

УДК 524.7–327

ПРИРОДА S0-ГАЛАКТИК: НЕОБЫЧНЫЙ СЛУЧАЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ЛИНЗОВИДНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 6798 — ГАЗОВЫЙ РЕЗЕРВУАР БЕЗ АККРЕЦИИ

© 2025 О. К. Сильченко^{1*}, А. В. Моисеев^{2,1**}, Д. В. Опарин^{2***},
А. А. Смирнова^{2****}, Е. А. Малеева^{1*****}, А. В. Сильченко^{1*****}

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 6 августа 2024 года; после доработки 15 октября 2024 года; принята к публикации 28 октября 2024 года

Мы исследовали поле скоростей ионизованного газа и кольцо звездообразования в линзовидной галактике с глобальным противовращающимся газовым диском NGC 6798. Были получены и проанализированы данные панорамной спектроскопии сканирующего интерферометра Фабри–Перо 6-м телескопа БТА САО РАН и данные узкополосной фотометрии в эмиссионных линиях H α и [N II] λ 6583 с картировщиком MaNGaL 2.5-м телескопа КГО ГАИШ МГУ. Мы приходим к выводу, что случай NGC 6798 представляет собой пример, иллюстрирующий один из ранее предлагавшихся сценариев: когда аккрецируемый галактикой холодный газ имеет слишком большой орбитальный угловой момент и из-за этого не может попасть в область центрального диска галактики, где под действием гравитационного потенциала звездного диска он смог бы начать формирование звезд. То звездообразование, которое мы все же обнаружили в галактике, очевидно, началось уже много позже события формирования большого газового диска. Бар, возникший в центре NGC 6798, и, возможно, связанная с ним волна радиального уплотнения газа, которую мы сейчас детектируем по кольцевому комплексу H II-областей, — это последствие отдельного события в жизни галактики, состоявшегося не более 1.5–2 млрд лет назад.

Ключевые слова: галактики: раннего типа — галактики: эволюция — галактики: звездообразование

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее пятнадцатилетие в астрономии утвердилось парадигма, согласно которой эволюцией дисковых галактик управляет постоянный приток холодного газа извне (Sancisi et al., 2008; Tacconi et al., 2020). Именно темп этой аккреции определяет синхронный с ней темп звездообразования в галактике (Lilly et al., 2013; Schmidt et al., 2016). Более того, для объяснения наблюдаемого роста удельного углового момента в спиральных галактиках в последние восемь миллиардов лет (в эпоху $z < 1$) необходимо предположить, что аккреция холодного газа происходит натеканием узкого потока («филамента») строго в плоско-

сти галактики, с орбитальным моментом, сонаправленным моменту вращения галактического диска (Peng and Renzini, 2020). Как обеспечить такую геометрическую стабильность аккреции на протяжении многих миллиардов лет — это отдельный вопрос к теоретикам; но если учесть, что только ламинарная аккреция в плоскости галактического диска способна сохранить «холодный статус» натекающего газа и его способность сразу включиться в процесс звездообразования, то придется признать, что соотношение числа спиральных и линзовидных галактик в ближней Вселенной, примерно пять к одному (Naim et al., 1995), требует отказа от принципа изотропности при определении возможных направлений прихода газа в галактический диск — очевидно, эти направления не равновероятны.

Действительно, статистика распределений и полей скоростей нейтрального водорода, наблюдаемого радиоинтерферометрами в линии H I на длине волны 21 см (например, Serra et al., 2014), как

*E-mail: olga@sai.msu.su

**E-mail: moisav@gmail.com

***E-mail: doparin2@gmail.com

****E-mail: ssmirnova@gmail.com

*****E-mail: e_maleeva@mail.ru

*****E-mail: alfa-ann@mail.ru

и длиннощелевая и интегрально-полевая спектроскопия в оптической области спектра для ионизованного газа (Davis et al., 2011; Katkov et al., 2015), показывают, что от 50 до 75% линзовидных галактик вне скоплений имеют газовые диски, вращающиеся не так, как звездные. Среди спиральных галактик встречаемость рассогласованного вращения газа и звезд в разы, а то и на порядок меньше (Jin et al., 2016; Ristea et al., 2022). Более того, исследуя крупномасштабные вращающиеся газовые диски в линзовидных галактиках, мы убедились, что, когда газовый диск сильно наклонен по отношению к звездному, темпы звездообразования на единицу газовой массы существенно ниже, чем в тех линзовидных галактиках, газ которых вращается внутри плоскости звездного диска — пусть даже и навстречу вращению звездного компонента (Sil'chenko et al., 2019). Очевидно, наклонный вход газового потока в потенциальную яму звездного диска может порождать ударную волну, которая греет газ и подавляет его способность образовывать звезды. Соответственно, если дисковая галактика все же формирует звезды (как это делают спиральные галактики в ближней Вселенной), скорее всего, она аккрецирует газ в плоскости. Интересная статистика продемонстрирована в обзоре SAMI (Bryant et al., 2015), содержащем интегральную полевую спектроскопию более двух тысяч галактик ближней Вселенной разных морфологических типов. Когда исследователи просто посчитали для каждой галактики разницу позиционных углов кинематической большой оси для звездного и газового компонента и построили распределение своей выборки по этому параметру отдельно для галактик со звездообразованием и без него, то в первом случае они получили два пика существенно разной высоты на $\Delta PA = 0^\circ$ и $\Delta PA = 180^\circ$, а во втором случае распределение по углам ΔPA было практически плоским на $\Delta PA > 30^\circ$ (Ristea et al., 2022). Очевидно, когда у галактики газ находится внутри звездного диска, у него больше шансов начать формирование молодых звезд, чем при наклонной аккреции, даже если газ вращается навстречу звездам, то есть явным образом был не так давно аккрецирован извне.

В данной статье мы представим детальное исследование объекта как раз из этого класса — линзовидной галактики NGC 6798, у которой весь ее наблюдаемый газ вращается навстречу звездам: само несовпадение направления вектора углового момента вращения у газа и звезд говорит о том, что галактика испытала аккрецию внешнего холодного газа позже того, как сформировался ее звездный диск. При этом нейтральный водород распределен в очень протяженном диске, плоскость которого совпадает с плоскостью звездного диска, превосходя звездный диск в размерах. Это тот самый

случай, о котором говорили давно (см., например, Oosterloo et al., 2007): что линзовидные галактики, когда они обладают большими запасами холодного газа, демонстрируют HI-диски, куда более протяженные, чем такие же спиральные галактики. В результате плотность газа в таком диске у линзовидной галактики меньше, чем у спиральной, и звездообразование не идет. У NGC 6798, согласно Kurapati et al. (2021), масса HI-диска $4.4 \times 10^9 M_\odot$, и проследить его удастся до расстояния 35 кпк от центра; причем во внешних частях, начиная с радиуса примерно 11 кпк, профиль плотности нейтрального водорода плоский, на уровне $0.5 M_\odot$ на пк^2 , что заведомо ниже пороговой плотности газа, необходимой для начала звездообразования (Kennicutt, 1998). Впрочем, ближе к центру в профиле HI наблюдается кольцо на радиусе около 5 кпк с максимумом плотности до $2 M_\odot$ на пк^2 (Di Teodoro and Peek, 2021). Как раз там звездообразование можно было ожидать. Именно там мы его и ищем в нашей работе.

На рис. 1 представлены изображения NGC 6798 в оптическом диапазоне из базы данных обзора PanSTARRS и в линии 21 см (нейтральный водород) из базы данных обзора радиоинтерферометра WSRT. NGC 6798 считается изолированной галактикой (см. каталог изолированных галактик 2MIG, Karachentseva et al., 2010); на самом деле при внимательном рассмотрении оказывается, что она имеет карликовый спутник MATLAS-2148 с абсолютной величиной $M_B = -12^m.1$ примерно в 27 кпк на юго-восток (Habas et al., 2020). Галактика ранее неоднократно детально изучалась. Она попала в выборку обзора полевой спектроскопии ATLAS-3D (Cappellari et al., 2011), и именно в этом обзоре в ней был обнаружен противовращающийся газ, как ионизованный в центре, так и нейтральный на большом протяжении за пределами звездного диска (Davis et al., 2011; Serra et al., 2014). Мы (Katkov et al., 2014) провели длиннощелевую спектроскопию NGC 6798 в рамках исследования выборки изолированных линзовидных галактик и оценили не только кинематику ионизованного газа и звезд, но и средние свойства звездного населения на разных расстояниях от центра галактики. И, наконец, еще одно исследование методом полевой спектроскопии, уже до расстояния от центра порядка 2.5 эффективных радиусов ($R \approx 40''$), было позже выполнено на IFU-спектрографе Mitchell Integral-Field Spectrograph и представлено в статье Boardman et al. (2017). Из этого исследования видно, что звездная кинематика диска остается стабильной, а кривая вращения — плоской, по крайней мере, до этого радиуса. При принимаемом нами (вслед за обзором ATLAS-3D) расстоянии до галактики 37.5 Мпк ее полная звездная масса — примерно $3.0 \times 10^{10} M_\odot$ (Leroy et al., 2019).

