

УДК 524.7-8

ХИМИЧЕСКИ ВЫДЕЛЕННОЕ ЯДРО И СТРУКТУРА S0- ГАЛАКТИКИ NGC 80

© 2003 г. О. К. Сильченко¹, С. Е. Копосов², В. В. Власюк², О. И. Спиридонова²

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория, Н. Архыз, Россия

Поступила в редакцию 03.04.2002 г.; принята в печать 23.05.2002 г.

В гигантской линзовидной галактике NGC 80 — ярчайшей в богатой группе галактик — обнаружена эволюционно выделенная центральная область: средний возраст звезд в ядре и в околоядерном кольце радиусом $5''$ – $7''$ — всего 7 млрд. лет, тогда как в балдже звездное население старше 10 млрд. лет. Кроме того, ядро NGC 80 является химически выделенным: оно в 2–2.5 раза богаче металлами, чем его непосредственное окружение, и отличается повышенным отношением содержания магния и железа $[Mg/Fe] \approx +0.3$. Глобальный звездный диск NGC 80 оказался двухъярусным: внешняя часть имеет экспоненциальный масштаб 11 кпк и нормальную поверхностную яркость, внутренний диск, тоже экспоненциальный и осесимметричный, компактнее и обладает повышенной яркостью. Хотя очевидно, что двухъярусная структура диска и химически выделенное ядро NGC 80 имеют общее происхождение и появились в результате катастрофической радиальной перестройки протогалактического газового диска. Причина этой перестройки остается неясной, так как в галактике отсутствуют какие-либо признаки возмущенной морфологии или триаксильности.

1. ВВЕДЕНИЕ

Околоядерные кольца звездообразования в галактиках — зрелищный феномен, который особенно эффектно выглядит на картинках с высоким пространственным разрешением, полученных, например, на Хаббловском космическом телескопе (см. NGC 4736 — в [1], NGC 7742 — в [2] и многие другие галактики). Природа этого феномена считается сейчас вполне установленной, в основном, усилиями Бута [3, 4]: поскольку околоядерные кольца встречаются чаще всего в галактиках с барами, легко предположить, что газ, стекающий к центру из внешних областей диска вдоль бара, накапливается в области внутреннего Линдбладовского резонанса, уплотняется, сжимается, и это приводит к вспышке звездообразования. Однако кольца встречаются и в галактиках без баров, хотя и значительно реже; для объяснения таких случаев предлагались гипотезы триаксильного гало (NGC 7217 [5]) или уже исчезнувших к моменту наблюдений транзитных баров [6, 7]. Но все-таки, может ли околоядерное кольцо возникнуть в абсолютно осесимметричной галактике, например, в такой, где изофоты на любом радиусе имеют правильную круглую форму? Мы предложили свой сценарий, не связанный напрямую с действием триаксильного потенциала [8].

В ходе исследований химически выделенных центральных областей близких галактик мы столк-

нулись со сложной структурой обособленных компактных околоядерных звездных дисков: звездное население в самом центре этих дисков часто оказывалось в среднем на 2–3 млрд. лет старше, чем на краю — в 100–400 пк от центра (NGC 1023 [9], NGC 7331 [10]). Кроме того, и то, и другое выглядело примерно на 10–12 млрд. лет моложе, чем звездное население близлежащих областей балджа, и мы сделали вывод, что околоядерные диски сформировались в относительно недавней вспышке звездообразования, которая в ядре была эффективной и короткой (короче 1 млрд. лет), а на периферии околоядерного диска продолжалась несколько миллиардов лет. Поскольку несколько миллиардов лет — это заметная доля от полного возраста галактики, и поскольку химически выделенные ядра, по нашим оценкам, существуют в 25–50% всех дисковых галактик ранних типов, у “прилежного” наблюдателя есть шанс “поймать” какую-нибудь галактику в тот момент, когда вспышка звездообразования в ядре уже закончилась, а на периферии околоядерного диска еще продолжается. В этот момент у галактики и будет наблюдаться околоядерное кольцо звездообразования.

