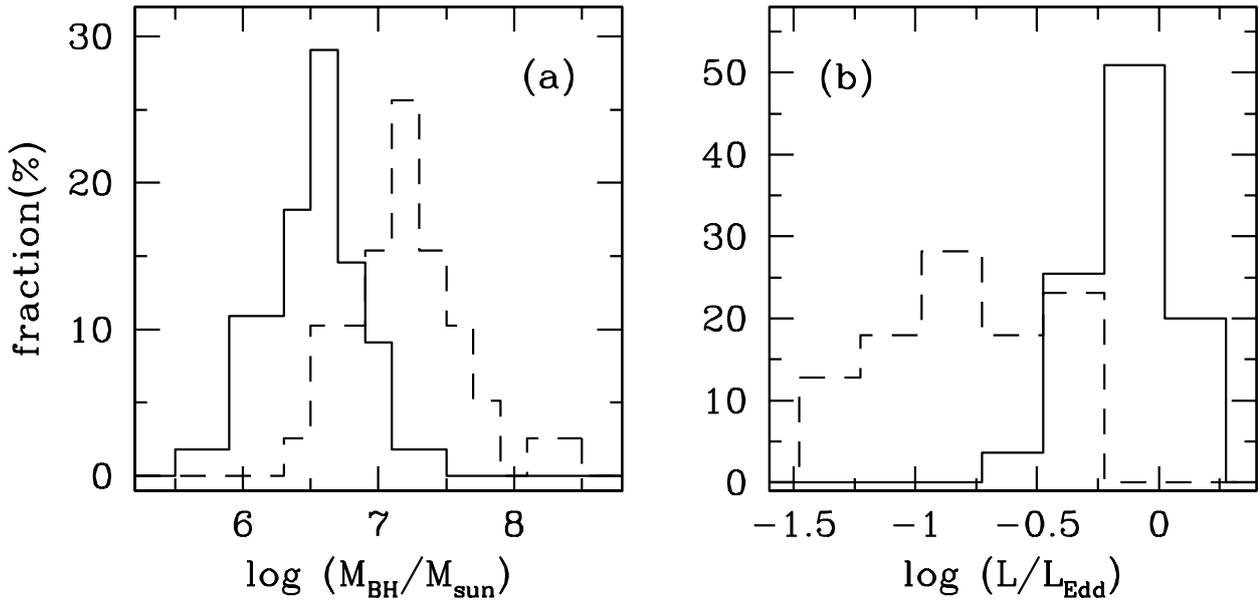


Рис. 10: Гистограммы распределений масс СМЧД и Эддингтоновских соотношений (NLS — сплошная линия, BLS — пунктирная). График взят из работы (Ху, Komossa, 2011).

похожи на блазары джетами, и только ими. Всё остальное отлично.

#### 4.2.2 Центральная СМЧД (СверхМассивная Чёрная Дыра)

Результат, что в NLS массы центральных чёрных дыр меньше, чем в BLS, был получен во множестве независимых исследований, например (Botte, Cirioi, 2004), (Ху, Komossa, 2011). В последней работе приведены следующие средние значения  $\log M_{BH}$ :

$$\text{NLS: } 5.7-7.3; \langle \log M_{BH} \rangle = 6.5;$$

$$\text{BLS: } 6.5-8.4; \langle \log M_{BH} \rangle = 7.2;$$

График распределения по  $\log M_{BH}$  и  $L/L_{edd}$  для BLS и NLS из этой работы приведён на рис 10.

Вторым параметром, возможно, определяющим свойства NLS, является вращение СМЧД. Ситуация осложняется тем, что оценка вращения СМЧД — это весьма затруднительная задача. Один из вариантов представлен в работе (Patrick, Reeves, 2011). Использовались высококачественные рентгеновские спектры, полученные на Suzaku с временем накопления

$t > 200ks$ , которые фитировались модельными спектрами, откуда были получены оценки масс и спинов СМЧД.

Предположение о связи вращения СМЧД со свойствами NLS было сделано многими авторами. Например, в (Komossa, Voges, 2006) было сказано следующее: Аккреция раскручивает ЧД. Если вращение ЧД питает джет, то тот факт, что NLS реже бывают RL, может говорить об их меньшем возрасте. Более того, наиболее проэволюционировавшие (лежащие ближе к зависимости  $M_{BH} - \sigma$ ), должны быть в среднем более радиояркими, что и наблюдается.

Касательно выше сказанного можно сделать замечание, что более проэволюционировавшие NLS обладают бóльшими ЧД. Как было отмечено выше, существует антикорреляция  $L/L_{edd}$  и  $M_{BH}$ . Так же выше было сказано, что объекты с меньшими  $L/L_{edd}$  с большей вероятностью являются радиогромкими.

Возможно, существует так же связь между вращением и свойствами аккреционного диска и, как следствие, оптическими свойствами NLS. Причина этого заключается в том, что секулярная эволюция (доминирующая в NLS) приводит к раскручиванию ЧД. Радиус последней стабильной круговой орбиты (Innermost Stable Sircular Orbit) 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 (Patrick, Reeves, 2011; Xivry, Davies, 2011; Vasudevan, Gallo, 2011; Xivry, Davies, 2011a).

В работах, посвящённых роли вращения ЧД в образовании джета, высказываются противоположные утверждения. Ясно только, пожалуй, что вращение ЧД играет роль в RL NLS, так как RL NLS кроме джета ничем более не отличаются от RQ NLS. Радиомощность RL NLS соответствует таковой у объектов FRI (Yuan, Zhou, 2008).

Приведём имеющие отношение к рассматриваемой проблеме выводы 2-ух работ 2010-ого года.

1. (Garofalo, Evans, 2010):

- FRII обладают ретроградной, FRI — проградной аккрецией.

