

## ПРОТЯЖЕННЫЙ ГАЗОВЫЙ ДИСК В S0 ГАЛАКТИКЕ NGC 4143

© 2020 г. О. К. Сильченко<sup>1\*</sup>, А. В. Моисеев<sup>1,2</sup>, Д. В. Опарин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Поступила в редакцию 24.03.2020 г.

После доработки 24.03.2020 г.; принята к публикации 24.03.2020 г.

Представлены результаты спектрального исследования линзовидной галактики NGC 4143 — периферийного члена скопления галактик Ursa Major. Используя наблюдения на 6-м телескопе CAO РАН с прибором SCORPIO-2 и архивные данные панорамной спектроскопии с прибором SAURON на телескопе WHT, мы обнаружили в этой линзовидной галактике протяженный наклонный газовый диск, спин которого примерно противоположен по направлению спину звездного диска вплоть до расстояния от центра около 3.5 кпк. Изображения галактики в эмиссионных линиях H $\alpha$  и [NII] $\lambda$ 6583, полученные на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ с прибором MaNGaL, показали, что эмиссионные линии возбуждены ударной волной. В распределении яркости линий ионизованного газа (H $\alpha$  и [NII] по данным MaNGaL и [OIII] по данным SAURON) хорошо заметна спиральная структура, отсутствующая в звездном диске галактики. Комплексный анализ — как распределения Ликских индексов вдоль радиуса, так и интегральных цветов, включающих измерения в ультрафиолете с космическим телескопом GALEX и измерения в ближнем инфракрасном диапазоне с космическим телескопом WISE, — показал, что в галактике отсутствует звездообразование, возможно, уже в течение последних 10 млрд лет. Таким образом, недавнее событие аккреции внешнего газа в NGC 4143 не сопровождалось звездообразованием, что, вероятно, связано с наклонным направлением натекания газа на диск.

*Ключевые слова:* диски галактик, структура галактик, эволюция галактик.

DOI: 10.31857/S0320010820050071

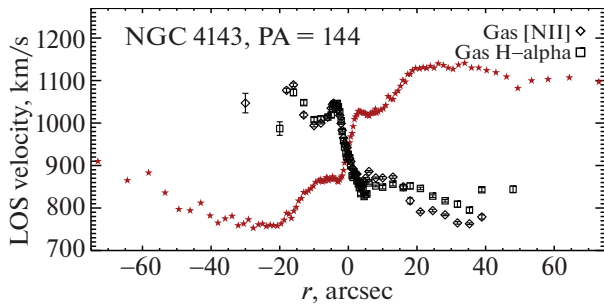
### ВВЕДЕНИЕ

Линзовидные галактики традиционно относятся к галактикам ранних типов, ярким признаком которых являются красный цвет и отсутствие видимых следов текущего звездообразования. Однако обзоры представительных выборок близких галактик ранних типов, например, в рамках проекта ATLAS-3D (Каппеллари и др., 2011), показывают, что очень многие — а в разреженном окружении большинство — линзовидные галактики обладают протяженными газовыми дисками (Уэлш, Сэйдж, 2003; Сэйдж, Уэлш, 2006; Уэлш и др., 2010; Дэвис и др., 2011). Но только менее половины богатых газом S0-галактик показывают хотя бы слабые признаки текущего звездообразования (Подж, Эскридж, 1993). Если линзовидные галактики поля точно так же аккрецируют внешний холодный газ, как и спиральные, почему в их дисках не идет должным образом звездообразование? Пытаясь ответить на этот вопрос, мы недавно проанализировали поля скоростей для небольшой выборки

близких S0 галактик, в которых наблюдаются протяженные, регулярно вращающиеся газовые диски (Сильченко и др., 2019). Оказалось, что отсутствие звездообразования может быть вызвано наклонным направлением падения газа на диск галактики: газ при этом испытывает ударное возбуждение, разогревается и не может сколлапсировать в звезды. Таким образом, для формирования морфологического типа галактики может быть важно не только само присутствие газа, но и направление, с которого он приходит в галактику.

В настоящей заметке мы представляем еще одну линзовидную галактику, в которой есть протяженный газовый диск, но, по-видимому, нет совсем молодых звезд. Это линзовидная галактика средней светимости NGC 4143 ( $M_H = -23.4$ , NED). Обнаруженный нами газовый диск состоит из ионизованного теплого газа; на этот раз холодный нейтральный водород и молекулярный газ не были зарегистрированы (Янг и др., 2011; Серра и др., 2012). Галактика принадлежит скоплению Ursa Major (Талли и др., 1996), в котором много спиральных галактик, которое еще не срелак-

\*Электронный адрес: olga@sai.msu.su



**Рис. 1.** Радиальный профиль лучевых скоростей газа и звезд в NGC 4143 вдоль большой оси внешних изофот. Звездочками представлены скорости звездного компонента, другими значками — скорости ионизованного газа, измеренные по разным эмиссионным линиям.

сировало структурно (оно состоит из нескольких богатых групп, Караченцев и др., 2013; Пак и др., 2014), и в котором нет признаков присутствия и воздействия на галактики горячей межгалактической среды (Верхейен, Санчизи, 2001). Немногие линзовидные галактики — члены Ursa Major — активно аккрецируют межгалактический нейтральный водород (NGC 4026 и NGC 4111, Серра и др., 2012; NGC 4138, Джор и др., 1996). Сама же галактика NGC 4143 расположена на периферии скопления, и конкретно вокруг нее в линии 21 см ничего не было замечено. Однако в рамках спектрального обзора ATLAS-3D (Каппеллари и др., 2011) в галактике была зарегистрирована эмиссионная линия  $[OIII]\lambda 5007$ , и поле скоростей ионизованного газа в центре галактики оказалось достаточно необычным. Мы решили предпринять наше собственное исследование этой линзовидной галактики, хорошо вписавшейся в проблематику отсутствия звездообразования в газовых дисках линзовидных галактик.

## НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

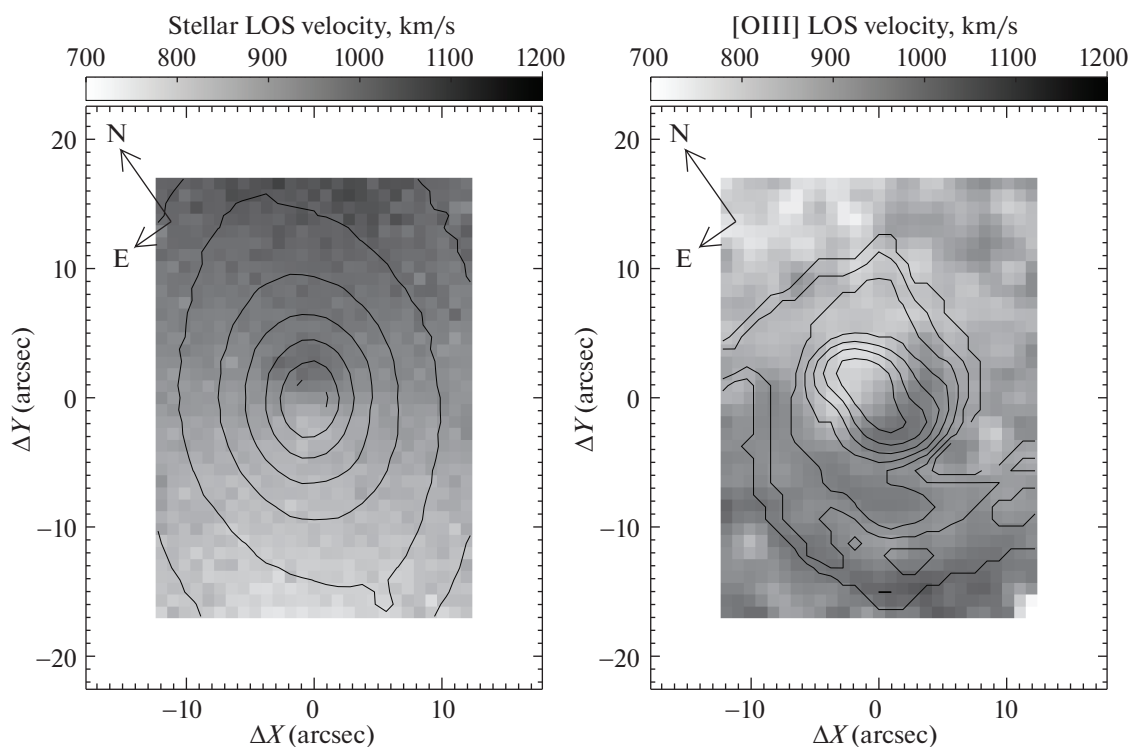
Спектральные наблюдения с длинной щелью осуществлялись в ночь 2/3 марта 2016 г. на редукторе светосилы прямого фокуса на 6-м телескопе САО РАН SCORPIO-2 (Афанасьев и Моисеев 2011), с гризмой VPHG1200@540 и спектральным разрешением  $5 \text{ \AA}$ . Щель шириной  $1''$  и длиной около  $6'$  была сориентирована вдоль большой оси изофот галактики, в  $PA = 144 \text{ deg}$ . Суммарная экспозиция составила 1 ч при качестве изображений около  $2.5''$ . Измерения лучевых скоростей звездной компоненты проводились с помощью кросс-корреляции поэлементных спектров, взятых вдоль щели на разных расстояниях от центра галактики, со спектром звезды класса K1.5III HD 72184, снятым в ту же ночь с той же аппаратурой. Данные получились довольно глубокие, позволяющие

измерять кинематику звезд вплоть до оптических границ галактики. Лучевые скорости газовой компоненты измерялись путем гаусс-анализа бленды эмиссионных линий  $H\alpha + [NII]\lambda\lambda 6548, 6583$  и абсорбционной линии  $H\alpha$ . Результаты кинематических измерений — радиальные профили лучевых скоростей газа и звезд — представлены на рис. 1.

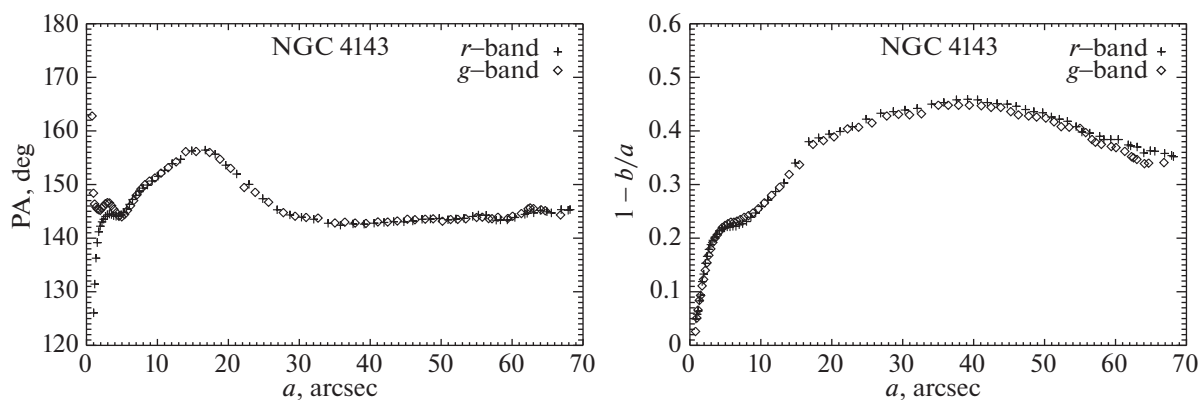
Кроме протяженных одномерных кинематических разрезов, полученных с длинной щелью, в нашем распоряжении были двумерные карты лучевых скоростей газа и звезд для центра галактики, полученные со спектрографом интегрального поля SAURON (Бакон и др., 2001). Галактика NGC 4143 наблюдалась в рамках проекта ATLAS-3D (Каппеллари и др., 2011) на 4.2-м телескопе Вильяма Гершеля на Канарах. Сырые данные были затребованы нами из открытого архива ING (Isaac Newton Group) Кембриджского Института Астрономии и обработаны по оригинальной методике (Сильченко, 2005). Размер поля зрения спектрографа SAURON  $33'' \times 41''$ , один пространственный элемент  $0.94 \times 0.94$  сек. дуги, спектральное разрешение — около  $4 \text{ \AA}$ . Поля скоростей звезд и газа для NGC 4143 показаны на рис. 2. Они были проанализированы методом наклонных колец (tilted rings) в модификации Алексея Моисеева (программа DETKA, Моисеев и др., 2004). Была прослежена ориентация кинематической большой оси обеих компонент, звездной и газовой; кинематическая большая ось в случае кругового вращения должна совпадать с линией узлов диска. Измерения ориентации кинематической большой оси удалось протянуть по данным SAURON вплоть до расстояния от центра около  $20''$ .