Самый надежный способ отличить такие “реликтовые” кольца от тех, которые квазистационарно располагаются на внутренних Линдбладовских резонансах баров, — это найти их в круглых галак-

Таблица 1. Глобальные параметры NGC 80

Морфологический тип (NED)	SA0-
R_{25}	21 кпк
B_T^0 (RC3)	13.03
M_B	-21.43
$(B - V)_T^0$ (RC3)	0.94
$(U - B)_T^0$ (RC3)	0.64
V_r (NED)	5698 км/с
Расстояние (LEDA)	78 Мпк ($H_0 = 75$ км/с Мпк)
Наклон плоскости (LEDA)	28°
PA_{phot}	?

тиках, видимых плашмя. Одна успешная попытка такого рода у нас уже была — мы нашли кольцо III-областей с радиусом чуть меньше 1 кпк в E0-галактике NGC 759 [11]. Те поиски проводились не вслепую: ранее Уиклинд и др. [12] сообщали о быстровращающемся торе из молекулярного газа общей массой $2.4 \times 10^9 M_\odot$ в этой эллиптической галактике, что само по себе является уникальным явлением. С помощью панорамной фотометрии и спектроскопии, мы провели анализ структуры звездного компонента и убедились, что внутри массивной, протяженной сфероидальной подсистемы погружен компактный звездный околядерный диск, в котором на значительном расстоянии от центра еще продолжается активное звездообразование. Таким образом, в NGC 759 мы застали химически выделенную центральную звездную подсистему в самый момент ее формирования. В настоящей работе будет представлено второе открытие кольца из молодых звезд в круглой галактике раннего типа. Причем на этот раз открытие произошло почти случайно, если не считать того, что галактика значилась у нас в кандидатах на обладание химически выделенным ядром [13]. Речь пойдет о гигантской линзовидной галактике NGC 80.

Основные глобальные параметры галактики приведены в табл. 1. Она является самым ярким членом то ли богатой группы (каталог галактик RC1), то ли бедного скопления (каталог галактик UGC): там в пределах нескольких угловых минут, или полмегапарсека друг от друга можно наблюдать 9 галактик различных морфологических типов с номерами NGC ярче 16^m ($M_B < -18.5$). При этом NGC 80 находится не в геометрической середине “коллектива”, а как бы сбоку. Ни в чем необыкновенном эта линзовидная галактика

не замечена: у нее очень красный интегральный цвет, какой и положено иметь яркой галактике раннего типа (табл. 1, а также [14]), полностью отсутствуют эмиссионные линии в спектре ядра и нейтральный водород в NGC 80 тоже не найден [15]. Изофоты у галактики практически круглые и попытки измерить вращение привели к оценке верхнего предела проекции скорости вращения на луч зрения $v_{\text{los,max}} < 15$ км/с [16], так что галактика, судя по всему, наблюдается плашмя и выглядит осесимметричной. Впрочем, мы, кроме панорамной спектроскопии, сделали и панорамную фотометрию NGC 80, и ниже будут представлены результаты, которые уточнят наши представления об этом интересном объекте.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Центральная часть NGC 80 наблюдалась с Мультизрчковым полевым спектрографом (MPFS) в первичном фокусе 6-м телескопа САО РАН (описание прибора см. в [17]) 17 августа 1996 г. в области линии поглощения MgIb $\lambda 5175$ (спектральный диапазон 4880–5650 Å) с обратной дисперсией 1.6 Å/пикс (спектральное разрешение около 4 Å) при качестве изображений 2.5". Экспозиция объекта составила 1 ч, затем в течение 20 мин. экспонировался участок “пустого” неба, чтобы после нормировки и сглаживания его можно было вычистить из накопления для объекта. Приемником служила отечественная ПЗС-матрица 520 × 580 элементов производства НПО “Электрон”. При наблюдениях на MPFS массив микролинз размером 8 × 12 строил матрицу зрчков, которая подавалась на вход дифракционного спектрографа. Такая конфигурация позволяет одновременно регистрировать до 96 спектров, каждый из которых соответствует пространственному элементу изображения галактики, в данном случае размер элемента был 1.6" × 1.6". Для калибровки шкалы длин волн отдельно экспонировался спектр сравнения гелий-неон-аргоновой лампы, для исправления за виньетирование и разное пропускание микролинз — спектр утреннего неба. Основные этапы обработки данных — вычитание электрического нуля, удаление следов космических частиц, выделение из формата матрицы одномерных спектров, линейаризация выделенных спектров, построение двумерных распределений поверхностной яркости и полей скоростей — выполнялись с помощью комплекса программ, разработанного в Специальной астрофизической обсерватории РАН [18].