- У FRII эффективность джетов выше, чем у FRI.
- В проградных системах в состояниях HERG высока эффективность диска, в ретроградных системах и в LERG состояниях эффективность диска низка.
- 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 быстровращающиеся — самые радиотихие системы.*
- 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 порождает короткоживущий, мощный, коллимированный джет, подобный наблюдаемому в  $\mu QSO$ .

2. В другой работе, (Dotti, Colpi, 2010) сказано следующие:

- Проградная аккреция также может запустить джет, но он будет в  $\sim 30$  раз слабее.
- Должна быть 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.

- Секулярная эволюция.
- Переработка момента вращения ЧД в энергию джета.

- Minor Mergings, которые имеют место быть при эволюции NLS  $\rightarrow$  BLS, так как при этом переходе балдж сменяет псевдобалдж.

Какой из механизмов, (Garofalo, Evans, 2010) или (Dotti, Colpi, 2010) справедлив, определяет возможные пути эволюции NLS. Это, к сожалению, неясно.

## 5 Методы определения масс СМЧД

В настоящее время существует несколько методов оценки масс ЧД, применимых к активным галактикам типа NLS.

### 5.1 Reverberation Mapping(RM)

RM является самым надёжным на сегодняшний день. В идеальном случае результатом является карта: скорость–задержка  $\Psi(\tau, V_{LOS})$ . Но это налагает высокие требования на получаемые данные. Для большинства объектов просто вычисляется среднее время  $\tau$  задержки всей эмиссионной линии. Недавно разработанная методика позволяет, используя линии с различной задержкой, заполнять пробелы в данных (Peterson, 2011). Формула для определения  $M_{BH}$  при помощи RM такова:

$$M_{BH} = f \left( \frac{\Delta V^2 c \tau}{G} \right)$$

где  $\tau$  — задержка,  $\Delta V$  — ширина линии,  $f$  — масштабный фактор. Основными источниками ошибок являются  $f$  и  $\Delta V$ . Для  $\Delta V$  стоит вопрос об алгоритме усреднения (mean или rms), учёта узкой компоненты и т.п. Существенным преимуществом является то, что на результаты RM не влияют линии из NLR.  $f$  зависит от анизотропии излучения, от формы BLR, от метода измерения ширины линии. Можно использовать усреднённый  $f$ . Будут присутствовать ошибки, но они не будут являться функцией  $\Delta V$  или  $\tau$  (Peterson, 2011).

Для большей надёжности RM лучше всего выполнять по большому кол-ву линий одновременно. При использовании только лучших данных

из  $RM$ , дисперсия соотношения  $R-L$  уменьшается до  $0.11dex$  (Vestergaard, Denney, 2011).

Отметим, что в настоящий момент (2011 год) данные по  $RM$  получены примерно для полусотни объектов.

## 5.2 Оценки масс ЧД из наблюдений в одну эпоху

Наиболее точным методом является измерение дисперсии скоростей звёзд балджа напрямую, так они подвергаются воздействию исключительно гравитационных сил. Однако, помимо проблем с собственно наблюдением абсорбционных линий, для этого необходимо проводить спектроскопию с высоким угловым разрешением. Радиус влияния ЧД составляет

$$M_{BH} = \frac{2GM_{BH}}{\sigma_*^2}$$

где  $\sigma_*$  — звёздная дисперсия скоростей балджа (Peterson, 2011). Поэтому используется ширина эмиссионных линий (в том числе в ИК диапазоне, см (Landt, Bentz, 2011)), однако это сопряжено с рядом трудностей. На газ действуют в том числе и негравитационные силы, которые в общем случае невозможно учесть.

Основными источниками ошибок в определении масс ЧД при помощи наблюдений в одну эпоху являются вклад излучения от NLR и низкое отношение  $S/N$  (Denney, Assef, 2011).

В NLR не доминирует поле ЧД. Если не вычитать из спектра линии, образующиеся в NLR, то массы ЧД получаются сильно заниженными (Denney, Assef, 2011).

Свою роль играет и абсорбция, которую невозможно учесть, если спектр получен с низким отношением  $S/N$  (Denney, Assef, 2011).

Проблема заключается в том, что систематика, вносимая низким  $S/N$ , не исправляется бóльшим объёмом выборки. Лучше всего использовать сразу несколько линий с хорошими  $S/N$  (20–25рег рх). Ширина линии входит в соотношение во второй степени, что усугубляет ситуацию. Низкие  $S/N$  ведут к недооценке ширины. Массовые обзоры NLS с низким отношением  $S/N$  в спектрах есть, таким образом, плохой инструмент для исследования

свойств данного класса объектов (Vestergaard, Denney, 2011).

При сравнении масштабных соотношений для различных линий необходимо удостовериться, что они подразумевают одинаковый диапазон масс ЧД. Стоит отметить, что соотношения для MgII и CIV не работают в NLS. В CIV у NLS присутствуют истечения (Vestergaard, Denney, 2011).

Не следует также забывать про переменность в линиях. Ошибка определения  $M_{BH}$  из-за переменности в  $H\beta$  составляет  $\sim 10\%$ . Переменность в континууме оказывает меньшее влияние (Woo, Park, 2011).

В среднем, точность масштабных соотношений — фактор 3 (Woo, Park, 2011)–4 (Vestergaard, Denney, 2011).

При использовании наблюдений за одну эпоху ширины линий получаются систематически меньше, чем при получении ширин из rms-спектров. Эффект заметен для  $M_{BH} < 10^7 M_{\odot}$ . Т.е. маломассивные ЧД переоцениваются (Woo, Park, 2011).

Свой вклад в систематику вносит также использование FWHM вместо  $\sigma$ , приводя к переоценке масс ЧД у объектов с широкими линиями, и недооценке масс у объектов с узкими линиями.

Стоит упомянуть, что этот метод определения  $M_{BH}$  основан на одном существенном допущении —  $n_H$  и ионизационный параметр сходны для всех NLS (Peterson, 2011).