Фотометрический анализ структуры галактики был неоднократно представлен в литературе. Двумерная декомпозиция изображения NGC 4143 предпринималась Лаурикайнен и др. (2010, 2011) и Питером Эрвином в серии работ: Эрвин и Спарк (2003), Эрвин и др. (2005), Эрвин и др. (2008). Мы дополнительно провели изофотный анализ изображения NGC 4143 в фильтрах  $g$  и  $r$  по данным обзора SDSS, релиз 9 (Ан и др., 2012), результаты которого показаны на рис. 3.

Также были проведены наблюдения на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ (Корнилов и др., 2014) с новым прибором — картировщиком узких эмиссионных линий MaNGaL (Mapper of Narrow Galaxy Lines, Моисеев и др., 2020). MaNGaL является фотометром с перестраиваемым фильтром на базе сканирующего интерферометра Фабри-Перо с шириной инструментального контура (FWHM) около  $15 \text{ \AA}$ . Детектор — низкошумящая ПЗС-камера iKon-M934 форматом  $1024 \times 1024$  пикселя — использовался в режиме аппаратного биннинга  $2 \times 2$  для экономии времени считывания и



**Рис. 2.** Поле скоростей звезд и газа в центре NGC 4143, рассчитанное по данным спектрографа интегрального поля SAURON. Ориентацию картинки показывают стрелки, направленные на север и на восток, в верхнем левом углу карты. Изофотами наложено распределение поверхностной яркости в континууме на длине волны 5100 Å для поля скоростей звезд и в эмиссии [OIII]λ5007 — для поля скоростей газа.



**Рис. 3.** Результаты изофотного анализа изображений NGC 4143, полученных в обзоре SDSS: радиальные вариации позиционного угла большой оси и эллиптичности изофот.

уменьшения шумов. Итоговый масштаб составил 0.66"/пиксель. Во время наблюдений последовательно выполнялись накопления изображений при настройке полосы фильтра на эмиссионные линии H $\alpha$  и [NII]λ6583 (с учетом средней скорости галактики и гелиоцентрической поправки) и на континуум, смещенный на 50 Å в синюю сторону от H $\alpha$ . Такие серии экспозиций позволяют усреднить вклад от вариаций атмосферной прозрачности и качества изображений. Наблюдения выполнялись

в ночь 13/14 апреля 2018 г. с суммарными экспозициями 2400 сек в H $\alpha$  и континууме и 2100 с в [NII]λ6583; пространственное разрешение на суммарных изображениях — 2.3". Обработка данных MaNGaL мало отличается от обычных прямых снимков с узкими фильтрами и описана в статье Моисеева и др. (2020). После вычитания континуума мы получили карты полного поля галактики в эмиссионных линиях H $\alpha$  и [NII]λ6583. Это позволило не только изучить морфологию

ионизованного газа, но и, поделив одно двумерное распределение интенсивности эмиссионной линии на другое, оценить отношения сильных эмиссионных линий азота и водорода по всему диску галактики; с помощью измерений этого отношения можно ограничить механизм возбуждения ионизованного газа.

В связи с тем, что относительная яркость эмиссий невелика (в диске галактики  $EW(H\alpha)$  лежит в пределах  $0.5-1.5 \text{ \AA}$ ), мы контролировали точность вычитания континуума в данных  $MaNGaL$ , используя наши спектральные измерения со SCORPIO-2. Коэффициенты, на которые домножались изображения в континууме, подбирались так, чтобы обеспечить наилучшее согласие между наблюдаемыми распределениями эквивалентных ширин  $EW(H\alpha)$  и  $EW([NII])$  вдоль большой оси галактики по данным спектроскопии и в изображениях с  $MaNGaL$ . Отличие этих коэффициентов от определяемых по звездам фона (как предполагает стандартная методика при работе с узкополосными изображениями) составило всего 2–4%, что находится в пределах разумных предположений об отличии средних распределений энергии в континууме звезд фона и самой галактики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

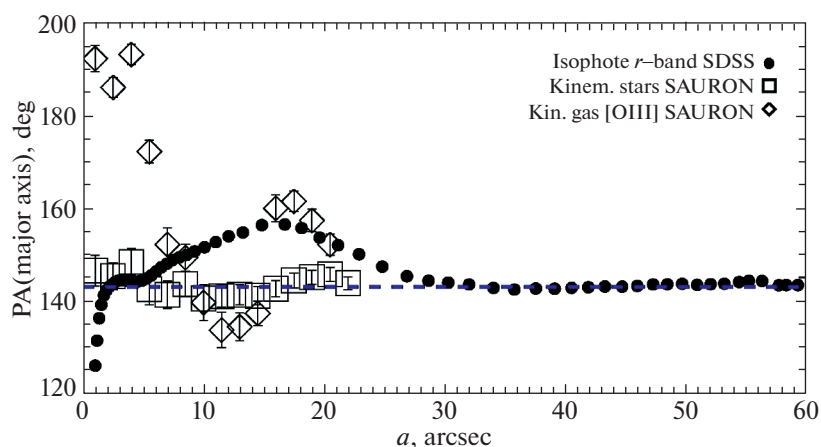
И профиль лучевых скоростей газа и звезд вдоль большой оси (рис. 1), и двумерные карты лучевых скоростей газа и звезд для центральной части NGC 4143 (рис. 2) показывают, что газ в галактике *вращается в противоположном направлении* по отношению к звездам; причем наблюдения с длинной щелью демонстрируют это противовращение на всем протяжении газового диска — до  $45''$  ( $3.5 \text{ кпк}$ ) от центра.

Если мы посмотрим на правый рис. 2, где представлено двумерное поле скоростей газа в центральной области галактики, измеренное по эмиссионной линии  $[OIII]\lambda 5007$ , то мы увидим некруговые движения: распределение поверхностной яркости эмиссионной линии  $[OIII]\lambda 5007$  выглядит как однорукавная спираль, вдоль которой наблюдается избыток лучевой скорости ионизованного, высоковозбужденного газа. Переключение относительных скоростей газа с плюса на минус при переходе от внешней стороны спирали к внутренней может быть проявлением радиального течения газа к центру вдоль спирали, представляющей собой ударный фронт.