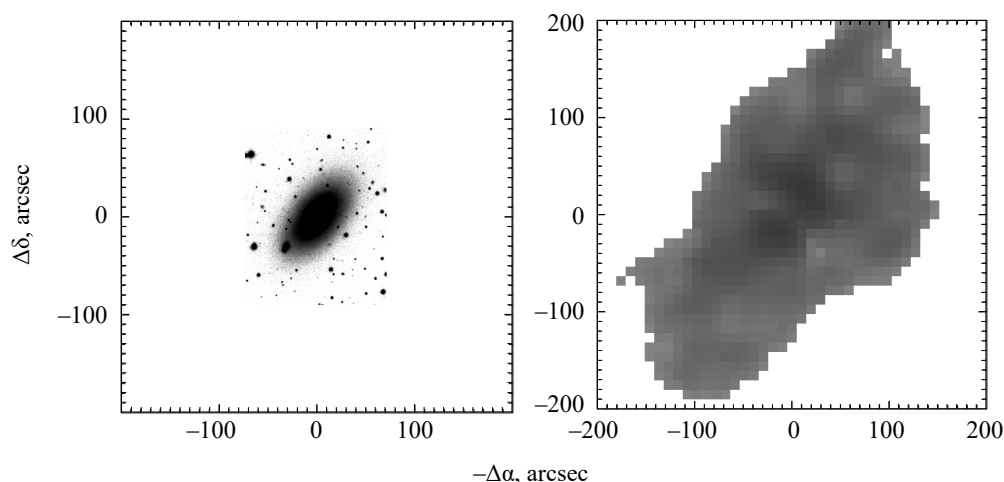


Рис. 1. Карты NGC 6798 в оптическом диапазоне (а) и в линии 21 см (б).

2. НАБЛЮДЕНИЯ

В галактике NGC 6798 нас заинтересовало, прежде всего, поведение газа и звездообразование в нем на полном протяжении диска этой S0-галактики — до сих пор исследования методами полевой спектроскопии охватывали либо совсем центральную часть галактики, либо в лучшем случае половину ее диска. Поэтому мы предприняли следующие дополнительные наблюдения (характеристики которых собраны в таблице 1).

2.1. Панорамная спектроскопия с интерферометром Фабри—Перо

На 6-м телескопе САО РАН 24 августа 2020 года для NGC 6798 было получено полное двумерное поле скоростей ионизованного газа. Галактика наблюдалась на БТА со сканирующим интерферометром Фабри—Перо (ИФП) в составе редуктора SCORPIO-2 (Afanasiev and Moiseev, 2011). Этот прибор позволяет осуществлять панорамную спектроскопию кинематики ионизованного газа на большом поле зрения — в данном случае на поле зрения SCORPIO-2 — $6'$. Обычно сканируется позиция в спектре одной эмиссионной линии, вырезанной интерференционным фильтром с шириной $15\text{--}30\text{ \AA}$; но в случае NGC 6798 в полосу сканирования попали и были измерены две соседние эмиссионные линии $\text{H}\alpha$ и $[\text{N II}]\lambda 6583$. Линия $[\text{N II}]\lambda 6583$ покрывает практически без пропусков всю центральную часть галактики, а эмиссия $\text{H}\alpha$ распределена более клочковато, зато детектируется в некоторых областях звездообразования дальше от центра галактики. Использование ИФП в 186 порядке интерференции (на $\lambda 6563$) обеспечивало спектральное разрешение $FWHM = 1.7\text{ \AA}$ (около 78 км с^{-1}) в спектральном

диапазоне $\Delta\lambda \approx 35\text{ \AA}$ вокруг линии $\text{H}\alpha$. Всего было получено 40 интерферограмм с меняющимся зазором между пластинами эталона Фабри—Перо; экспозиция каждой интерферограммы была 3 минуты. Наихудшее пространственное разрешение во время наблюдений, к которому были приведены все интерферограммы, составляло $2''.6$. Обработка наблюдательных данных, осуществлявшаяся авторскими программами¹, включала стандартные этапы работы с ПЗС-изображениями (вычитание байса, деление на плоское поле, удаление следов космических частиц) и некоторые специфические шаги: удаление колец от эмиссионных линий неба, корректировка за вариации прозрачности и качества изображений во время полной экспозиции, поправка за фазовый сдвиг (калибровка в длины волн) с помощью экспозиции лампы He-Ne-Ar (Moiseev, 2002; 2021; Moiseev and Egorov, 2008). В результате были получены полные карты галактики в континууме красного спектрального диапазона и в обеих эмиссионных линиях, комбинированное поле лучевых скоростей ионизованного газа и распределение дисперсии скоростей эмиссионных линий по телу галактики, свободное от аппаратного уширения. Некоторые из этих результатов представлены на рис. 2.

2.2. Картирование в эмиссионных линиях

Кроме того, были проведены наблюдения на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ (Shatsky et al., 2020) с картировщиком узких эмиссионных линий MaNGaL (Mapper of Narrow Galaxy Lines, Moiseev et al., 2020). MaNGaL является фотометром с перестраиваемым фильтром на базе сканирующего интерферометра Фабри—Перо низкого порядка

¹Доступны на сайте: <http://www.sao.ru/hq/moisav/soft>

Таблица 1. Характеристики наблюдений галактики NGC 6798

Прибор	Дата наблюдений	Суммарное время экспозиции, мин	Качество изображений, угл. сек.
Scorpio-2/Fabry–Pérot	24.08.2020	120	2.6
MaNGaL	22.10.2022	35 (H α) + 70 ([N II] λ 6583) + 35 (cont)	2.0
Scorpio-2/long-slit	20.11.2011	75	2.5

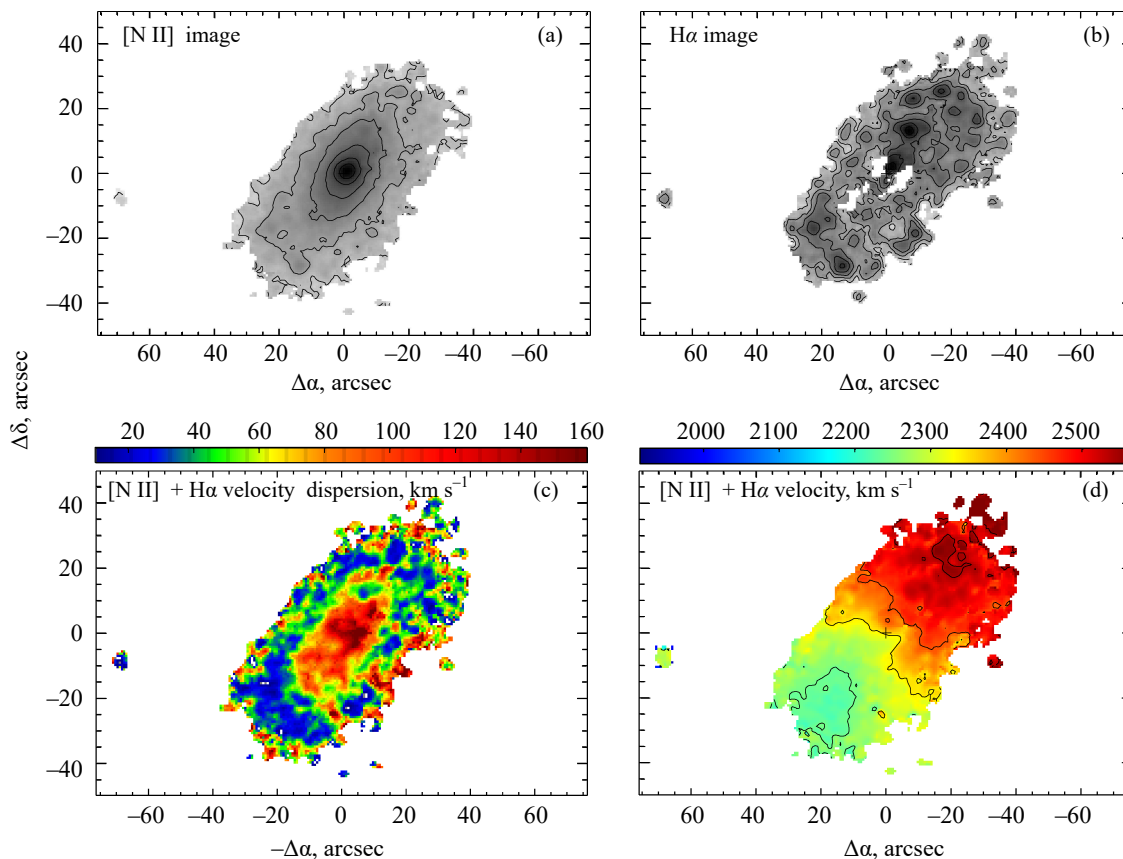


Рис. 2. Морфология интенсивности эмиссионных линий [N II] λ 6583 (a) и H α (b), распределение дисперсии скоростей ионизованного газа (c) и поле лучевых скоростей ионизованного газа (d), скомбинированное из измерений двух эмиссионных линий, по данным Фабри–Перо.