В целом, различные методы дают неплохое согласие (Peterson, 2011).

## 6 Масштабные соотношения

### 6.1 Соотношение $M_{BH} — \sigma_*$

Долгое время господствовало мнение, что соотношение  $M_{BH} — \sigma_*$ , где  $\sigma_*$  — дисперсия скоростей балджа, не выполняется для объектов типа NLS. В том смысле, что NLS лежат ниже основной зависимости. Приведём лишь малую часть работ, подтверждающих этот результат: (Mathur, 2001), (Wandel, 2003), (Botte, Ciroi, 2003), (Botte, Ciroi, 2004) и т.п.

Однако, есть ряд неточностей. У NLS сильная эмиссия не позволяет оценивать дисперсию скоростей звёзд по абсорбционным линиям. Вместо этого используются эмиссионные линии, например [OIII] и [SII]. Ещё в

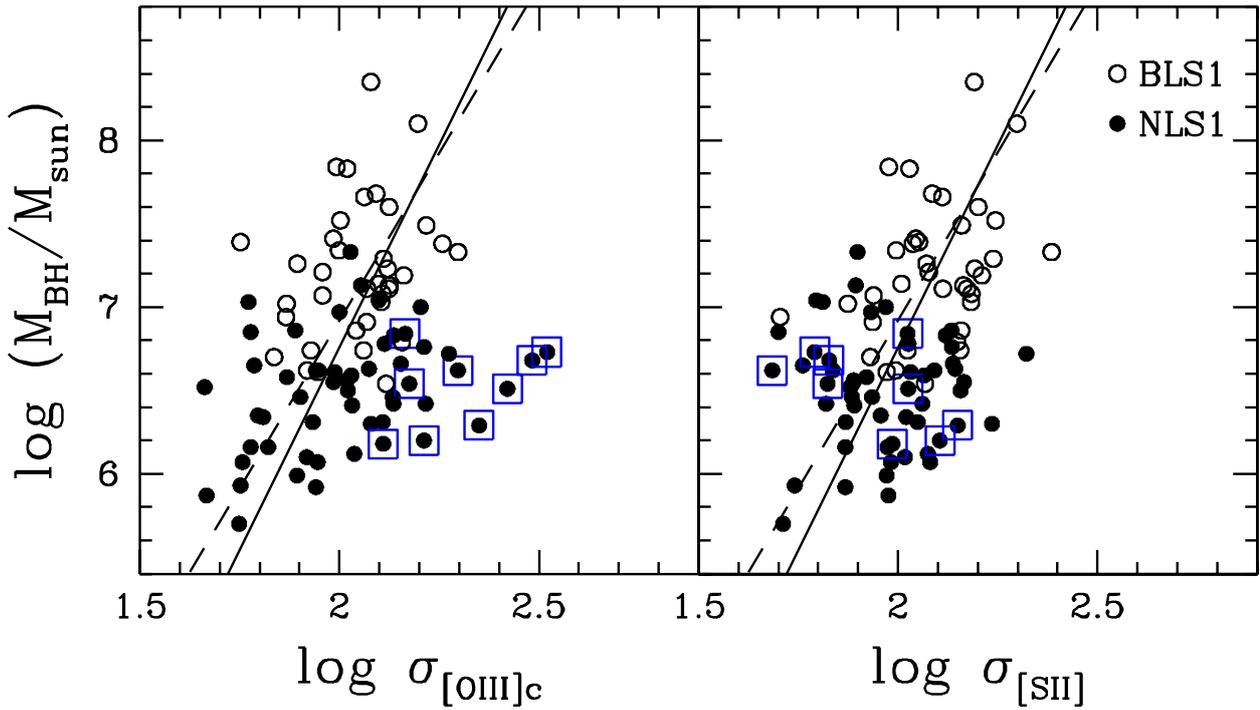


Рис. 11: Расположение галактик NLS(заполненные кружки) и BLS(пустые кружки) на плоскости  $M_{BH} - \sigma$ . Выпадающие по [OIII] объекты дополнительно обведены квадратами. Слева: измерения  $\sigma$  основаны на ядре линии [OIII] $\lambda$ 5007. Справа: измерения  $\sigma$  основаны на [SII]. Пунктирная и сплошная линии представляют соотношение  $M_{BH} - \sigma$  для неактивных галактик. Рисунок взят из работы (Ху, Komossa, 2011).

(Botte, Ciroi, 2004) высказывалось мнение, что достоверность корреляции [OIII] —  $\sigma_*$ , вообще говоря, неизвестна. Выше упоминалось о наличии истечений в [OIII] в NLS. Так, в (Ху, Komossa, 2011) было сказано, что если следовать 2-ум простым правилам, а именно: брать ядро линии и отбрасывать объекты с синим смещением (с истечениями), то NLS ложатся на соотношение  $M_{BH} - \sigma_*$  для BLS и неактивных галактик. Подробнее см рис 11, взятый из этой работы.

Также NLS находятся на зависимости  $M_{BH} - \sigma_*$ , если использовать другую спектральную линию, что было показано, например, в работах (Komossa, 2007), (Ху, Komossa, 2011), использовавших для анализа линию [SII].

Вторым источником ошибок является определение  $M_{BH}$ . Так, в подробно рассмотренной выше работе (Zhu, Zhang et al., 2009), было отмечено, что, если брать не всю ширину линии, а ширину только VBGC, то NLS

ложатся ближе к зависимости  $M_{BH} - \sigma_*$ .

Это что касается методики измерения. Балджи NLS являются, по сути, псевдобалджами. Масштабные соотношения, установленные для классических балджей и эллиптических галактик, к балджам и псевдобалджам неприменимы (Mathur, 2011). Или же  $M_{BH} - \sigma_*$  вообще зависит от морфологического типа (Bentz, 2011).