На рис. 4 сравниваются фотометрические и кинематические параметры, полученные методом наклонных колец из двумерных полей скоростей; а именно, сравниваются ориентации кинематических и фотометрических больших осей в центральной

области галактики. В случае кругового вращения внутри круглого диска в осесимметричном потенциале ориентация большой оси эллиптических изофот (а круг при произвольном наклоне к нашему лучу зрения в проекции должен выглядеть именно как эллипс) будет совпадать с линией узлов диска, а максимальная проекция скорости вращения на луч зрения тоже будет именно на линии узлов, так что направление видимого максимального градиента лучевой скорости вращающейся компоненты галактики в этом случае должно быть тоже вдоль линии узлов: фотометрическая большая ось должна совпадать с кинематической. Если же ‘пробная точка’ вращается в неосесимметричном потенциале — например, в центре диска галактики с баром, — то, как показали в своих модельных расчетах Вотрен и Дейонг (1997), большие оси, фотометрическая и кинематическая, должны разворачиваться в разные стороны от линии узлов (см. также обсуждение и ссылки в работе Моисеев и др., 2004). Что же мы видим на рис. 4 для галактики ‘с баром’ NGC 4143?

Измерения ориентации кинематической большой оси звездного компонента легли строго по линии узлов, несмотря на заявленное на основании анализа фотометрических данных присутствие бара (Лаурикайнен и др., 2010, 2011; Эрвин, Спарк, 2003). Ориентация кинематической большой оси газового компонента не просто отклонилась от линии узлов звездного диска галактики — она совпала с ориентацией изофот на радиусе  $R \approx 15''-20''$ . И если разворот кинематической большой оси газового компонента в самом центре галактики, на  $R < 5''$ , можно проинтерпретировать как некруговые движения газа (чистые радиальные потоки покажут разворот ориентации максимального градиента лучевой скорости на  $90^\circ$  относительно кинематической оси кругового вращения), то в области максимального разворота изофот поведение газа нельзя интерпретировать как некруговое вращение. Это больше похоже на наклонный диск, который к тому же имеет и звездный компонент. Действительно, если мы посмотрим на результаты изофотного анализа изображений галактики (рис. 3), то увидим, что на радиусе максимального разворота изофот,  $R = 17''$ , который предыдущие исследователи интерпретировали как конец бара, эллиптичность изофот строго равна эллиптичности внешних изофот диска. Если бы причиной разворота изофот был бар, то при таком небольшом отклонении ориентации бара от линии узлов можно было бы ожидать повышенную эллиптичность изофот именно на этом радиусе, чего не наблюдается. Похоже, и изофотный, и кинематический анализы данных для центральной области NGC 4143 свидетельствуют, скорее, в пользу центрального наклонного диска, содержащего звездный компонент, свя-



**Рис. 4.** Сравнение ориентации кинематических (для газа и звезд) и фотометрических больших осей. К значениям позиционного угла кинематической оси звездного компонента прибавлено  $180^\circ$ . Пунктирной горизонтальной линией показана ориентация линии узлов, определенная по самым внешним изофотам звездного диска.

занный с ориентацией плоскости вращения газа — газового диска.

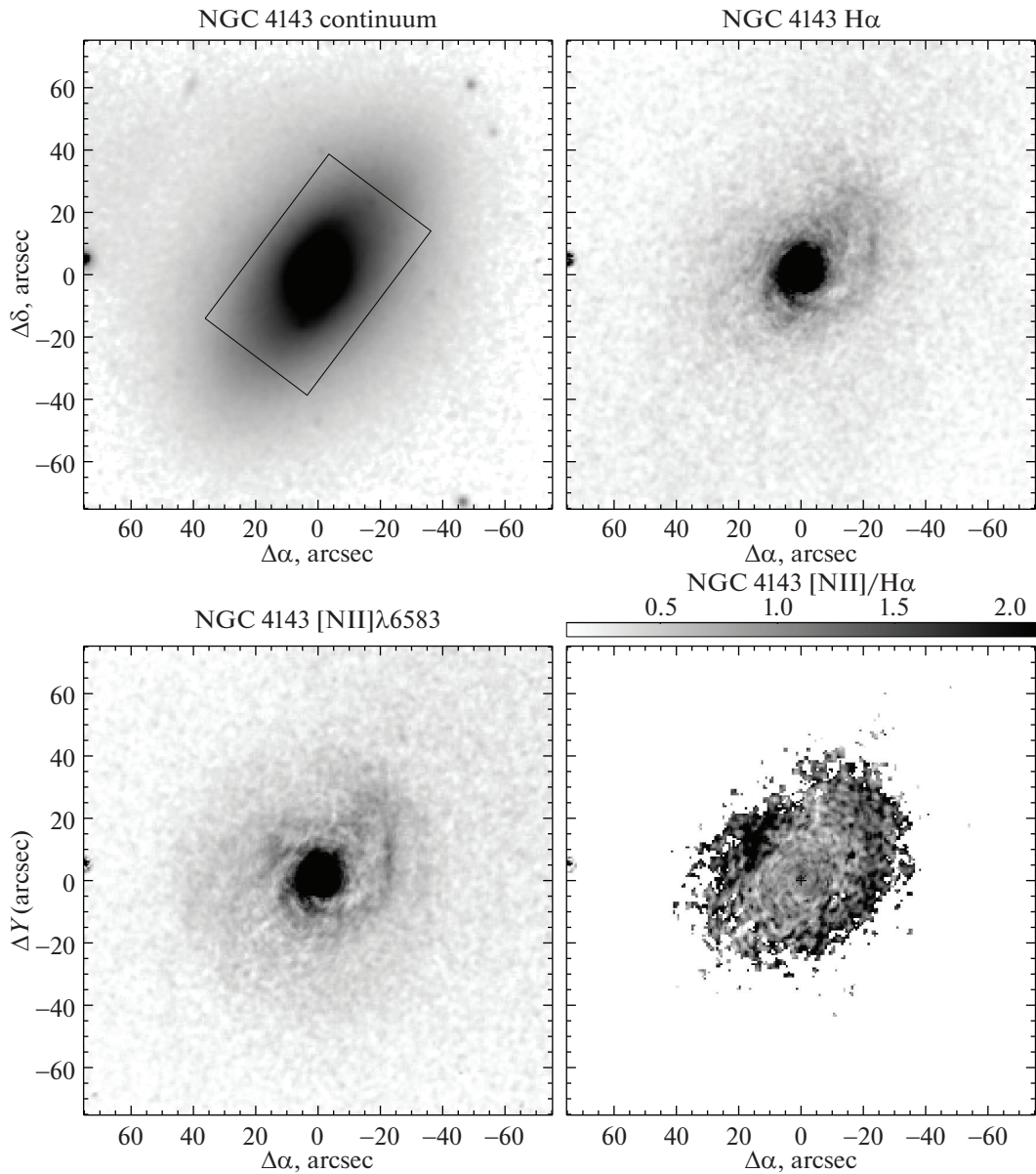
С помощью прибора MaNGaL на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ мы получили изображения полного поля галактики в узких эмиссионных линиях  $[\text{NII}]\lambda 6583$  и  $\text{H}\alpha$ , а также, разделив одно на другое, карту отношений потоков этих эмиссионных линий (рис. 5). Отношение линий низкого возбуждения, каковой является линия  $[\text{NII}]\lambda 6583$ , к эмиссионной линии водорода является хорошим индикатором механизма возбуждения газа. Пограничным отношением  $[\text{NII}]\lambda 6583$  к  $\text{H}\alpha$  является значение 0.5: для газа, возбужденного молодыми массивными звездами, это отношение всегда меньше 0.5 (Кьюли, Эллисон, 2008). Вторым необходимым признаком возбуждения газа молодыми звездами является достаточно большая эквивалентная ширина эмиссионной линии  $\text{H}\alpha$ : хотя нижним пределом ее при наличии звездообразования является значение  $1 \text{ \AA}$  (Сид Фернандес и др., 2010), обычно требуют, чтобы  $\text{EW}(\text{H}\alpha)$  превосходила  $3 \text{ \AA}$ . Если с позиций этих критериев мы проанализируем рис. 5, то обнаружим, что газ в NGC 4143 возбужден не молодыми звездами, а, скорее всего, ударными волнами. Морфология изображений галактики в потоках эмиссионных линий показывает наличие спиралей, причем спирали в потоках  $[\text{NII}]$  и  $\text{H}\alpha$  совпадают в центральной области со спиралью в эмиссионной линии  $[\text{OIII}]$  по данным SAURON. И как раз локализация этих спиралей совпадает с максимальным отношением потоков эмиссионных линий азота и водорода:  $[\text{NII}]/\text{H}\alpha > 1.5$  (рис. 5, правый нижний). Интересно, что если мы обопремся на спиральный узор этого последнего рисунка, то минимальному отношению  $[\text{NII}]\lambda 6583/\text{H}\alpha \leq 0.5$ , обрисовывающему этот узор, будет соответствовать минимальная эквивалентная ширина эмисси-