Наблюдения с MPFS в спектральном диапазоне 4880–5650 Å использовались, во-первых, для исследования радиальных зависимостей эквивалентных ширин линий поглощения, и во-вторых, для

Таблица 2. Фотометрические наблюдения NGC 80

Дата	Телескоп	Фильтр	Время экспозиции, мин	Изображения, сек. дуги	Масштаб, сек. дуги/пикс.
29.11.97	1.2 м, ОНР	<i>B</i>	10	3.1	0.69
29.11.97	1.2 м, ОНР	<i>V</i>	5	2.8	0.69
29.11.97	1.2 м, ОНР	<i>R</i>	5	2.5	0.69
18.07.01	1 м, CAO	<i>V</i>	30	1.9 × 2.3	0.27 × 0.37
18.07.01	1 м, CAO	<i>R</i>	35	1.8 × 2.2	0.27 × 0.37
16.08.01	1 м, CAO	<i>B</i>	20	3.2	0.27 × 0.37
16.08.01	1 м, CAO	<i>V</i>	10	2.9	0.27 × 0.37
16.08.01	1 м, CAO	<i>R</i>	10	2.6	0.27 × 0.37
16.08.01	1 м, CAO	<i>I</i>	15	2.8	0.27 × 0.37
17.08.01	1 м, CAO	<i>B</i>	20	2.2	0.27 × 0.37
17.08.01	1 м, CAO	<i>V</i>	10	2.0	0.27 × 0.37
17.08.01	1 м, CAO	<i>R</i>	10	1.8	0.27 × 0.37
17.08.01	1 м, CAO	<i>I</i>	10	1.8	0.27 × 0.37

построения двумерного поля лучевых скоростей звезд в центре галактики. Первая цель достигалась суммированием спектров в концентрических кольцах с центром в ядре галактики и шириной и шагом по радиусу 1.6", т.е. равными размеру пространственного элемента. Благодаря этому приему удается поддержать примерно постоянное отношение сигнал/шум вдоль радиуса, что недостижимо, скажем, при наблюдениях с длинной щелью. Затем вычислялись индексы $H\beta$, Mgb , $Fe5270$ и $Fe5335$ в известной Ликской системе [19]. Для вышеназванных сильных линий поглощения существуют детальные модельные расчеты в рамках моделей синтеза старого звездного населения [20, 21]. Для достижения второй цели спектр каждого пространственного элемента после вычитания континуума и перевода в шкалу скоростей подвергался кросс-корреляции со спектрами звезд-гигантов класса $K0-K2$, наблюдавшихся в ту же ночь на той же аппаратуре, что и галактика. Точность шкалы длин волн и нуль-пункт измеряемых скоростей контролировались по линии ночного неба $\lambda 5577 \text{ \AA}$. Мы оцениваем точность индивидуальных измерений лучевых скоростей звезд как 20 км/с и точность определения эквивалентных ширин линий поглощения в азимутально усредненных спектрах как 0.1 \AA . В данной работе будут обсуждены только свойства звездного населения; кинематические свойства NGC 80, как выяснилось после анализа существующего материала, нуждаются в дальнейшем исследовании.

Фотометрические наблюдения NGC 80 были выполнены в июле-августе 2001 г. на 1-м телескопе фирмы Zeiss в CAO РАН. Приемником служила отечественная ПЗС-матрица форматом