Вообще говоря, физика взаимосвязи массы центральной ЧД и дисперсии скоростей неизвестна. В области, где измеряются  $\sigma_*$ , звёзды в гораздо большей степени "чувствуют" гравитацию других звёзд, чем центральной ЧД. Рядом авторов были сделаны предположения об отсутствии тут физики вообще. 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 (Batcheldor, 2010). Или что корреляция существует, но не является результатом действия какого-либо особого физического механизма, а лишь совместной сборки в ходе эволюции (Xivry, Davies, 2011).

Отметим работу (Xia, Barth, 2011), посвящённую маломассивным AGN с маломассивными ЧД, где сделан вывод, что зависимость  $M_{BH} - \sigma_*$  для них не отличаются от таковой для неактивных галактик.

В качестве итога, приведём цитату из недавней работы, посвящённой исследованию масштабных соотношений для NLS:

It is still unclear whether Narrow Line Seyfert 1 galaxies are consistent with the  $M_{BH} - \sigma_*$  relation of quiescent galaxies and broad line AGNs.

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

Про соотношение  $M_{BH} - \sigma_*$  у галактик с различной морфологией и типом активности ядра см. также работу (Beifiori, Courteau et al., 2011), где основной результат заключается в том, что корреляция  $M_{BH} - \sigma_*$  является самой тесной из всех, и использование различных дополнительных параметров не даёт значительного улучшения.

## 6.2 Соотношение $M_{BH} — L_{buldge}$

Также отсутствует окончательная ясность в вопросе о соотношении  $M_{BH} — L_{buldge}$  применительно к NLS. Многими авторами был получен результат, что NLS лежат ниже зависимости для BLS. См., например, (Mathur, 2001), (Wandel, 2003). (Mathur, 2001) пытались объяснить это либо меньшими массами ЧД, либо меньшими соотношениями масса-светимость (по причине более молодого звёздного населения). Вывод из (Botte, Ciroi, 2003), что NLS лежат на зависимости для BLS, основан на светимостях балджей, полученных из хаббловских типов родительских галактик.

В (Bian, Zhao, 2003) было высказано предположение, что отношение  $M_{BH}/M_{buldge}$  не является константой, т.е. зависимость  $M_{BH}$  от  $L_{buldge}$  — нелинейна. Там же было отмечено наличие корреляции  $M_{BH}/M_{buldge}$  с  $FWHM([OIII])$ .

Открытие того, что родительские галактики NLS, в отличие от BLS, содержат псевдобалджи, приблизило нас к пониманию эволюции NLS.

Отклонение NLS от зависимости  $M_{BH} — L_{buldge}$  было подтверждено и в совсем недавних работах, например (Mathur, 2011) по наблюдениям HST/ACS и (Wandel, 2011).

Тем не менее. Справедливости ради стоит отметить работу (Bentz, 2011), авторами которой исследовалась выборка NLS с данными RM (Reverberation Mapping). Результат заключается в том, что NLS и BLS лежат на общей зависимости, независимо от наличия/отсутствия бара и типа балджа. Соотношение  $M_{BH} — L_{buldge}$ , в силу малой дисперсии даже предложено автором как средство оценки масс ЧД. Бóльшая дисперсия соотношения у NLS объясняется более молодым звёздным населением, пылью, баром и другими явлениями, снижающими точность фотометрии.

## 6.3 Прочие соотношения

В работе (Ho, Darling, 2008) указывалось наличие корреляции  $M_{BH} — V_m$ , где  $V_m$  — максимальная вращательная скорость, полученная по наблюдениям HI. Однако, учитывая весьма значительную дисперсию полученных соотношений, можно предположить, что тут отсутствует физический меха-

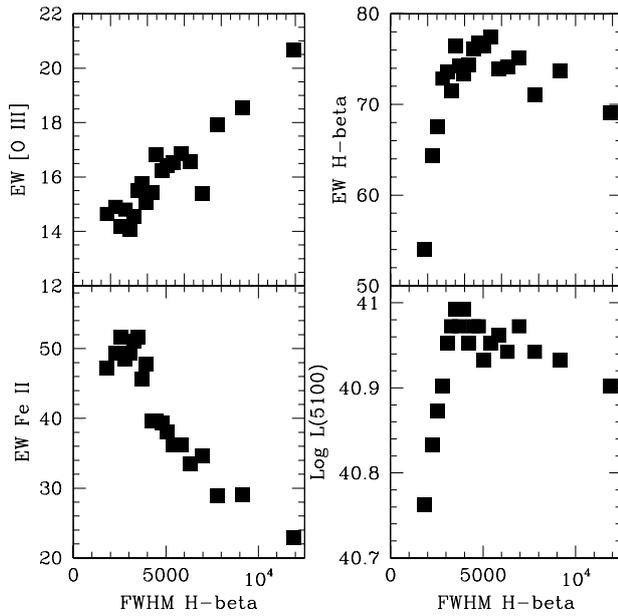


Рис. 12: Четыре примера корреляций, обнаруживаемых при обработке большой выборки. Разбиение осуществлено на 20 подвыборок. На каждой диаграмме отображены медианные значения различных параметров в зависимости от медианного значения  $FWHM(H\beta)$  для каждой подвыборки. График взят из работы (Boroson, 2011).