с шириной инструментального контура ($FWHM$) 13 Å. Детектор — низкошумящая ПЗС-камера форматом 1024 × 1024 пикселя. Масштаб составлял 0".325 на пиксель. Во время наблюдений последовательно выполнялись короткие накопления изображений при настройке полосы фильтра на эмиссионные линии H α , [N II] λ 6583 (с учетом средней скорости галактики и гелиоцентрической поправки) и на континуум, смещенный в голубую и красную сторону от комплекса линий. Такие серии экспозиций позволяют усреднить вклад от вариаций атмосферной прозрачности и качества изображений. Наблюдения выполнялись 22 октября 2022 года с суммарными экспозициями 2100 с

в H α , 4200 с в [N II] λ 6583 и 2100 с в континууме; качество изображений при наблюдениях было 2". Обработка данных MaNGaL похожа на методику работы с обычными прямыми снимками в узких фильтрах и описана в статье Moiseev et al. (2020). После вычитания континуума мы получили карты полного поля галактики в эмиссионных линиях H α и [N II] λ 6583. Эти карты представлены на рис. 3. Такое картирование позволило не только изучить морфологию ионизованного газа, но и оценить отношения сильных эмиссионных линий в областях звездообразования по всему диску галактики; с помощью этих измерений можно ограничить механизм возбуждения ионизованного газа и определить содержание кислорода в газе

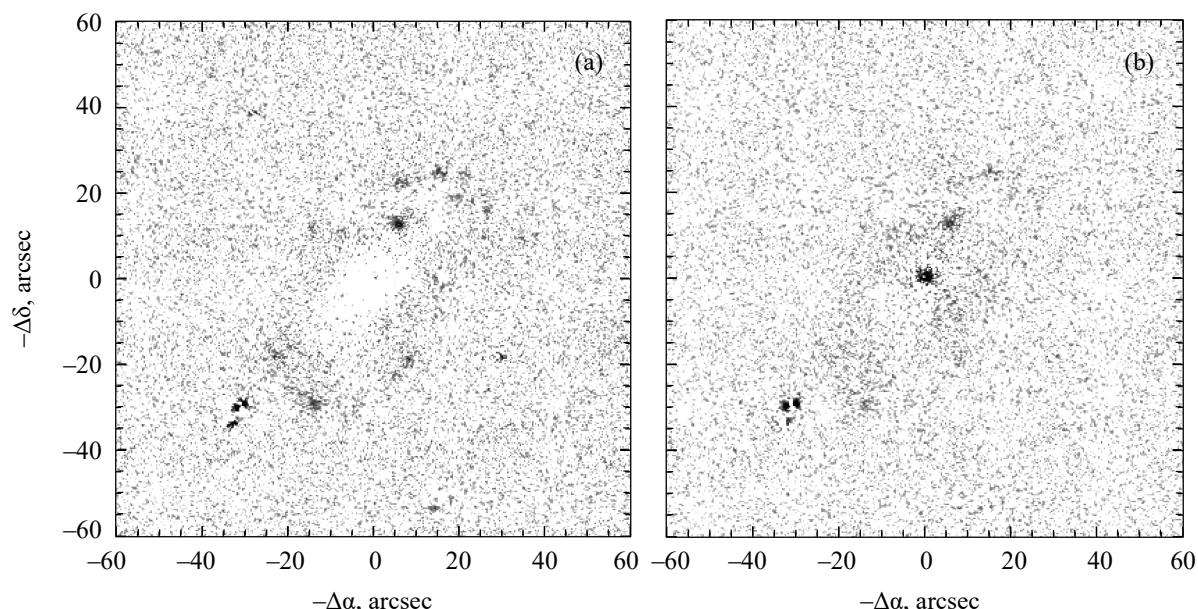


Рис. 3. Карты интенсивности эмиссионных линий по данным MaNGaL: (a) — в эмиссионной линии $H\alpha$, (b) — в эмиссионной линии $[N II] \lambda 6583$.

там, где он возбуждается молодыми звездами. Вычисление отношения близких эмиссионных линий $H\alpha$ и $[N II] \lambda 6583$ поправлялось за вклад крыльев соседней линии по калибровке, описанной Moiseev et al. (2020). Калибровка потоков в абсолютные энергетические единицы выполнялась по спектрофотометрическому стандарту AGK+81 266, наблюдавшемуся сразу после сканирования галактики.

2.3. Спектроскопия с длинной щелью

Дополнительные для нашего анализа спектральные данные с длинной щелью были получены 20 ноября 2011 года на БТА с многорежимным фокальным редуктором SCORPIO-2 (Afanasiev and Moiseev, 2011) и опубликованы в нашей работе Katkov et al. (2014). Использовалась гризма VRHG 1200@540, обеспечивавшая полный оптический диапазон спектральных наблюдений в интервале длин волн 3650–7300 Å, с разрешением около 5 Å. Щель шириной 1'' была ориентирована в $PA = -30^\circ$, время экспозиции составляло 4500 с. Качество изображений было 2''5. Этот длиннощелевой разрез использовался для измерения потоков дополнительных эмиссионных линий (в зеленой области спектра) и их отношений для некоторых выделенных областей, с целью дополнительного контроля идентификации возбуждения HII -областей молодыми звездами на диаграмме Baldwin–Phillips–Terlevich (BPT) (Baldwin et al., 1981).

2.4. Поверхностная фотометрия

Для анализа структуры галактики и выделения в ней крупномасштабных компонент мы использовали публичные данные, предоставленные сервисом Legacy Survey (Dey et al., 2019) и полученные для NGC 6798 в рамках обзора BASS (Zou et al., 2017). Мы проанализировали изображения в фильтрах g, r . При масштабе обзора BASS 0''.45 на пиксель, ширина инструментального контура ($FWHM$ изображений звезд) около 1''.2. В ходе изофотного анализа, выполненного с помощью программы FITELL авторства В. В. Власюка, мы одновременно определяли позиционный угол большой оси и эллиптичность изофот, меняющиеся вдоль радиуса, и строили профиль поверхностной яркости, усредненной в эллиптических кольцах, соответствующих форме изофот на данном радиусе. На каком-то внешнем радиусе, где изофотный анализ уже точно выходил в область доминирования крупномасштабного звездного диска (эллиптичность изофот выходила на плато), мы фиксировали параметры изофот. Далее по радиусу осреднялась поверхностная яркость именно в таких, фиксированных по форме, эллиптических апертурах, соответствующих проекции круглого тонкого диска галактики на картинную плоскость; при этих расчетах использовалась собственная программа AZZUM, написанная на языке IDL. Таким образом нам удалось протянуть профиль азимутально осредненной поверхностной яркости довольно далеко от центра: до пяти эффективных радиусов, если сравнивать с масштабом исследований методом полевой спектроскопии.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Структура галактики

NGC 6798 во всех каталогах классифицируется как линзовидная галактика без бара. Тем не менее изофотный анализ (рис. 4) обнаруживает слабые вариации как позиционного угла большой оси изофот, так и их эллиптичности. Самая заметная особенность на всех трех графиках рис. 4 — это низко-контрастное широкое звездное кольцо в интервале радиусов $R = 14''$ – $22''$ (2.5–4.0 кпк), возможно, эллиптической формы, поскольку эллиптичность изофот на этих радиусах демонстрирует локальный максимум. По положению на профиле поверхностной яркости можно констатировать, что это кольцо располагается на границе балджа и диска галактики. Экспоненциальный диск типа I доминирует в поверхностной яркости галактики, начиная с радиуса $R = 22''$ – $25''$ (4 кпк). В нашей работе (Katkov et al., 2014) мы, оценивая средний возраст звездного населения вдоль радиуса галактики, получили, что звездное кольцо моложе как балджа, так и крупномасштабного диска галактики: $T_{\text{SSP}} = 5$ млрд лет в кольце против $T_{\text{SSP}} \approx 7$ млрд лет в балдже и в диске. Позднее аналогичный результат был получен по данным панорамной спектроскопии в работе Boardman et al. (2017); точнее, они нашли небольшую добавку звездного населения возраста 1.5–2 млрд лет и относительно низкой металличности, $[Z/H] = -0.7$, к более массивному старому звездному населению околосолнечной металличности (которое наблюдается в их данных на всех радиусах в NGC 6798). Оба этих оценочных результата свидетельствуют о том, что 1.5–2 млрд лет назад на радиусе около $R = 14''$ (2.5 кпк) произошла слабая кольцевая вспышка звездообразования.