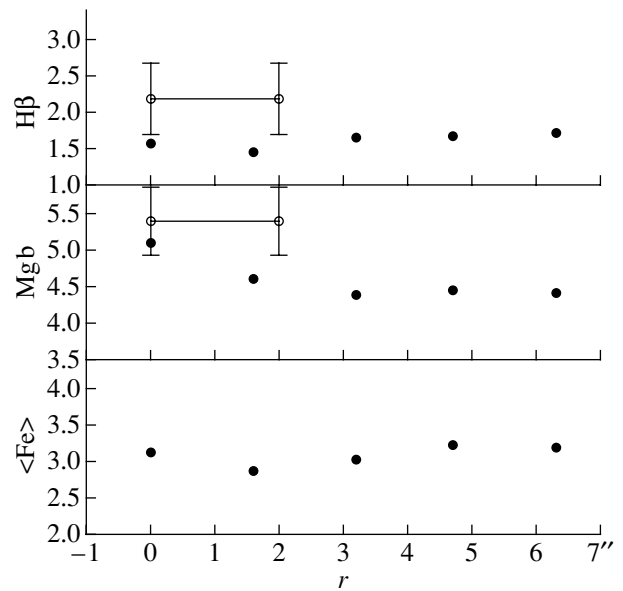


Рис. 1. Радиальные изменения азимутально осредненных измерений индексов линий поглощения $H\beta$, Mgb и $\langle Fe \rangle \equiv (Fe5270 + Fe5335)/2$ в NGC 80 согласно нашим данным (темные кружки); для сравнения также нанесены измерения Трагера и др. [24] в диафрагме $2'' \times 4''$ (светлые кружки с барями ошибок).