онной линии  $\text{H}\alpha$ , меньше  $1 \text{ \AA}$ . Таким образом, и в областях с минимальным отношением потоков эмиссионных линий азота и водорода газ возбужден не молодыми звездами, а, скорее всего, ударом, поскольку эти спирали в пространственном смысле далеки от активного ядра типа LINER в NGC 4143 (Сид Фернандес и др., 2010). Такая физика возбуждения газа абсолютно согласуется с его кинематикой. Действительно, когда газовый диск вращается с существенным наклоном по отношению к экваториальной плоскости гравитационного потенциала звездного диска, при каждом пересечении газовыми облаками потенциальной ямы звездного диска в газе развивается ударная волна (Вакаматсу, 1993). Однорукавная спираль, которую мы видим на картах поверхностной яркости эмиссионных линий, и которая отсутствует на картах распределения поверхностной яркости в континууме и в широкополосных цветах, т.е. не связана ни со звездным населением, ни с пылью, может быть проявлением двухпоточковой неустойчивости, обусловленной динамическим взаимодействием в центре галактики двух противорвращающихся подсистем — звездной и газовой (Ловлас и др., 1997).

## ОБСУЖДЕНИЕ

### *Есть ли молодые звезды в NGC 4143?*

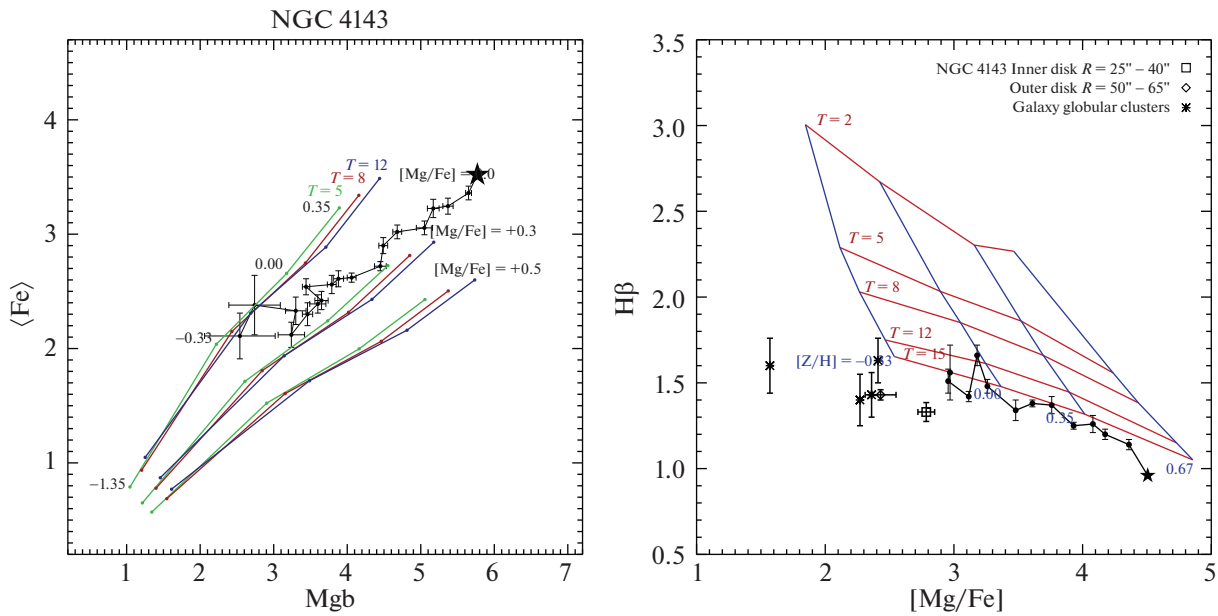
Мы оценили *средний* возраст звездного населения вдоль радиуса NGC 4143, применяя к измерениям на разных расстояниях от центра Ликским индексам эволюционную модель “простых звездных населений” (Томас и др., 2003), подразумевающую одну короткую вспышку звездообразования. Эта модель заведомо применима для ядра и балджа галактики, так как наши измерения Ликских индексов магния и железа показывают, что в центре