3.2. Двумерное поле скоростей газа

Весь газ, который есть в NGC 6798, противовращается по отношению к звездному диску. В рамках обзора ATLAS-3D был закартирован нейтральный водород, с помощью интерферометра WSRT (Serra et al., 2014) с пространственным разрешением $38''$, до расстояния от центра $3'$ и ионизованный газ в линии $[\text{O III}] \lambda 5007$ до расстояния $15''$ от центра. Поле скоростей ионизованного газа в линиях $\text{H}\alpha$ и $[\text{N II}] \lambda 6583$, измеренное нами со сканирующим интерферометром Фабри–Перо и представленное на рис. 2, заполняет пробел между этими двумя масштабами, протянувшись до расстояния около $40''$ от центра с разрешением $3''$. Мы проанализировали круговой характер вращения газа и ориентацию плоскости его диска, приложив к этим двумерным спектральным данным программу DetKa (Moiseev et al., 2004), использующую анализ

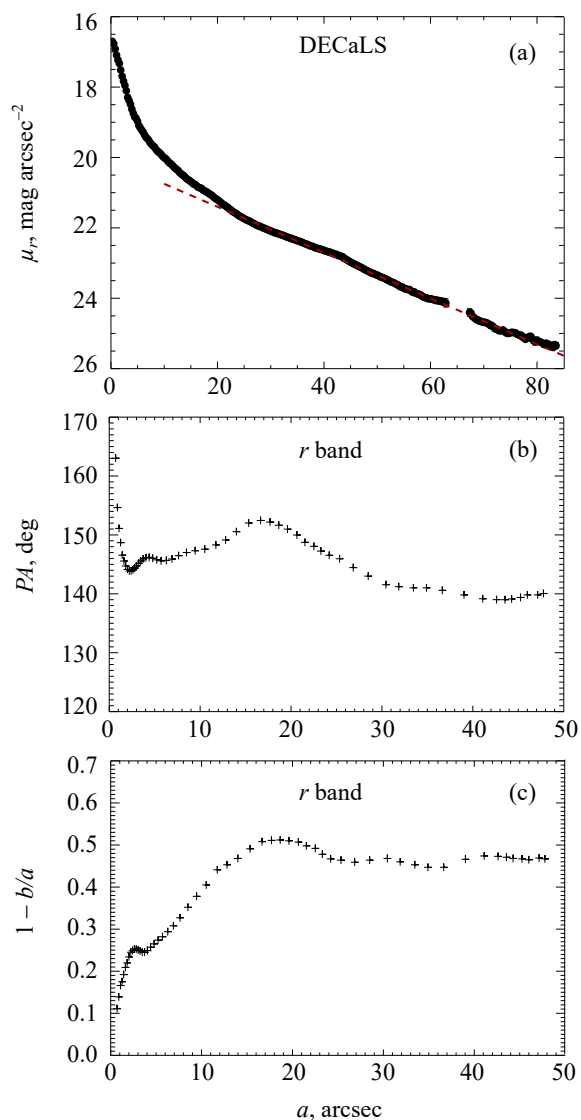


Рис. 4. Азимутально-усредненный профиль поверхностной яркости (a) и результаты изофотного анализа: ориентация большой оси изофот (b) и эллиптичность изофот (c). В профиль поверхностной яркости, в интервале $R = 25''$ – $75''$, вписан экспоненциальный закон распределения, характеризующий звездный диск NGC 6798: $\mu_r = 20.1 + 1.086 R''/16''7$.

поля скоростей методом скользящих по радиусу колец (tilted-ring) и разложение в ряд Фурье распределения по азимуту для наблюдаемых лучевых скоростей внутри этих колец. Мы проанализировали поля скоростей ионизованного газа в линиях $\text{H}\alpha$ и $[\text{N II}] \lambda 6583$ (рис. 2) и поля скоростей звезд и ионизованного газа в линии $[\text{O III}] \lambda 5007$, полученные по данным двумерной спектроскопии прибора SAURON в рамках обзора ATLAS-3D (Cappellari et al., 2011). К полю скоростей нейтрального водорода из архива данных интерферометра WSRT мы приложили программу 3DBarolo (Di Teodoro

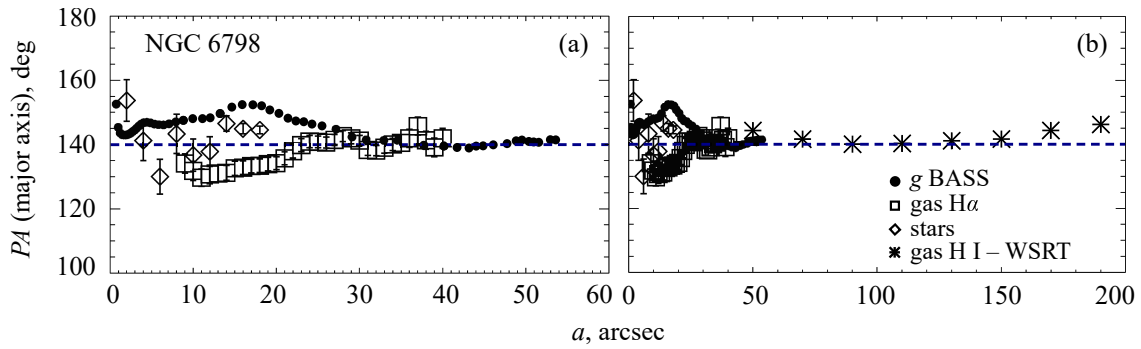


Рис. 5. Сравнение ориентации кинематической и фотометрической большой оси — для центральной области (a) и для полного протяжения газового диска галактики (b). Для удобства представления из позиционного угла кинематической большой оси полей скоростей газа мы вычли 180° . Штриховой линией прослежена ориентация большой оси изофот внешнего звездного диска NGC 6798.

and Fraternali, 2015), учитывающую значительную, по сравнению с размером галактики, диаграмму направленности радиотелескопа. Сравнение ориентации кинематической большой оси — направления максимального наблюдаемого градиента лучевой скорости — с ориентацией фотометрической большой оси — линией узлов плоскости диска в случае его круглой формы — представлено на рис. 5. В случае чисто кругового вращения в плоскости звездного диска галактики его линия узлов совпадет с ориентацией кинематической большой оси, в то время как наличие некруговых движений будет обнаружено по рассогласованию кинематической и фотометрической большой оси (Chevalier and Furenlid, 1978; Moiseev et al., 2004). На рис. 5 мы видим, что за пределами $R > 30''$ газ вращается в плоскости звездного диска по круговым орбитам, но он при этом вращается навстречу звездам на всем протяжении диска. В центральной области $R < 30''$ кинематическая, для газа, и фотометрическая большие оси расходятся в разные стороны от линии узлов, что является наблюдательной демонстрацией наличия некруговых движений, возможно, из-за слабой неосесимметричности распределения гравитационного потенциала (Vauterin and Dejonghe, 1997).

Модель кругового вращения газа в диске NGC 6798 показана на рис. 6. В целом, она неплоха: среднее отклонение модели от наблюдаемых данных — 11 km s^{-1} . Однако систематические остатки на малой оси заставляют подозревать на некоторых выделенных радиусах — на $R \sim 12''$ и на $R = 30''\text{--}34''$ — присутствие радиальных движений. Программа DetKa позволяет, после получения модели кругового вращения для полного газового диска, рассчитать еще и радиальную компоненту скорости вдобавок к азимутальной — то есть выявить натекание газа по радиусу вдобавок к его круговому вращению. На рис. 7 показана радиальная зависимость еще и для этой

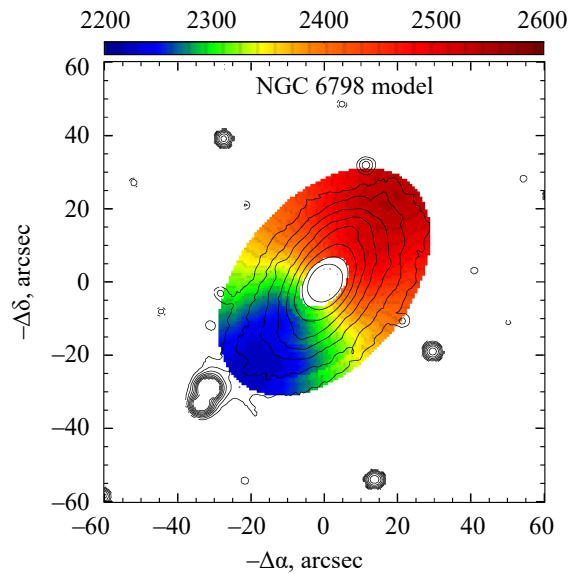


Рис. 6. Модель кругового вращения газа в диске галактики NGC 6798, полученная подгонкой поля лучевых скоростей эмиссионных линий $\text{H}\alpha$ и $[\text{N II}]\lambda 6583$, — результат применения программы DetKa. Изофотами наложено распределение яркости в континууме, также по данным Фабри–Перо.