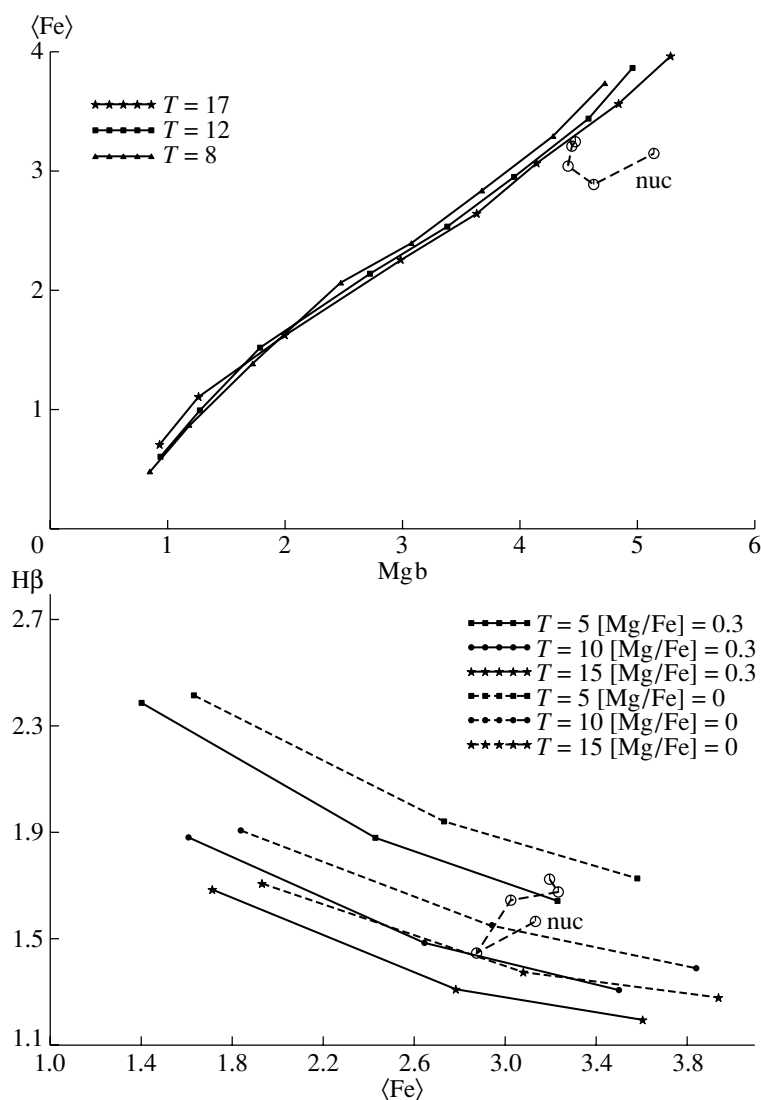


Рис. 2. Диагностические диаграммы “индекс–индекс” для азимутально осредненных измерений в NGC 80 (крупные светлые кружки). MPFS данные для галактики взяты с шагом $1.6''$ по радиусу и соединены штриховой линией в порядке возрастания R , ядро обозначено ‘nuc’. Мелкие значки, соединенные сплошными линиями (на нижней диаграмме — сплошными для $[Mg/Fe] = +0.3$ и штриховыми для $[Mg/Fe] = 0$), — модели звездных населений одного возраста из [20] (вверху) и [21] (внизу). Указан возраст моделей T в млрд. лет. Металличности реперов обозначенных моделей, соответствующих последовательности соединенных линией мелких значков, в направлении справа налево $+0.50, +0.25, 0.00, -0.22, -0.50, -1.00, -1.50, -2.00$ для моделей [20] и $+0.4, 0.0, -0.7$ для моделей [21].

520×580 элементов НПО “Электрон” с прямоугольным пикселем 18×24 мкм. После приведения к квадратному элементу мы получали картинку размером 397×580 пикс. с масштабом $0.37''$ на пиксель. Калибровка звездных величин в стандартную систему Джонсона–Казинса осуществлялась сравнением с данными апертурной фотометрии Пуллена [22]; кроме этого в одну из ночей (17 августа 2001 г.) также наблюдались фотометрические стандарты Ландольта [23]. Детали наблюдательного журнала приведены в табл. 2. Кроме собственных данных, мы использовали FITS-данные, взятые из архива внегалактических данных HYPER-

SAT. Эти фотометрические данные были получены в Обсерватории Верхнего Прованса на 1.2-м телескопе при весьма скромном качестве изображений около $3''$ и достаточно грубом масштабе $0.7''/\text{пикс.}$, зато они более глубокие, чем наши.

3. ХИМИЧЕСКИ ВЫДЕЛЕННОЕ ЯДРО И “МОЛОДОЕ” КОЛЬЦО В ЦЕНТРЕ NGC 80

Изменение Ликских индексов, измеренных в интегральных спектрах колец, с расстоянием от центра в интервале $0''-7''$, показано на рис. 1. Мы видим, что, например, индекс железа $\langle Fe \rangle$

практически не меняется по радиусу и его колебания в пределах 2.9–3.2 Å подтверждают точность индивидуальных оценок порядка 0.1 Å. Однако индекс магния демонстрирует заметный скачок на 0.7 Å практически в пределах неразрешенного ядра галактик. За пределами ядра (а при качестве изображений 2.5'' его влияние перестает сказываться на $R \geq 3''$) радиальный профиль индекса магния выходит на плато, и в ‘балдже’ мы уже не чувствуем его изменений. Таким образом, рис. 1 позволяет нам сделать заключение, что ядро NGC 80 является химически выделенным по отношению к балджу. Если опираться на модели старых звездных населений Уорси [20], то скачок индекса магния Mgb на 0.7 Å соответствует изменению средней металличности звезд примерно в 2 раза.

Однако, как известно, изменения лишь одного индекса являются вырожденными по отношению к эффектам возраста и металличности звездного населения: уменьшение того или другого равным образом приводит к уменьшению эквивалентных ширин линий поглощения металлов и к увеличению эквивалентных ширин линий поглощения водорода (см., например, [25]). Поэтому, чтобы снять вырождение и определить одновременно обе характеристики, нужно сравнивать наблюдательные данные с моделями интегральных спектров звездных населений на диаграммах “индекс–индекс”. Тогда, например, данная выше оценка изменения металличности, соответствующая разнице $\Delta Mgb = 0.7 \text{ \AA}$, будет справедлива только в том случае, если средние возраста звездных населений в ядре и в ‘балдже’ окажутся одинаковыми.