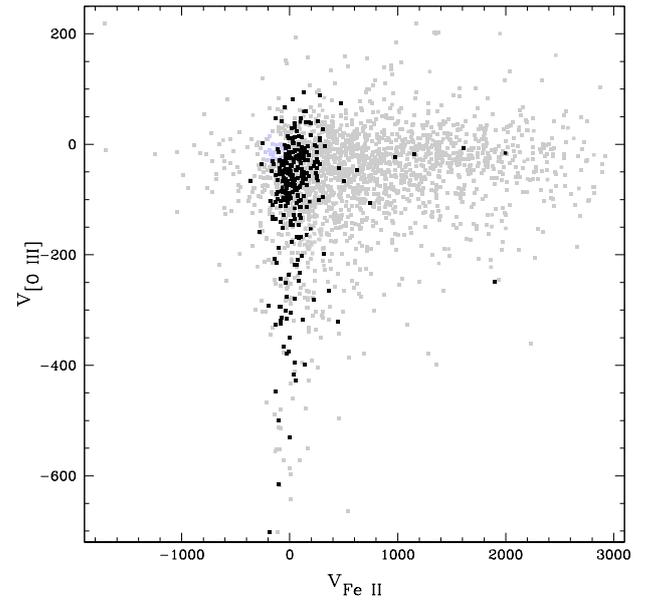


Рис. 13: Скорости истечения [OIII] в зависимости от скоростей FeII. Обе скорости относительно [OII] $\lambda$ 3727. NLS показаны чёрным цветом. График взят из работы (Boroson, 2011).

низм. А результат является следствием общих соображений: больше галактика — больше  $V_m$  и больше галактика — больше ЧД(в среднем).

Исследованию корреляции круговой скорости с  $M_{BH}$  посвящена также работа (Засов, Черепашук, Катков, 2011). Результат, полученный авторами, заключается в том, что  $V_1$  — круговая скорость на расстоянии  $1kpc$  тесно коррелирует с  $M_{BH}$ , в отличие от  $V_{far}$  — скорости на большем 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.

Новая корреляция была обнаружена в работе (Wandel, 2011):

$$M_{BH}/L_{buldge} \sim v^2$$

, где  $\nu$  — ширина эмиссионных линий. Откуда получается, что

$$r_{BLR} \sim L_{buldge}$$

а также

$$L_{AGN} \sim L_{buldge}^2$$

Все эти соотношения не отличаются для обычных AGN и NL AGN, включая NLS.

Также следует упомянуть два важных результата из работы (Boroson, 2011).

Первый касается того эффекта, что в локальной Вселенной ЧД аккрецируют с высокими  $L/L_{edd}$ , только если их  $M_{BH}$  малы. Возникает вопрос, не вызван ли этот эффект какой-либо систематикой. Для исчезновения эффекта необходимо, чтобы связь  $FWHM(H\beta)$  с  $M_{BH}$  полностью отсутствовала.

Во-вторых, большая выборка авторов позволила выявить 4 новые корреляции, которые невозможно, в силу большой дисперсии, обнаружить на малых выборках.

1.  $EW[OIII]$  от  $FWHM(H\beta)$
2.  $EW(FeII)$  от  $FWHM(H\beta)$
3.  $EW(H\beta)$  от  $FWHM(H\beta)$
4.  $\log \lambda L_\lambda(5100\text{\AA})$  от  $FWHM(H\beta)$

Зависимость 1 — прямая, 2 — обратная, 3 и 4 демонстрируют резкий рост до определённого значения  $FWHM(H\beta)$ , затем — плавный спад. См. рис1 из работы (Boroson, 2011). Интересно, что, если первые две корреляции являются плавными на всём интервале изменения  $H\beta$ , то 3 и 4 претерпевают резкое уменьшение при переходе к объектам с узкими  $H\beta$  (см рис 12).

## 7 Млечный Путь и NLS

Попробуем взглянуть на феномен NLS с другой точки зрения. Млечный Путь(MW) — спиральная галактика типа Sbc, масса СМЧД составля-

ет, по последним оценкам,  $M_{BH} \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$  (Ghez, 2008) и его балдж, по всей видимости, является псевдобалджем. MW обладает характеристиками, присущими родительским галактикам NLS. Но в текущую эпоху MW не демонстрирует признаков мощной активности в ядре, подобной NLS. Тем не менее, признаки таковой в прошлом наблюдаются.

В работе (Levin, Beloborodov, 2003) был обнаружен диск около центральной ЧД, состоящий из молодых звёзд, возникновение которого было объяснено авторами как вспышка звездообразования в аккреционном диске. Аккреция происходила 3–9 млн лет назад.

Более существенное подтверждение активности типа NLS в прошлом было получено после запуска лаборатории FERMI. В  $\gamma$ -диапазоне были обнаружены так называемые FERMI bubbles. Работа (Guo, Mathews, 2011) посвящена численному моделированию этого феномена. Наблюдаемое хорошо описывается вспышкой AGN около 1–2 млн лет назад, продолжительностью  $\sim 0.1\text{--}0.5 Myr$ , темп аккреции  $\dot{M}_{BH} \sim 0.015 M_{\odot}/yr$ , эддингтоновское соотношение  $L/L_{edd} \sim 0.16$ .

Какова вероятность того, что MW был/будет/может быть NLS? 2/3 локальных галактик обладают свойствами, подобными NLS, из них доля NLS составляет  $\sim 9\%$  (Xivry, Davies, 2011).

## 8 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.

Одним из предполагаемых вариантов возможного прошлого NLS были галактики типа LIRG, однако это было опровергнуто. NLS не претерпевали major mergings (больших мерджингов), доминирующим механизмом является секулярная эволюция (SE). Для эффективного воздействия feedback механизма на родительскую галактику не хватает нескольких порядков по величине энергии AGN (Mathur, 2011). Таким образом, можно с уверенностью говорить о прошлом родительских галактик NLS — в целом их эволюция соответствует таковой у неактивных галактик. Дальнейшая же судьба

может развиваться по 2-ум сценариям. Если произойдёт большое слияние, эволюция галактики пойдёт по пути ULIRG  $\rightarrow$  IR QSO  $\rightarrow$  QSO, конечным продуктом будет являться эллиптическая галактика. В случае же отсутствия major mergings, дальнейшее будет зависеть от частоты minor mergings. В работе (Xivry, Davies, 2011) приведено распределение по индексам серсика балджей NLS и BLS (см рис 1).  $\langle n_b \rangle$  для BLS выше, чем для NLS, однако диапазон значений у BLS шире, и почти полностью включает в себя NLS. По-видимому, в реальности реализуется варианты перехода NLS  $\rightarrow$  BLS с различной частотой minor mergings. Временной интервал роста ЧД в NLS до BLS составляет порядка  $10^8$  лет (Bian, Zhao, 2003), что соответствует времени роста балджа за счёт minor mergings (Botte, Ciroi, 2004).