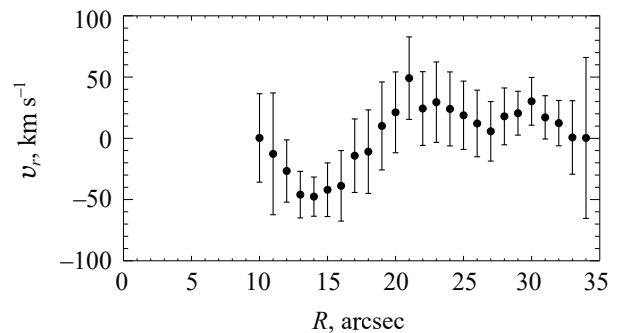


Рис. 7. Радиальная скорость ионизованного газа в зависимости от расстояния до центра — результат программы DetKa.

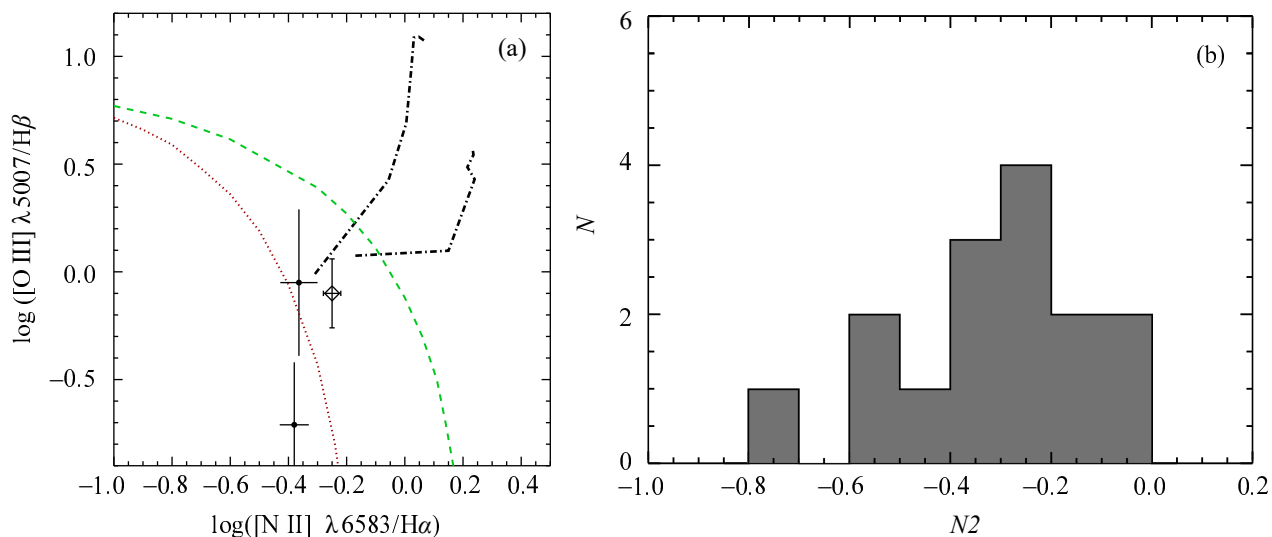


Рис. 8. Эмиссионные линии в NGC 6798: BPT-диаграмма по данным спектроскопии с длинной щелью (а) и распределение эмиссионных областей по индикатору $N2$ по данным MaNGaL (b). На BPT-диаграмме точками показаны эмиссионные области в кольце на радиусе $R \sim \pm 31''$, а ромбом — яркая эмиссионная область в $14''$ от центра. Красная пунктирная и зеленая штриховая линии разграничивают положения эмиссионных областей, возбужденных молодыми звездами (слева и снизу от линии), от других механизмов возбуждения, согласно Kauffmann et al. (2003) и Kewley et al. (2001) соответственно. Штрих-пунктирными линиями показаны модели возбуждения газа ударной волной — газа с солнечной металличностью и стандартной электронной плотностью $n = 1 \text{ cm}^{-3}$ — из работы Allen et al. (2008). Вдоль каждой ломаной снизу вверх растет скорость ударной волны, от 200 до 1000 km s^{-1} ; из двух ломаных правая соответствует ударной волне, распространяющейся в окружении низкой плотности, а левая — в уже возбужденном плотном газе (модель ударной волны вместе с прекурсором). Гистограмма на панели (b) показывает распределение эмиссионных сгустков на картах MaNGaL по отношению потоков в линиях, $N2 \equiv \lg([N II] \lambda 6583/H\alpha)$ соответственно; по оси абсцисс — параметр $N2$, по оси ординат — число областей в каждом бине шириной 0.1 dex .

компоненты скорости ионизованного газа. Мы видим, что внутри радиуса $R < 17''$ (3 кпк) — а это радиус звездного молодого кольца — газ течет от центра с максимальной скоростью около 40 km s^{-1} , а вот на радиусе $R \sim 30''$ (5.5 кпк) ионизованный газ течет внутрь со скоростью около 20 km s^{-1} . Интересно, что похожий анализ для поля скоростей нейтрального водорода был проделан с помощью программы 3DBarolo (Di Teodoro and Fraternali, 2015) в работе Di Teodoro and Peek (2021), и они также нашли радиальный поток газа внутрь со скоростью около 20 km s^{-1} на радиусе $R \sim 30''$; на больших радиусах скорость радиального движения нейтрального водорода в NGC 6798, согласно их анализу, строго равна нулю.

3.3. Природа возбуждения противовращающегося газа

Если наблюдения со сканирующим интерферометром Фабри–Перо обеспечили нам данные о морфологии распределения и лучевых скоростях ионизованного газа в линиях $H\alpha$ и $[N II] \lambda 6583$ по всему телу NGC 6798, то прибор MaNGaL на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ позволил получить карты

потоков в эмиссии (рис. 3). Эмиссионные линии в диске галактики — слабые и в основном сконцентрированы в кольце радиусом $R \sim 31''$ (5.6 кпк). Однако единственная самая яркая в эмиссии $H\alpha$ компактная область кольцу не принадлежит: она располагается примерно в $14''$ (2.5 кпк) на северо-запад от центра. Можно было бы интерпретировать ее как анзаэ² на конце слабого бара — но симметричная ей южная область на расстоянии $14''$ отсутствует. Эта область попала на щель, когда мы наблюдали NGC 6798 на БТА с длинной щелью в позиционном угле $PA = -30^\circ$, вместе с эмиссионными областями на пересечении щели с кольцом на $R \sim \pm 31''$. Данные длиннощелевой спектроскопии, покрывавшей полный оптический диапазон, позволяют протестировать механизм возбуждения газа с помощью BPT-диаграммы, предложенной в свое время Baldwin et al. (1981), на которой сопоставляются отношения линий низкого и высокого возбуждения к близлежащим бальмеровским линиям. На рис. 8а мы видим, что газ в кольце возбуждается молодыми звездами (в пределах ошибок измерений участки кольца попадают в область, отведенную диагностикой Kauffmann et al. (2003)

²От латинского 'ansae' — «ушки», ручки амфоры.

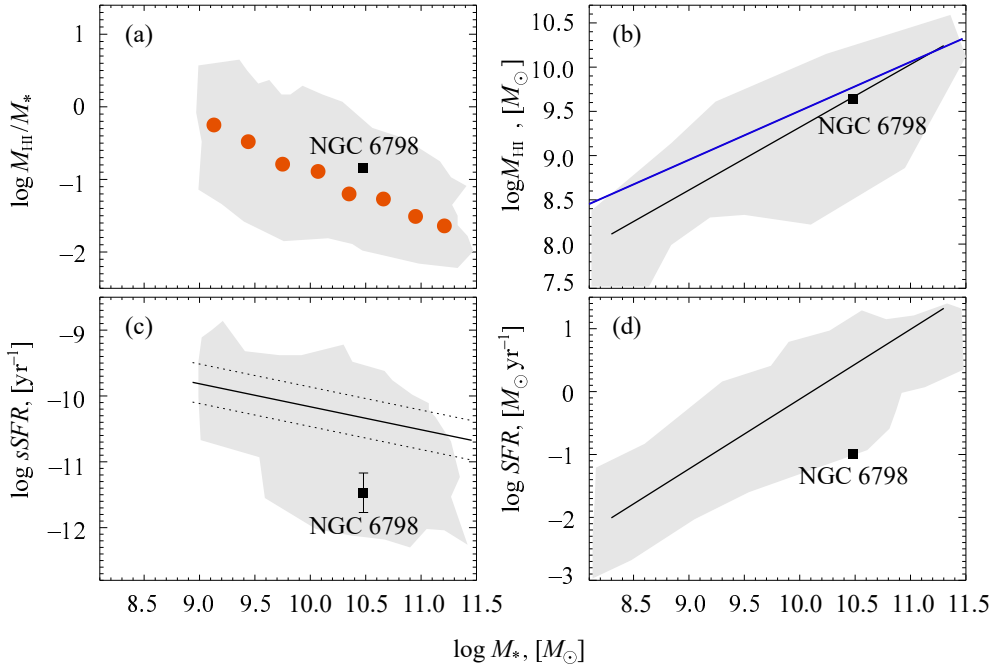


Рис. 9. Положение NGC 6798 на усредненных (масштабных) соотношениях, связывающих полную звездную массу, массу нейтрального водорода и темпы звездообразования в галактиках по данным обзора xGASS (Catinella et al., 2018; Janowiecki et al., 2020) (панели (a) и (c)) и WHISP (Nalumina et al., 2021) (панели (b) и (d)). Оранжевые кружки на панели (a) — это медианные значения массы HI по бинам звездных масс, сплошные черные линии — средние тренды, точечные линии на левом нижнем рисунке отмечают ± 0.3 dex от главной последовательности, на панели (b) синяя линия отмечает тренд для полной массы HI, взятой в широких окрестностях от границ галактики.