Сначала оценим отношение обилий магния и железа — это необходимо, чтобы правильно выбрать систему моделей для оценки возраста. На рис. 2а приведена диаграмма ‘⟨Fe⟩, Mgb’, на которой мы сравниваем наши наблюдательные данные с моделями Уорси [20] для солнечного отношения содержаний магния и железа $[Mg/Fe] = 0$. Модельные последовательности равных возрастов, вдоль которых от -2 до $+0.5$ варьируется металличность $[Fe/H]$, располагаются на диаграмме узким пучком, и мы сразу можем заметить, что ядро NGC 80 значительно отклоняется вправо от модельной полосы, вмещающей различные звездные населения с $[Mg/Fe] = 0$. Таким же образом ведет себя подавляющее большинство эллиптических галактик [26]; это означает переобогащение магнием (и другими элементами α -процесса) по отношению к железу и объясняется на уровне современных представлений о химической эволюции галактик краткостью основной эпохи звездообразования в галактике — короче 1 млрд. лет. Для ядра NGC 80, калибруя его смещение на рис. 2а относительно

модельных последовательностей $[Mg/Fe] = 0$ с помощью расчетов Тантало и др. [21], мы получаем $[Mg/Fe] \approx +0.3$. С удалением от центра отношение Mg/Fe падает, и в ‘балдже’, на $R \geq 3''$, оно близко к солнечному.

Рис. 2б представляет собой диагностическую диаграмму для определения возраста звездного населения: в координатных осях ‘H β , ⟨Fe⟩’ мы сравниваем наши данные для NGC 80 с моделями Тантало и др. [21]. Хотя Тантало и др. [21] не моделировали индекс Mgb, зато их модели рассчитаны для трех различных отношений $[Mg/Fe]$, тогда как Уорси [20], промоделировавший два десятка различных индексов, ограничился лишь солнечным соотношением элементов. Мы использовали модели Тантало и др. [21] для $[Mg/Fe] = 0$ и $[Mg/Fe] = +0.3$ — первые для ‘балджа’ и вторые для ядра. Из рис. 2б наглядно видно, что если бы мы не учли разницу в отношении Mg/Fe между ядром и ‘балджем’, систематическая ошибка в определении возраста того или другого составила бы 2–3 млрд. лет. При корректном же подходе получается, что средний возраст звезд в ядре — 7 млрд. лет, потом, в непосредственной близости от ядра, он резко увеличивается, а на радиусе 5''–7'' снова падает до 7 млрд. лет. Мы не можем уверенно определить возраст звездного населения в “старой” зоне, на $R \approx 2''$, так как при нашем качестве изображений ядро слишком “загрязняет” эти измерения, однако ясно, что оно старше 10 млрд. лет. Итак, в гигантской линзовидной галактике, полностью лишенной газа и звездообразования, мы нашли звездное ядро и кольцо с радиусом около 6'', где средний возраст населения — 7 млрд. лет — значительно меньше обычного среднего возраста балджей линзовидных галактик, который превышает 10 млрд. лет [27]. Так как ядро в галактике — химически выделенное, очевидно, нами найдены следы вторичной вспышки звездообразования в ядерной и околоядерной области — вспышки, имевшей весьма сложную геометрию.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ NGC 80

Поскольку, как мы уже упоминали в разделе 2, пространственное разрешение французских данных хуже, чем наших от 17 августа 2001 г., но зато они глубже, мы использовали французские BVR-изображения для выводов о крупномасштабном строении галактики, а наши BVR I -изображения от 17 августа — для анализа околоядерной области.

На рис. 3а представлены результаты изофотного анализа французских данных: изменения вдоль радиуса позиционного угла большой оси изофот и их эллиптичности. Эллиптичность везде мала, как