**Рис. 5.** Изображения NGC 4143 в узких спектральных полосах, центрированных на континуум и на эмиссионные линии  $H\alpha$  и на  $[NII]\lambda 6583$  (после вычитания континуума), полученные с прибором MaNGaL на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ; а также карта отношения потоков в эмиссионных линиях  $[NII]\lambda 6583$  и  $H\alpha$ . На изображении в континууме показана область, наблюдавшаяся ранее с прибором SAURON.

NGC 4143 отношение обилий магния и железа примерно в 2 раза выше солнечного (рис. 6, левый), а это говорит о короткой длительности эпохи звездообразования, меньше 1 млрд лет. В диске галактики это отношение приближается к солнечному, т.е. там звездообразование продлилось дольше 2 млрд лет. Однако средний возраст звездного населения в NGC 4143 однородно старый, сравнимый с возрастом Вселенной, во всех структурных компонентах галактики (рис. 6, правый). SSP-модели, в которые закладывает одна короткая вспышка звездообразования для формирования всего звезд-

ного населения галактики/участка галактики, имеют своим параметром возраст звездного населения, т.е. время, прошедшее после этой основной вспышки звездообразования. Если же мы применим SSP-модели к реальным системам, в которых эпоха звездообразования была продолжительной (для систем с солнечным отношением магния к железу эта длительность не меньше 3 млрд лет), то оцененный по этим моделям возраст системы — это “взвешенный со светимостью звезд” возраст. Поскольку молодые поколения звезд, включающие и массивные звезды, всегда ярче старых, где



**Рис. 6.** Диагностические диаграммы индекс-индекс для измерений возрастов и металличностей звездных населений вдоль радиуса NGC 4143 по данным спектроскопии с длинной щелью (измерения в галактике представлены черными точками с барами ошибок; соединены ломаной по мере удаления от ядра, обозначенного крупной звездой). Слева сопоставление индексов магния и железа с SSP («Simple Stellar Population») моделями Томаса и др. (2003) для разных отношений обилий магния и железа в звездах; числами около модельных реперов указаны металличности моделей, около вершук модельных последовательностей — возраста моделей  $T$ . Справа сплошные красные линии — модели SSP-звездных населений одного возраста; возраст моделей указан в млрд лет; около модельных реперов, соединенных синими линиями, указана общая металличность моделей. Отдельными крупными значками с барами ошибок показаны средние значения Ликских индексов для двух ярусов звездного диска галактики. Нанесены для сравнения несколько шаровых скопления балджа Галактики с возрастaми около 10 млрд лет и металличностью  $[Z/H] = -0.5$  dex (Бисли и др., 2004).

массивные звезды вымерли, такая оценка возраста смещена в сторону момента окончания вспышки звездообразования. В случае диска NGC 4143 сочетание солнечного отношения магния к железу и старого SSP-возраста говорит о том, что его формирование закончилось не менее 10 млрд лет назад; а началось, скорее всего, где-то 13–14 млрд лет назад.

Как мы отмечали выше, то, что в галактике отсутствует заметное текущее звездообразование, показывает диагностика по отношению потоков сильных эмиссионных линий; т.е. в протяженном диске NGC 4143 нет областей HII. Так же и интегральные цвета галактики, приводимые в базе данных NED, а именно,  $NUV - r = 5.59$  по данным GALEX и SDSS/DR9 и  $W2 - W3 = 0.88$  по данным WISE, однозначно относят NGC 4143 к так называемым пассивным галактикам (Кэвирейдж и др., 2007; Клувер и др., 2017). Однако карта галактики в ультрафиолете, которую мы разыскали в открытом архиве данных обзора неба космического телескопа GALEX (рис. 7), демонстрирует протяженный диск с радиусом около  $20''$  в далеком ультрафиолетовом диапазоне (FUV, эффективная длина волны  $1500 \text{ \AA}$ ) и еще более протяженный,

до  $50''$ , в ближнем ультрафиолетовом диапазоне (NUV, эффективная длина волны  $2300 \text{ \AA}$ ). Причем экспоненциальный масштаб этого диска,  $14.9 \pm 1.0''$ , совпадает с тем, что получался у нас по SDSS-изображению галактики в  $r$ -фильтре. Вероятно, в данном случае мы имеем дело с крайним проявлением так называемого UV-upturn — ультрафиолетового избытка в спектрах галактик со старым звездным населением. Комбинированный ультрафиолетово-оптический цвет галактики,  $y = (NUV - u) - 1.7(u - g)$ , находится на голубой границе цветов пассивного звездного населения (Али и др., 2019), т.е. показывает максимальный ультрафиолетовый избыток.

*Характер аккреции определяет морфологический тип галактики?*

Таким образом, пример NGC 4143 подтверждает тенденцию, обнаруженную нами ранее (Сильченко и др., 2019): в газовых дисках, наклоненных по отношению к звездным, в линзовидных галактиках звездообразование не идет. Данная галактика в каком-то смысле являет собой крайний пример: ее протяженный газовый диск полностью ионизован ударом, а нейтральный газ в

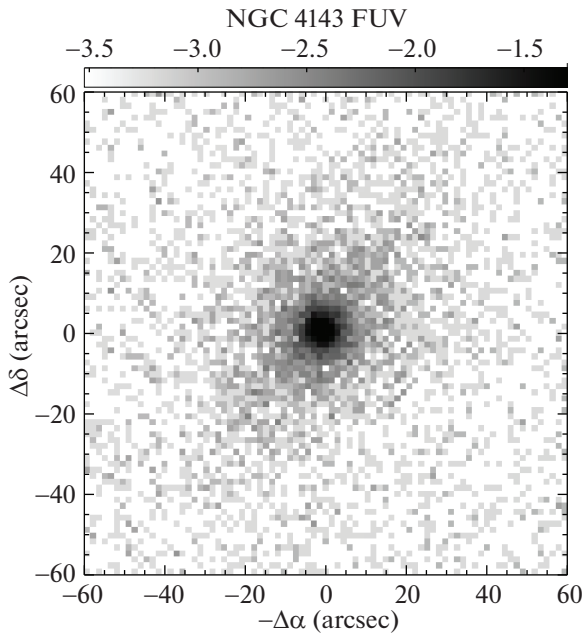


Рис. 7. Карта NGC 4143 в полосе FUV ( $\lambda_{\text{mean}} = 1530 \text{ \AA}$ ) по данным GALEX.