для H II-областей); а вот в отдельно стоящей яркой эмиссионной области характер возбуждения смешанный — тут могут сыграть свою роль и ударные волны.

По данным MaNGaL мы смогли померять отношение потоков в эмиссионных линиях H α и [N II] λ 6583 в 17 областях, 16 из которых принадлежат кольцу — как теперь ясно, кольцу звездообразования. На рис. 8b представлено распределение 16 областей кольца звездообразования по параметру $N2 \equiv \lg([N II] \lambda 6583 / H\alpha)$. Распределение похоже на гауссиану; то есть учитывая слабость эмиссии в областях звездообразования в кольце, это может быть нормальное распределение с шириной, определяемой ошибкой измерения. Среднее значение параметра $N2$ на рис. 8a равно $\langle N2 \rangle = -0.305$; а если ограничить выборку областями с $EW(H\alpha) > 3 \text{ \AA}$, чтобы точно отбраковать области, возбужденные старыми звездами (Binette et al., 1994; Cid Fernandes et al., 2011), то получается $\langle N2 \rangle = -0.40 \pm 0.05$. В любом случае, такому значению $N2$ соответствует солнечная металличность, что мы уже отмечали в нашей статье (Katkov et al., 2014): согласно калибровке Pettini and Pagel (2004), $12 + \lg(O/H) = 8.73$ для первой оценки $N2$ и 8.67 — для второй. Напомним, что звезды в диске NGC 6798 показывают металличность ниже солнечной — в два раза, если в среднем

для всего звездного населения (Katkov et al., 2014), и в пять раз, если рассматривать отдельно молодой компонент звездного населения (Boardman et al., 2017).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Интегральные массы звездной и газовой компоненты в дисковых галактиках связывают так называемые масштабные соотношения; существует также и масштабное соотношение, связывающее звездную массу галактики с ее интегральным темпом звездообразования — так называемая «главная последовательность» (Brinchmann et al., 2004; Noeske et al., 2007), которой принадлежат большинство спиральных галактик ближней Вселенной. На рис. 9 мы поместили NGC 6798 на масштабные зависимости для дисковых галактик, включая спиральные, которые были построены по свежим данным обзоров неба в линии нейтрального водорода 21 см. Интегральные параметры — звездная масса и темп звездообразования — для NGC 6798 взяты из таблиц Leroy et al. (2019) — в этой работе звездная масса и темп звездообразования определяются подгонкой распределения энергии в спектре, SED, в широком диапазоне длин волн, GALEX + WISE4. Соответственно, определенный таким образом интегральный темп звездообразования в галактике относится к недавним

временам масштаба сотен миллионов лет. Полная масса нейтрального водорода взята из недавней переработки куба данных WSRT Knapik et al. (2021). Мы видим, что NGC 6798 содержит совершенно нормальное количество газа для своей массы, но в ней явным образом подавлено звездообразование: галактика едва попадает на самый край «зеленой долины». Аналогичный вывод мы получим, если поместим NGC 6798 на масштабные соотношения в работе Cortese et al. (2020), на их рис. 1: для своей звездной массы, галактика показывает медианное обилие нейтрального водорода, но отстает от главной последовательности на порядок величины в темпе звездообразования.

Таким образом, аккрецируя газ средними для спиральных галактик темпами и к тому же строго в плоскости галактического диска (рис. 5), NGC 6798 тем не менее является галактикой линзовидной, с подавленным звездообразованием. Предложенный нами ранее (Sil'chenko et al., 2019) сценарий подавления звездообразования в линзовидных галактиках, богатых газом, из-за наклонного направления аккреции в данном случае не подходит: плоскость протяженного газового диска NGC 6798 строго совпадает с плоскостью звездного диска (рис. 5). А вот сценарий, предложенный Peng and Renzini (2020), согласно которому линзовидными становятся галактики, которые аккрецируют внешний газ со слишком большим орбитальным моментом, что мешает газу стекать к центру, в область глубокой потенциальной ямы звездного диска и там, поджимаясь, уже формировать звезды — в данном случае отлично подходит. Действительно, конкретно NGC 6798, будучи помещена уже на другое масштабное соотношение, связывающее удельный момент с полной массой газа (Knapik et al., 2021, рис. 2), «выскакивает» вверх от средней последовательности более чем в два раза. Очевидно, из-за большого момента аккрецируемого газа он остается на больших расстояниях от центра, вне звездного диска, и пребывает в таком равновесном состоянии многие миллиарды лет — не даром Di Teodoro and Peek (2021), измерявшие радиальные скорости в протяженных газовых дисках по данным радиоинтерферометра WSRT, в NGC 6798 получили строгий ноль за пределами звездного диска. У этой галактики внешний резервуар холодного газа есть — но в данный момент этот газ не аккрецирует на нее. Именно это может быть причиной подавленного звездообразования в NGC 6798.

Но звездообразование в галактике все же идет, хотя и слабое. Согласно нашим данным (рис. 3), оно сосредоточено в кольце радиусом $R \sim 31''$, или 5.6 кпк. Оценка темпа звездообразования по

потоку в эмиссионной линии $H\alpha$ в кольце, в калибровке Kennicutt (1998), — $0.006 M_{\odot}$ в год. Это именно звездообразование, текущее в данный момент, — временная шкала эмиссионной линии $H\alpha$ как индикатора звездообразования составляет всего два-три десятка миллионов лет. Интересно, что радиус концентрации относительно молодого звездного населения диска, родившегося примерно 1.5–2 млрд лет назад, не совпадает с радиусом кольца текущего звездообразования: он всего $14''$ – $18''$, или около 3 кпк. И плюс ко всему — на радиусе кольца звездообразования поле скоростей как ионизованного, так и нейтрального газа обнаруживает радиальное движение газа со скоростью около 20 км с^{-1} ; на радиусе звездного молодого кольца, $14''$ – $18''$, наоборот, наблюдаются радиальные движения газа наружу. Что-то произошло в галактике 1.5 млрд лет назад, после чего с радиуса 3 кпк стартовала наружу волна распространения кольцевого звездообразования. Вероятно, это событие не было связано с событием аккреции противовращающегося газа, потому что волна — вероятно, волна сжатия — пошла по уже существующему, в том числе в центре галактики, противовращающемуся газовому диску. Первое, что приходит в голову — это импактное происхождение волны сжатия в газовом диске: на радиусе звездного кольца, $R = 14''$, располагается самая яркая в галактике эмиссионная область с признаком ударного возбуждения. Это могли бы быть остатки спутника, упавшего сверху на диск галактики. Однако это место не является центром кольца звездообразования — кольцо эмиссионных H II-областей центрировано на фотометрический и динамический центр галактики. Динамика механизма, запустившего волну сжатия в газовом диске, похоже, нелокальна.

Наличие радиальных потоков газа в центральной области может быть не связано с внешним воздействием, а может быть проявлением присутствия бара в галактике. Галактика NGC 6798 вообще-то никогда не классифицировалась, как имеющая бар; однако наш изофотный анализ (рис. 4) показал, что слабая триаксиальность в центре возможна. На рис. 10 мы дополнительно представляем карту цвета $g - r$ для NGC 6798, на которую изофотами наложено остаточное изображение в фильтре r , полученное вычитанием из исходного изображения галактики гладкой модели с параметрами изофот, меняющимися по радиусу согласно результатам изофотного анализа. Можно увидеть во внутренней области галактики красные (пылевые) спирали, заканчивающиеся как раз на $R = 14''$, то есть на севере окончание спирали — вблизи яркой эмиссионной области, которая тем не менее на спираль не попадает. Такая картина напоминает известное явление концентрации пыли на краях бара, в

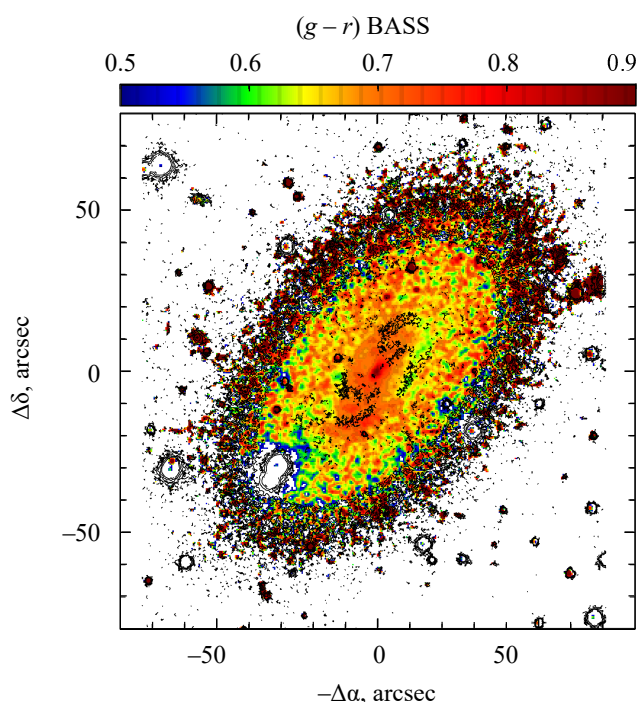


Рис. 10. Карта цвета NGC 6798; изолиниями наложена карта остаточной яркости после вычитания из r -изображения гладкой модели, полученной в ходе изофотного анализа.