Что касается ЧД, то относительно набора массы можно сказать, опять же, что он будет происходить не за счёт мерджингов, а за счёт секулярной эволюции (Xivry, Davies, 2011). Но не следует забывать о роли вращения ЧД, относительно которого отсутствует полная ясность. Единственным достоверным методом изучения вращения ЧД является изучение высококачественных рентгеновских спектров, см., например, (Patrick, Reeves, 2011).

В работе (Mathur, 2000) был отмечен избыток азота в центральных областях NLS, что говорит в пользу CNO цикла. Такое может происходить при звездообразовании в потенциальной яме, с большей долей массивных звёзд. (Wang, Mao, 2011) отмечали, что чем более развиты истечения в [OIII] из-за AGN, тем моложе звёздное население в центральных областях. (Crenshaw, Kraemer, 2003) обнаружили значительное количество околоядерных колец в сейфертовских галактиках. (Saxton, Read, 2011) подробно изучили объект GSN 069 где, по мнению авторов, на наших глазах происходит смена режима AGN и формируется BLR. Таким образом, если эволюция крупномасштабной структуры родительской галактики при переходе NLS  $\rightarrow$  BLS, по-видимому, не несёт в себе никаких неожиданностей, как и эволюция крупномасштабного балджа, то изучение центральных областей, динамики газа, пыли, остаточных звёздных структур после вспышки звездообразования(SF) может пролить свет на механизм работы секулярной эволюции.

Интересным является вопрос о стабильности различных околоядерных

звёздных образований при minor mergings. И если индекс серсика у BLS действительно позволяет определить, происходили ли мерджинги при переходе NLS  $\rightarrow$  BLS, то мы имеем возможность изучить этот вопрос путём исследования центральных областей NLS и BLS с высоким разрешением.

Коснёмся теперь, очень вкратце, так как это не тема данного обзора, роли секулярной эволюции во вселенной. SE, по-видимому, доминирующий механизм роста СМЧД в локальной Вселенной (Mathur, 2011). Что является результатом как симуляций, так и наблюдений. 2–6% галактик в локальной вселенной подобны NLS, в том смысле, что их активность связана с секулярной эволюцией (Xivry, Davies, 2011).

Касательно NLS, было выдвинуто предположение, что они являются аналогами QSO на низких красных смещениях, являясь молодыми системами в каком-либо из смыслов понятия "молодости" (см, например, (Mathur, 2000)). Весьма занятно, на наш взгляд, что ситуация получается диаметрально противоположная. NLS претерпевают секулярную эволюцию. И появляется всё больше работ, посвящённых тому, что и на больших  $z$  секулярная эволюция играет важную, если не доминирующую, роль.

Так, например, (Romeel, Dave, 2011) обнаружили, что SF галактики на  $z = 2$  имеют кардинальное отличие от таковых на  $z = 0$ . Если в локальной вселенной мощные вспышки звездообразования вызваны мерджингами, то SF галактики на  $z=2$ , несмотря на хаотичную морфологию в оптике, ( $H\alpha$ ), обладают регулярной кинематикой, т.е. SB(starburst) не есть результат слияний, а связана с аккрецией вдоль филаментов. (Letawe, Magain, 2007) обнаружили, что среди родительских галактик RQ QSO доля спиралей сравнима с долей эллиптических систем, у многих наблюдается молодое звёздное население. (Schawinski, Treister, 2010) провели анализ данных HST WFC3 в ИК-диапазоне и обнаружили, что на  $z=1.5-3$  у родительских галактик AGN высока доля дисковых систем.

## 9 Выводы

- Определяющими свойствами NLS, выделяющими их в особый класс объектов, являются: в оптике — сильная линия FeII, слабая линия [OIII], узкая линия ( $< 2000\text{км/с}$ )  $H\beta$ ; в рентгене — крутые спектры,

быстрая переменность в мягком рентгене.

- Родительские галактики NLS принадлежат к более поздним типам, чем BLS,  $\langle HT \rangle$  (средний Хаббловский тип) составляет 3.0 и 1.0 соответственно. У NLS выше доля баров, ядерных колец. Для NLS характерна GD (Grand Design) морфология ядерных пылевых спиралей, бóльший темп звездообразования. Очень важным моментом является то, что в родительских галактиках NLS не наблюдаются классические балджи, а, как правило, псевдобалджи с  $n_b < 2$ , и  $\langle B/T \rangle$  для них составляет 0.17.
- Несмотря на противоречивые результаты, NLS, судя по всему, лежат на зависимостях  $M_{BH} - \sigma_*$  и  $M_{BH} - M_{buldge}$ . Небольшие отклонения в сторону меньших  $M_{BH}$ , если они действительно имеют место быть, связаны с тем, что родительские галактики NLS содержат псевдобалджи.
- 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, бóльшими скоростями вращения ЧД, что приводит к тому, что ISCO (последняя стабильная круговая орбита) находятся ближе к центральной ЧД.
- В довольно значительной доле NLS обнаружены  $H_2O$  мазеры. Причём механизм усиления в диске тут не работает в силу того, что NLS не наблюдаются с ребра. Местоположение мазеров в NLS — открытый вопрос.
- 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 MBH.

- Эволюционный статус NLS окончательно не ясен и заслуживает детального изучения.