NGC 4143 не детектируется с очень низким пределом обнаружения:  $\log M(HI) < 6.80$  (Серра и др., 2012) и  $\log M(H_2) < 7.20$  (Янг и др., 2011). Однако в центральной области галактики, вероятно, присутствует и звездный компонент, связанный с аккрецированным газом: геометрия центрального звездного диска, оцененная методами поверхностной фотометрии, согласуется с кинематическими оценками параметров ориентации газового диска в пределах  $15''$ – $20''$  от центра. Это означает, что источником аккреции могло быть поглощение богатого газом спутника с наклонной орбиты — разорванный спутник способен обеспечить как газовый, так и звездный компонент, вращающийся в наклоненной плоскости.

Аккреция внешнего холодного газа на дисковые галактики в данный момент считается важнейшим эффектом, определяющим весь ход эволюции галактики (см., например, Комб, 2015). Если мы обращаемся к общему сценарию эволюции галактик в ближней Вселенной, то из интуитивных соображений кажется, что галактики одной массы, в окружении сходной плотности, должны аккрецировать внешний холодный газ с равной вероятностью. Почему же тогда некоторые из них (большинство) формируют тонкие диски с текущим звездообразованием, другие — S0s — наследуют от ранних эпох эволюции старые звездные диски, имеют сегодня протяженные газовые диски, но не пополняют звездный дисковый компонент молодыми звездами, а третьи — Es — и вовсе как правило не имеют холодных газовых дисков? Этот вопрос активно

обдумывается и обсуждается астрономами в настоящий момент. Есть точка зрения, что вся причина этих различий — в величине момента аккрецируемого газа (см., например, Пенг и Рензини, 2020, и ссылки в этой работе). Действительно, статистически, газовые диски S0-галактик — более протяженные, чем у спиральных (Ванг и др., 2016); может быть, газ, падающий на S0s, из-за своего большого момента не доходит до центральных областей диска, где он может уплотниться и зажечь звездообразование (Пенг, Рензини, 2020)? Мы же предлагаем, плюс к величине момента падающего газа, добавить еще один фактор: направление, с которого он падает. Действительно, для объяснения очень быстрой эволюции момента вращения спиральных галактик за последние 8 млрд лет необходимо допустить, что внешний газ аккрецирует на них строго в плоскости их звездных дисков, с тем же направлением закрутки, что и направление вращения диска (Рензини, 2020). А если газ падает под углом? Наши исследования (Сильченко и др., 2019) говорят, что, во-первых, это часто наблюдается в S0-галактиках, а во-вторых, при этом падающий газ греется ударом и становится не способен к звездообразованию. Таким образом, разница в морфологическом типе дисковой галактики может на самом деле быть разницей в характере аккреции: в направлении падения внешнего газа, в ориентации и величине его орбитального спина и, конечно, еще и в количестве потока вещества. Что касается эллиптических галактик, то тут приходит на ум разница в наблюдаемом рентгеновском потоке от газовых гало галактик: у эллиптических галактик поля он солиден и неоднократно измерен аппаратами Chandra и XMM-Newton (например, Мульчай и Джелтема, 2010), в то время как у спиральных галактик той же массы обнаруживается с большим трудом. Может быть, холодный газ не доходит до эллиптических галактик, потому что разогревается в процессе течения через горячий газ гало? Тогда понятно, почему не образуются крупномасштабные газовые диски вокруг эллиптических галактик, даже находящихся в разреженном окружении.

Статья основана на наблюдательных данных, полученных с 6-м телескопом Специальной Астрофизической обсерватории РАН и с 2.5-м телескопом Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. Мы благодарим Р.И. Уклеина за выполнение наблюдений на БТА. Наша работа поддержана грантом Программы развития МГУ «Ведущая научная школа <Физика звезд, релятивистских объектов и галактик>». Наблюдения на телескопе БТА CAO РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая соглашение No05.619.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61919X0016). В нашем анализе