ударных волнах, связанных с натеканием газа в ходе дифференциального вращения на потенциальную яму бара. Так что вполне вероятно, что все радиальные движения газа в NGC 6798 связаны именно с неосесимметричным потенциалом в центре, хотя, в отличие от движения газа к центру, отток на $R = 3$ кпк — весьма редкое в наблюдениях явление.

Наши измерения радиальной скорости ионизованного газа (рис. 7) показывают переключение направления радиальных потоков газа в области звездного кольца, содержащего вторичное (относительно молодое) звездное население. Нам совершенно случайно известен один очень похожий случай. В 1990-е годы мы, наблюдая спиральную галактику позднего типа NGC 6181 со сканирующим интерферометром Фабри—Перо на БТА, обнаружили, после вычитания модели поля круговых скоростей, в остаточных скоростях кольцо ионизованного газа на радиусе около 2 кпк, расширяющееся со скоростью до 70 км с^{-1} (Sil'chenko et al., 1997). В этой галактике мы также обнаружили в центре разворот изофот и сделали вывод о присутствии компактного бара — хотя галактика в базе данных NED до сих пор классифицируется как SA(rs)c. Галактика NGC 6181 — спиральная, с хорошим темпом звездообразования $3.5 M_{\odot} \text{ год}^{-1}$ (Leroy et al., 2019), и искать в ней в оптических эмиссионных линиях признаки возбуждения удар-

ной волной на фоне такого интенсивного звездообразования — трудно. Однако в архивных данных радионаблюдений в континууме на длине волны 20 см, проведенных в 1980-е годы на VLA в обширном обзоре Condon et al. (1990), мы обнаружили эту кольцевую структуру в радиоконтинууме. То есть очевидно ударная волна с синхротронным излучением там все-таки есть. Сейчас на рис. 11 мы показываем карты NGC 6181 в ультрафиолетовых лучах по данным космического телескопа GALEX. Кроме ярких спиральных ветвей, в центре NGC 6181 видна и кольцевая структура молодых звезд как раз сразу за кольцом максимума скорости радиального расширения. В этой кольцевой структуре есть и компактные уярчения, типа анзаэ; может быть, самая яркая эмиссионная область в NGC 6798 на $R = 14''$ имеет как раз такую природу — асимметричного, в данном случае, анзаэ на конце бара.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природа линзовидных галактик — больших дисковых галактик, в которых по каким-то причинам не идет полномасштабное звездообразование в диске — до сих пор не имеет общепринятого объяснения. По мере того, как накапливается информация по отдельным классам линзовидных галактик, все большее число исследователей склоняется к мысли о том, что «эволюционных каналов», которые могут приводить к формированию линзовидных галактик, на самом деле несколько, и они весьма различны по набору действующих физических механизмов. Случай NGC 6798, разбираемый в данной статье, представляет собой пример, иллюстрирующий один из ранее предлагавшихся сценариев: когда аккрецируемый галактикой холодный газ имеет слишком большой орбитальный угловой момент и из-за этого не может попасть в область центрального диска галактики, где, поджатый потенциалом звездного диска, он смог бы начать формирование звезд. То звездообразование, которое мы все же обнаружили в галактике, очевидно началось уже много позже события формирования большого газового диска. Бар, возникший в центре NGC 6798, и побежавшая от него по радиусу галактики волна уплотнения газа, которую мы сейчас детектируем по кольцевому комплексу H II-областей, — это следствие отдельного события в жизни галактики, возможно, тоже связанного со взаимодействием (возможно, с поглощением малого спутника — совсем малого, типа M33-2148).

БЛАГОДАРНОСТИ

Основная часть наблюдательных данных, проанализированных в данной работе, была получена

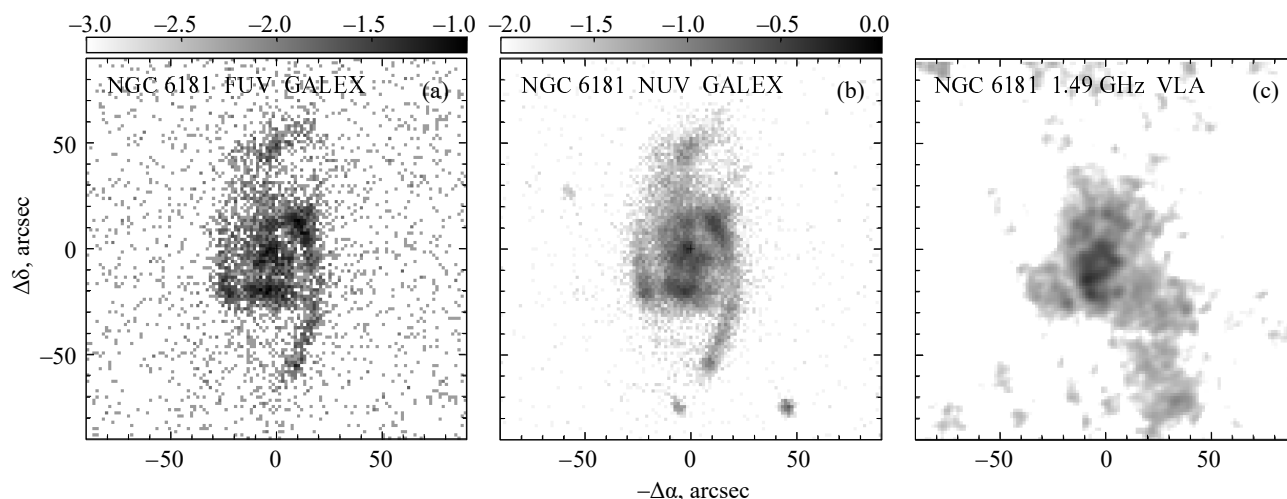


Рис. 11. Карты NGC 6181 в ультрафиолетовых полосах FUV (λ 1500) и NUV (λ 2300) по данным телескопа GALEX (панели (a) и (b) соответственно) и в радиоконтинууме 1.49 ГГц (c) по данным VLA (Condon et al., 1990).

на 6-метровом телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Наблюдения на телескопах CAO РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта «Наука и университеты». Также наблюдательные данные были получены на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ, построенном и оснащённом при поддержке Программы развития Московского университета. В работе мы также пользовались данными Базы внегалактических данных NED (NASA/IPAC), которая управляется Лабораторией реактивного движения и Калифорнийским технологическим институтом, по контракту с NASA. Наши результаты опираются на публичные данные космического телескопа GALEX (NASA Galaxy Evolution Explorer), управлявшегося Калифорнийским технологическим институтом по контракту с NASA номер NAS5-98034. Данные GALEX взяты из публичного архива MAST (Mikulski Archive for Space Telescopes), который поддерживается космическим офисом НАСА по гранту NNX13AC07G и другим грантам. Также мы использовали данные обзора SDSS-III (<http://www.sdss3.org/>), который поддержан Фондом Альфреда П. Слоана и ассоциацией университетов. Данные оптической фотометрии предоставлены сервисом Legacy Survey (<https://www.legacysurvey.org/bass/>) по результатам обзора BASS. BASS — это ключевой проект Программы доступа к телескопам (TAP), которая финансируется Национальной астрономической обсерваторией Китая, Китайской академией наук (исследовательская программа стратегических приоритетов «The Emergence of Cosmological

Structures», грант № XDB09000000), и специальным фондом для астрономии Министерства финансов Китая. BASS также поддержан Программой внешней кооперации Китайской Академии наук (грант № 114A11KYSB20160057) и Китайским национальным фондом для естественных наук (гранты № 12120101003 и № 11433005). Стандартная обработка и анализ данных обзора поддерживаются NOIRLab и the Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). NOIRLab управляется Ассоциацией университетов для исследований в астрономии (AURA) по кооперативному соглашению с Национальным научным фондом США.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Наблюдения и анализ данных выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-12-00080.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Baltic Astronomy* **20**, 363 (2011). DOI:10.1515/astro-2017-0305
2. M. G. Allen, B. A. Groves, M. A. Dopita, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **178** (1), 20 (2008). DOI:10.1086/589652
3. J. A. Baldwin, M. M. Phillips, and R. Terlevich, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **93**, 5 (1981). DOI:10.1086/130766