## Список литературы

- [1] D. Batcheldor, *ApJ*, 711, L108–L111, 2010.
- [2] A. Beifiori, S. Courteau, E. M. Corsini, Y. Zhu, 2011, arXiv:1109.6265v1
- [3] M. Bentz 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 033.
- [4] W. Bian, Y. Zhao, *PASJ*, 55, 143–148, 2003
- [5] T. A. Boroson, R. F. Green, 1992, *ApJS*, 80, 109
- [6] T. A. Boroson, 2002, *ApJ*, 565, 78
- [7] T. A. Boroson 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 003.
- [8] V. Botte, S. Ciroi, P. Rafanelli, *MSAIS*, 3, 230, 2003
- [9] V. Botte, S. Ciroi, P. Rafanelli, F. Di Mille, *AJ*, 127:3168–3179, 2004
- [10] J. W. Broderick, R. P. Fender, 2011, arXiv:1105.3769
- [11] A. Burkert, S. Tremaine, *ApJ*, 720:516–521, 2010
- [12] A. Caccianiga, P. Severgnini et al. 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 066.
- [13] G. Calderone 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 045.
- [14] N. Castelló-Mor, X. Barcons 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 046.
- [15] D. M. Crenshaw, S. B. Kraemer, J. R. Gabel, *AJ*, 126:1690–1698, 2003
- [16] D. M. Crenshaw, T. C. Fischer, S. B. Kraemer, H. R. Schmitt 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 027.
- [17] B. Czerny, M. Nikolajuk, *MSAIS*, 81, 281, 2010
- [18] F. D’Ammando, 2010, arXiv:1012.1120v1
- [19] R. Decarli, M. Dotti, M. Fontana, F. Haardt, *MNRAS*, 386, L15–L19, 2008
- [20] R. Decarli, M. Dotti, F. Haardt, S. Zibetti, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the

- Universe, PoS(NLS1) 041.
- [21] K. D. Denney, R. J. Assef et al. 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 034.
  - [22] R. P. Deo, D. M. Crenshaw, S. B. Kraemer, AJ, 132:321–346, 2006
  - [23] A. Doi, K. Fujisawa, PASJ, 59, 703–709, 2007
  - [24] M. Dotti, M. Colpi, ASPCS, 427, 19, 2010
  - [25] D. Dultzin, M. L. Martínez et al. 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 012.
  - [26] J. R. Eggen, H. R. Miller, J. D. Maune 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 049.
  - [27] T. C. Fischer, D. M. Crenshaw, S. B. Kraemer, H. R. Schmitt 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 050.
  - [28] D. A. Forbes, IAUS, 207, 238F, 2002
  - [29] L. Foschini, 2011, arXiv:1105.0772v1
  - [30] L. Foschini, 2011, arXiv:1106.5532v1
  - [31] L. Fuhrmann, E. Angelakis, I. Nestoras et al. 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 026.
  - [32] L. C. Gallo 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 017.
  - [33] D. Garofalo, D. A. Evans, R. M. Sambruna, MNRAS, 406, 975-986, 2010
  - [34] M. Giroletti, Z. Paragi, H. Bignall et al. 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 051.
  - [35] A. M. Ghez et al., ApJ, 689, 1044, 2008
  - [36] D. Grupe 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 004.
  - [37] F. Guo, W. G. Mathews, 2011, arXiv:1103.0055v1
  - [38] W. E. Harris, S. Van Den Bergh, AJ, 86, 1627, 1981
  - [39] L. C. Ho, J. Darling, J. E. Greene, ApJ, 681:128–140, 2008

- [40] L. C. Ho, J. Darling, J. E. Greene, *ApJSS*, 177:103-130, 2008
- [41] L. C. Ho, A. V. Filippenko, W. L. W. Sargent, *ApJ*, 583:159–177, 2003
- [42] S. Komossa, *RevMexAA (Serie de Conferencias)*, 32, 86-92, 2008
- [43] S. Komossa, W. Voges, D. Xu, *AJ*, 132:531–545, 2006
- [44] Kormendy, J., & Kennicutt, R. C., Jr. 2004, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 42, 603
- [45] J.K. Kotilainen, M.J. Ward, *MNRAS*, 266, 953-971, 1994
- [46] M. G. H. Krause, M. Schartmann, A. Burkert 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 014.
- [47] H. Landt, M. C. Bentz, B. M. Peterson 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 009.
- [48] Y. Levin, A. M. Beloborodov, *ApJ*, 590:L33–L36, 2003
- [49] G. Letawe, P. Magain, F. Courbin et al., *MNRAS*, 378, 83–108, 2007
- [50] H. Liu, J. Wang, Y. Mao, J. Wei, *ApJL*, 715:L113–L116, 2010
- [51] P. Martini, M. W. Regan, J. S. Mulchaey, R. W. Pogge, *ApJ*, 589, 774, 2003
- [52] S. Mathur, *MNRAS*, 314, L17-L20, 2000
- [53] S. Mathur, 2001, arXiv:0104263v1
- [54] S. Mathur 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 035.
- [55] S. Mathur, D. Fields, B. M. Peterson, D. Grupe, 2011, arXiv:1102.0537v1
- [56] J. D. Maune, H. R. Miller, J. R. Eggen, 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 059.
- [57] L. Miller, T. J. Turner 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 019.
- [58] R. Mor, H. Netzer 2011, in *Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe*, PoS(NLS1) 011.
- [59] T. Nagao, T. Murayama, Y. Shioya, Y. Taniguchi, *ApJ*, 575:721–731, 2002