мы использовали данные общедоступных архивов и баз: Лион-Медонскую базу внегалактических данных (LEDA), обеспеченную командой ЛЕДА в Лионской обсерватории CRAL (Франция), и Базу внегалактических данных НАСА/ИПАК (NED), управляемую Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с Национальным управлением аэронавтики и космических исследований (США), а также публичные данные обзора SDSS, SDSS-II, SDSS-III (сайт <http://www.sdss3.org/>), который финансируется Фондом Альфреда П. Слоана, институтами-участниками коллаборации SDSS, Национальным научным фондом, Министерством энергетики США, Национальной Администрацией аэронавтики и космоса (NASA), японским фондом Monbukagakusho, обществом Макса Планка и Финансирующим Советом высшего образования Англии. Еще мы привлекали для нашего анализа данные космических телескопов GALEX и WISE. Данные миссии NASA GALEX были взяты из Архива Микульски для космических телескопов (MAST). Данные космического телескопа WISE, использованные нами, были взяты из Архива инфракрасной науки NASA/IPAC, который управляется Лабораторией реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с Национальной Администрацией аэронавтики и космоса. В статье также использованы данные, полученные из Архива Группы Исаака Ньютона, который поддерживается как часть Центра астрономических данных CASU в Институте астрономии, Кембридж (Великобритания).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Али и др. (S.S. Ali, M.N. Bremer, S. Phillipps, and R. De Propris), *MNRAS* **487**, 3021 (2019).
- Ан и др. (C.P. Ahn, R. Alexandroff, C. Allende Prieto, S.F. Anderson, T. Anderton, B.H. Andrews, E. Aubourg, S. Bailey, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **203**, A121 (2012).
- Афанасьев, Моисеев (V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev), *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011).
- Бакон и др. (R. Bacon, Y. Copin, G. Monnet, B.W. Miller, J.R. Allington-Smith, M. Bureau, C.M. Carollo, R.L. Davies, et al.), *MNRAS* **326**, 23 (2001).
- Бисли и др. (M.A. Beasley, J.P. Brodie, J. Strader, D. Forbes, R.N. Proctor, P. Barmby, and J.P. Huchra), *Astron. J.* **128**, 1623 (2004).
- Вакаматсу (K.-I. Wakamatsu), *Astron. J.* **105**, 1745 (1993).
- Ванг и др. (J. Wang, B.S. Koribalski, P. Serra, T. van der Hulst, S. Roychowdhury, P. Kamphuis and J.N. Chengalur), *MNRAS* **460**, 2143 (2016).
- Верхейен, Санчизи (M.A.W. Verheijen and R. Sancisi), *Astron. Astrophys.* **370**, 765 (2001).
- Вотрен, Дейонг (P. Vauterin and H. Dejonghe), *MNRAS* **286**, 812 (1997).
- Джор и др. (K.P. Jore, A.H. Broeils, and M.P. Haynes), *Astron. J.* **112**, 438 (1996).
- Дэвис и др. (T.A. Davis, K. Alatalo, M. Sarzi, M. Bureau, L.M. Young, L. Blitz, P. Serra, A.F. Crocker, et al.), *MNRAS* **417**, 882 (2011).
- Каппеллари и др. (M. Cappellari, E. Emsellem, D. Krajnovic, R.M. McDermid, N. Scott, G.A. Verdoes Kleijn, L.M. Young, K. Alatalo, et al.), *MNRAS* **413**, 813 (2011).
- Караченцев и др. (I.D. Karachentsev, O.G. Nasonova, and H.M. Courtois), *MNRAS* **429**, 2264 (2013).
- Клувер и др. (M.E. Cluver, T.H. Jarrett, D.A. Dale, J.-D.T. Smith, T. August, M.J. I. Brown, et al.), *Astrophys. J.* **850**, A68 (2017).
- Комб (F. Combes), *Highlights of Astronomy* **16**, 366 (2015).
- Корнилов и др. (V. Kornilov, B. Safonov, M. Kornilov, N. Shatsky, O. Voziakova, S. Potanin, I. Gorbunov, V. Senik, and D. Cheryasov), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **126**, 482 (2014).
- Кьюли, Эллисон (L.J. Kewley and S.L. Ellison), *Astrophys. J.* **681**, 1183 (2008).
- Кэвирейдж и др. (S. Kaviraj, K. Schawinski, J.E.G. Devriendt, I. Ferreras, S. Khochfar, S.-J. Yoon, S.K. Yi, J.-M. Deharveng, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **173**, 619 (2007).
- Лаурикайнен и др. (E. Laurikainen, H. Salo, R. Buta, J.H. Knapen, and S. Comerón), *MNRAS* **405**, 1089 (2010).
- Лаурикайнен и др. (E. Laurikainen, H. Salo, R. Buta, and J.H. Knapen), *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **418**, 1452 (2011).
- Ловлас и др. (R.V.E. Lovelace, K.P. Jore, and M.P. Haynes), *Astrophys. J.* **475**, 83 (1997).
- Моисеев и др. (A.V. Moiseev, J.R. Valdés, and V.H. Chavushyan), *Astron. Astrophys.* **421**, 433 (2004).
- Моисеев и др. (A. Moiseev, A. Perepelitsyn, and D. Oparin), *Experimental Astronomy*, submitted (2020).
- Мульчай и Джелтема (J.S. Mulchaey and T.E. Jeltema), *Astrophys. J.* **715**, L1 (2010).
- Пак и др. (M. Pak, S.-C. Rey, T. Lisker, Y. Lee, S. Kim, E.-Ch. Sung, H. Jerjen, and J. Chung), *MNRAS* **445**, 630 (2014).
- Пенг, Рензини (Y.-J. Peng and A. Renzini), *MNRAS* **491**, L51 (2020).
- Подж, Эскридж (R.W. Pogge and P.B. Eskridge), *Astron. J.* **106**, 1405 (1993).
- Рензини (A. Renzini), *MNRAS* **495**, L42 (2020).
- Серра и др. (P. Serra, T. Oosterloo, R. Morganti, K. Alatalo, L. Blitz, M. Bois, F. Bournaud, M. Bureau, et al.), *MNRAS* **422**, 1835 (2012).
- Сид Фернандес и др. (R. Cid Fernandes, G. Stasińska, M.S. Schlickmann, A. Mateus, N. Vale Asari, W. Schoenell, and L. Sodré), *MNRAS* **403**, 1036 (2010).

31. Сильченко О.К., Письма в Астрон. журн. **31**, 250 (2005) [О.К. Sil'chenko, Astron. Lett. **31**, 227 (2005)].
32. Сильченко, Моисеев, Егоров (O.K. Sil'chenko, A.V. Moiseev, and O.V. Egorov) *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **244**, A6 (2019).
33. Сэйдж, Уэлч (L.J. Sage and G.A. Welch), *Astrophys. J.* **644**, 850 (2006).
34. Талли и др. (R.B. Tully, M.A.W. Verheijen, M.J. Pierce, J.-S. Huang, and R.J. Wainscoat), *Astron. J.* **112**, 2471 (1996).
35. Томас и др. (D. Thomas, C. Maraston, and R. Bender), *MNRAS* **339**, 897 (2003).
36. Уэлч, Сэйдж (G.A. Welch and L.J. Sage), *Astrophys. J.* **584**, 260 (2003).
37. Уэлч и др. (G.A. Welch, L.J. Sage, and L.M. Young), *Astrophys. J.* **725**, 100 (2010).
38. Эрвин, Спарк (P. Erwin and L.S. Sparke), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **146**, 299 (2003).
39. Эрвин и др. (P. Erwin, J.E. Beckman, and M. Pohlen), *Astrophys. J.* **626**, L81 (2005).
40. Эрвин и др. (P. Erwin, M. Pohlen, and J.E. Beckman), *Astron. J.* **135**, 20 (2008).
41. Янг и др. (L.M. Young, M. Bureau, T.A. Davis, F. Combes, R.M. McDermid, K. Alatalo, L. Blitz, M. Bois, et al.) *MNRAS* **414**, 940 (2011).