4. L. Binette, C. G. Magris, G. Stasińska, and A. G. Bruzual, *Astrophys. J.* **292**, 13 (1994).
5. N. F. Boardman, A.-M. Weijmans, R. van den Bosch, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **471** (4), 4005 (2017). DOI:10.1093/mnras/stx1835
6. J. Brinchmann, S. Charlot, S. D. M. White, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **351** (4), 1151 (2004). DOI:10.1111/j.1365-2966.2004.07881.x
7. J. J. Bryant, M. S. Owers, A. S. G. Robotham, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **447** (3), 2857 (2015). DOI:10.1093/mnras/stu2635
8. M. Cappellari, E. Emsellem, D. Krajnović, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **413** (2), 813 (2011). DOI:10.1111/j.1365-2966.2010.18174.x
9. B. Catinella, A. Saintonge, S. Janowiecki, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **476** (1), 875 (2018). DOI:10.1093/mnras/sty089
10. R. A. Chevalier and I. Furenlid, *Astrophys. J.* **225**, 67 (1978). DOI:10.1086/156468
11. R. Cid Fernandes, G. Stasińska, A. Mateus, and N. Vale Asari, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **413** (3), 1687 (2011). DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.18244.x
12. J. J. Condon, G. Helou, D. B. Sanders, and B. T. Soifer, *Astrophys. J. Suppl.* **73**, 359 (1990). DOI:10.1086/191472
13. L. Cortese, B. Catinella, R. H. W. Cook, and S. Janowiecki, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **494** (1), L42 (2020). DOI:10.1093/mnras/laa032
14. T. A. Davis, K. Alatalo, M. Sarzi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **417** (2), 882 (2011). DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.19355.x
15. A. Dey, D. J. Schlegel, D. Lang, et al., *Astron. J.* **157** (5), article id. 168 (2019). DOI:10.3847/1538-3881/ab089d
16. E. M. Di Teodoro and F. Fraternali, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **451** (3), 3021 (2015). DOI:10.1093/mnras/stv1213
17. E. M. Di Teodoro and J. E. G. Peek, *Astrophys. J.* **923** (2), id. 220 (2021). DOI:10.3847/1538-4357/ac2cbd
18. R. Habas, F. R. Marleau, P.-A. Duc, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **491** (2), 1901 (2020). DOI:10.1093/mnras/stz3045
19. S. Janowiecki, B. Catinella, L. Cortese, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **493** (2), 1982 (2020). DOI:10.1093/mnras/staa178
20. Y. Jin, Y. Chen, Y. Shi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **463** (1), 913 (2016). DOI:10.1093/mnras/stw2055
21. V. E. Karachentseva, S. N. Mitronova, O. V. Melnyk, and I. D. Karachentsev, *Astrophysical Bulletin* **65** (1), 1 (2010). DOI:10.1134/S1990341310010013
22. I. Y. Katkov, A. Y. Kniazev, and O. K. Sil'chenko, *Astron. J.* **150** (1), article id. 24 (2015). DOI:10.1088/0004-6256/150/1/24
23. I. Y. Katkov, O. K. Sil'chenko, and V. L. Afanasiev, *Astrophysical Bulletin* **69** (2), 121 (2014). DOI:10.1134/S1990341314020011
24. G. Kauffmann, T. M. Heckman, C. Tremonti, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **346** (4), 1055 (2003). DOI:10.1111/j.1365-2966.2003.07154.x
25. R. C. Kennicutt, Jr., *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **36**, 189 (1998). DOI:10.1146/annurev.astro.36.1.189
26. L. J. Kewley, M. A. Dopita, R. S. Sutherland, et al., *Astrophys. J.* **556** (1), 121 (2001). DOI:10.1086/321545
27. S. Kurapati, J. N. Chengalur, and M. A. W. Verheijen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **507** (1), 565 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab2230
28. A. K. Leroy, K. M. Sandstrom, D. Lang, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **244** (2), article id. 24 (2019). DOI:10.3847/1538-4365/ab3925
29. S. J. Lilly, C. M. Carollo, A. Pipino, et al., *Astrophys. J.* **772** (2), article id. 119 (2013). DOI:10.1088/0004-637X/772/2/119
30. A. Moiseev, A. Perepelitsyn, and D. Oparin, *Experimental Astronomy* **50** (2-3), 199 (2020). DOI:10.1007/s10686-020-09672-x
31. A. V. Moiseev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 74 (2002). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0211104
32. A. V. Moiseev, *Astrophysical Bulletin* **76** (3), 316 (2021). DOI:10.1134/S1990341321030081
33. A. V. Moiseev and O. V. Egorov, *Astrophysical Bulletin* **63** (2), 181 (2008). DOI:10.1134/S1990341308020089
34. A. V. Moiseev, J. R. Valdés, and V. H. Chavushyan, *Astrophys. J.* **421**, 433 (2004). DOI:10.1051/0004-6361:20040045
35. A. Naim, O. Lahav, R. J. Buta, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **274** (4), 1107 (1995). DOI:10.1093/mnras/274.4.1107
36. E. Naluminsa, E. C. Elson, and T. H. Jarrett, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **502** (4), 5711 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab067
37. K. G. Noeske, B. J. Weiner, S. M. Faber, et al., *Astrophys. J.* **660** (1), L43 (2007). DOI:10.1086/517926
38. T. A. Oosterloo, R. Morganti, E. M. Sadler, et al., *Astrophys. J.* **465** (3), 787 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20066384
39. Y.-j. Peng and A. Renzini, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **491** (1), L51 (2020). DOI:10.1093/mnras/slz163
40. M. Pettini and B. E. J. Pagel, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **348** (3), L59 (2004). DOI:10.1111/j.1365-2966.2004.07591.x
41. A. Ristea, L. Cortese, A. Fraser-McKelvie, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **517** (2), 2677 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac2839
42. R. Sancisi, F. Fraternali, T. Oosterloo, and T. van der Hulst, *Astron. and Astrophys.* **15** (3), 189 (2008). DOI:10.1007/s00159-008-0010-0
43. T. M. Schmidt, F. Bigiel, R. S. Klessen, and W. J. G. de Blok, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **457** (3), 2642 (2016). DOI:10.1093/mnras/stw011

44. P. Serra, L. Oser, D. Krajnović, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **444** (4), 3388 (2014). DOI:10.1093/mnras/stt2496
45. N. Shatsky, A. Belinski, A. Dodin, et al., in *Proc. All-Russian Conf. on Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Nizhny Arkhyz, Russia, 2020*, Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev (IP Reshenilenko P.A., Pyatigorsk, 2020), pp. 127–132 (2020). DOI:10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_127
46. O. K. Sil'chenko, A. V. Moiseev, and O. V. Egorov, *Astrophys. J. Suppl.* **244** (1), article id. 6 (2019). DOI:10.3847/1538-4365/ab3415
47. O. K. Sil'chenko, A. V. Zasov, A. N. Burenkov, and J. Boulesteix, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **121**, 1 (1997). DOI:10.1051/aas:1997108
48. L. J. Tacconi, R. Genzel, and A. Sternberg, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **58**, 157 (2020). DOI:10.1146/annurev-astro-082812-141034
49. P. Vauterin and H. Dejonghe, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **286** (4), 812 (1997). DOI:10.1093/mnras/286.4.812
50. H. Zou, T. Zhang, Z. Zhou, et al., *Astron. J.* **153** (6), article id. 276 (2017). DOI:10.3847/1538-3881/aa72d9

The Nature of S0 Galaxies: an Unusual Case of the Isolated Lenticular Galaxy NGC 6798—a Gas Reservoir without Accretion

O. K. Sil'chenko¹, A. V. Moiseev^{2,1}, D. V. Oparin², A. A. Smirnova², E. A. Maleeva¹, and A. V. Silchenko¹

¹Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

²Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

We investigated the velocity field of the ionized gas and a star-formation ring in the lenticular galaxy NGC 6798 with a global counter-rotating gas disk. The data of 3D spectroscopy from the scanning Fabry—Perot interferometer of the 6-m BTA telescope of the SAO RAS and the data of narrow-band photometry in the emission lines H α and [N II] λ 6583 from the MaNGaL mapper of the 2.5-m KGO telescope of the SAI MSU were obtained and analyzed. We come to a conclusion that the case of NGC 6798 is consistent with one of the scenarios proposed earlier to explain the origin of lenticular galaxies—the outer cold gas accreted by the galaxy has too high orbital angular momentum and because of this cannot get into the central disk of the galaxy, where, being compressed by gravitation inside the stellar disk, it could begin to form stars. The weak current star formation that we did detect in NGC 6798 obviously began much later than the event of the formation of a large gas disk. The bar in the center of NGC 6798, and possibly the associated wave of radial gas condensation that we are now detecting in the ring complex of H II regions, is a consequence of a particular event in the life of the galaxy that took place no more than 1.5–2 Gyr years ago.

Keywords: galaxies: early-type—galaxies: evolution—galaxies: star formation