- [60] T. Nagao, T. Murayama, Y. Shioya, Y. Taniguchi, *AJ*, 126:1167–1182, 2003
- [61] N. M. Nagar, E. Oliva, A. Marconi, R. Maiolino, *A&A*, 391, L21–L24, 2002
- [62] D. M. Neri-Larios, R. Coziol, J.P. Torres-Papaqui et al. 2011, arXiv:1106.1561v1
- [63] D. E. Osterbrock, R. W. Pogge, *ApJ*, 297, 166, 1985
- [64] P. Padovani, E. Perlman, H. Landt et al., *ApJ*, 588, 128, 2003
- [65] F. Panessa, A. De Rosa, L. Bassani et al., in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 022.
- [66] A.R. Patrick, J.N. Reeves, A.P. Lobban et al., 2011, arXiv:1106.2135v1
- [67] B. M. Peterson, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 032.
- [68] R. W. Pogge, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 002.
- [69] C. Ricci, R. Walter et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 021.
- [70] R. Dave, 2011, arXiv:1101.5397v1
- [71] H. Sameshima, K. Kawara, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 062.
- [72] E. Sani, D. Lutz, G. Risaliti, H. Netzer et al., *MNRAS*, 403, 1246-1260, 2010
- [73] E. Sani, D. Lutz, G. Risaliti, H. Netzer et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 010.
- [74] R. Saxton, A. Read, P. Esquej, G. Miniutti et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 008.
- [75] K. Schawinski, E. Treister, C. M. Urry, C. N. Cardamone et al., *ApJL*, 727, L31, 2011.
- [76] J. Shen, J. A. Sellwood, 2003, arXiv:0303130v1

- [77] F. Simien, G. de Vaucouleurs, *ApJ*, 302, 564, 1986
- [78] L. Slavcheva-Mihova, B. Mihov, *A&A*, 526, A43, 2011
- [79] M.A. Sobolewska, A. Siemiginowska, M. Gierlinski, *MNRAS*, 413, 2259-2268, 2011
- [80] M. Su, T. R. Slatyer, D. P. Finkbeiner, *ApJ*, 724, 1044, 2010
- [81] A. Tarchi, P. Castangia, A. Columbano et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 031.
- [82] A. Tarchi, P. Castangia, A. Columbano, F. Panessa, J. A. Braatz, *A&A*, 532, 125, 2011
- [83] E. Tempel, E. Saar, *A&A*, 529, 53, 2011
- [84] K. R. W. Tristram, M. Schartmann, *A&A*, 531, 99, 2011
- [85] R. Vasudevan, L. Gallo, D. Robertson, K. Fulford, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 007.
- [86] M.-P. Véron-Cetty, P. Véron and A.C. Gonçalves, *A&A*, 372, 730, 2001
- [87] M. Vestergaard, K. D. Denney, X. Fanc et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 038.
- [88] A. Wandel, 2003, arXiv:0303130v1
- [89] A. Wandel, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 042.
- [90] J. Wang, Y. F. Mao, J. Y. Wei, 2011, arXiv:1108.1252v1
- [91] D. J. Whalen, S. A. Laurent-Muehleisen, E. C. Moran, R. H. Becker, *AJ*, 131, 1948, 2006
- [92] J.-H. Woo, D. Park, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 039.
- [93] T. Xiao, A. J. Barth, J. E. Greene et al., *ApJ*, 739, 28, 2011
- [94] G. Orban de Xivry, R. Davies, M. Schartmann et al., 2011, arXiv:1104.5023v1.
- [95] G. Orban de Xivry, R. Davies, M. Schartmann et al., 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 036.
- [96] D. Xu, S. Komossa, 2011, in Proceedings of the Workshop Narrow-Line

- Seyfert 1 Galaxies and Their Place in the Universe, PoS(NLS1) 006.
- [97] W. Yuan, H. Y. Zhou, S. Komossa et al., ApJ, 685, 801, 2008
  - [98] L. Zhu, S. N. Zhang, S. Tang, ApJ, 700, 1173, 2009
  - [99] А. В. Засов, Л. Н. Черепашук, А. М. Катков, Астрон. журн. 88, 1 (2011).

# Содержание

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Вопрос классификации</b>                         | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>Окружение NLS</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>3</b> | <b>Свойства родительских галактик NLS</b>           | <b>7</b>  |
| 3.1      | Крупномасштабные свойства . . . . .                 | 7         |
| 3.1.1    | Шаровые звёздные скопления . . . . .                | 8         |
| 3.2      | Свойства центральных областей . . . . .             | 8         |
| <b>4</b> | <b>Активное ядро</b>                                | <b>15</b> |
| 4.1      | NLR, BLR, тор и диск . . . . .                      | 15        |
| 4.1.1    | Тор . . . . .                                       | 16        |
| 4.1.2    | IMLR . . . . .                                      | 17        |
| 4.1.3    | Аккреционный диск . . . . .                         | 18        |
| 4.1.4    | BLR . . . . .                                       | 19        |
| 4.1.5    | NLR . . . . .                                       | 21        |
| 4.1.6    | $H_2O$ Мазеры . . . . .                             | 23        |
| 4.2      | Центральная машина . . . . .                        | 25        |
| 4.2.1    | Наблюдаемые проявления . . . . .                    | 25        |
| 4.2.2    | Центральная СМЧД (СверхМассивная Чёрная Дыра)       | 31        |
| <b>5</b> | <b>Методы определения масс СМЧД</b>                 | <b>34</b> |
| 5.1      | Reverberation Mapping(RM) . . . . .                 | 34        |
| 5.2      | Оценки масс ЧД из наблюдений в одну эпоху . . . . . | 35        |
| <b>6</b> | <b>Масштабные соотношения</b>                       | <b>36</b> |
| 6.1      | Соотношение $M_{BH} - \sigma_*$ . . . . .           | 36        |
| 6.2      | Соотношение $M_{BH} - L_{buldge}$ . . . . .         | 39        |
| 6.3      | Прочие соотношения . . . . .                        | 39        |
| <b>7</b> | <b>Млечный Путь и NLS</b>                           | <b>41</b> |
| <b>8</b> | <b>Эволюционный статус NLS</b>                      | <b>42</b> |
| <b>9</b> | <b>Выводы</b>                                       | <b>44</b> |