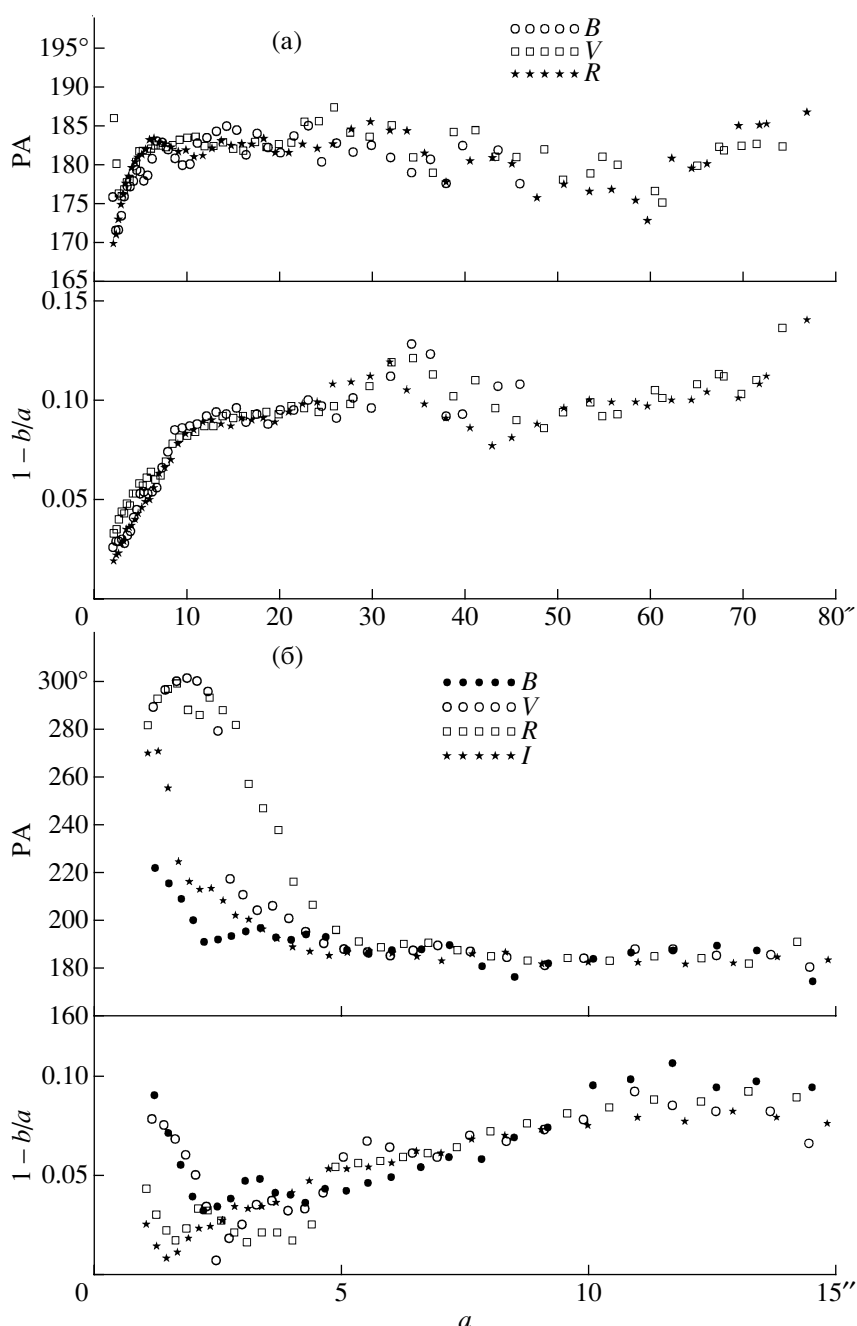


Рис. 3. Радиальные изменения параметров изофот — позиционного угла большой оси и эллиптичности — в NGC 80 в различных фотометрических полосах пропускания согласно данным 1.2-м телескопа Обсерватории Верхнего Прованса (а) и согласно нашим данным, полученным на 1-м телескопе САО РАН 17 августа 2001 г. (б). В первом случае пространственное разрешение — $3''$, во втором — лучше $2''$.

следовало ожидать, по круглому виду NGC 80, однако все-таки она не нулевая; и база данных LEDA (табл. 1) тоже дает $i = 28^\circ$, а не 0° , т.е. галактика видна не строго пласмя. Поэтому асимптотическое значение $(1 - b/a)_0 = 0.09$, очевидно, характеризует наклон круглого диска галактики к лучу зрения под углом порядка 25° . Тогда удивительно, что эллиптичность выходит на это асимптотическое

значение уже к радиусу $\sim 10''$; это может означать, что уже на $R \approx 10''$ в фотометрической структуре NGC 80 — гигантской линзовидной галактики, начинает доминировать диск, потому что осесимметричный балдж, будучи “пухлым” по вертикальной координате, всегда дает в проекции меньшую эллиптичность, чем диск. В интервале радиусов $30'' - 45''$ в поведении эллиптичности появляется

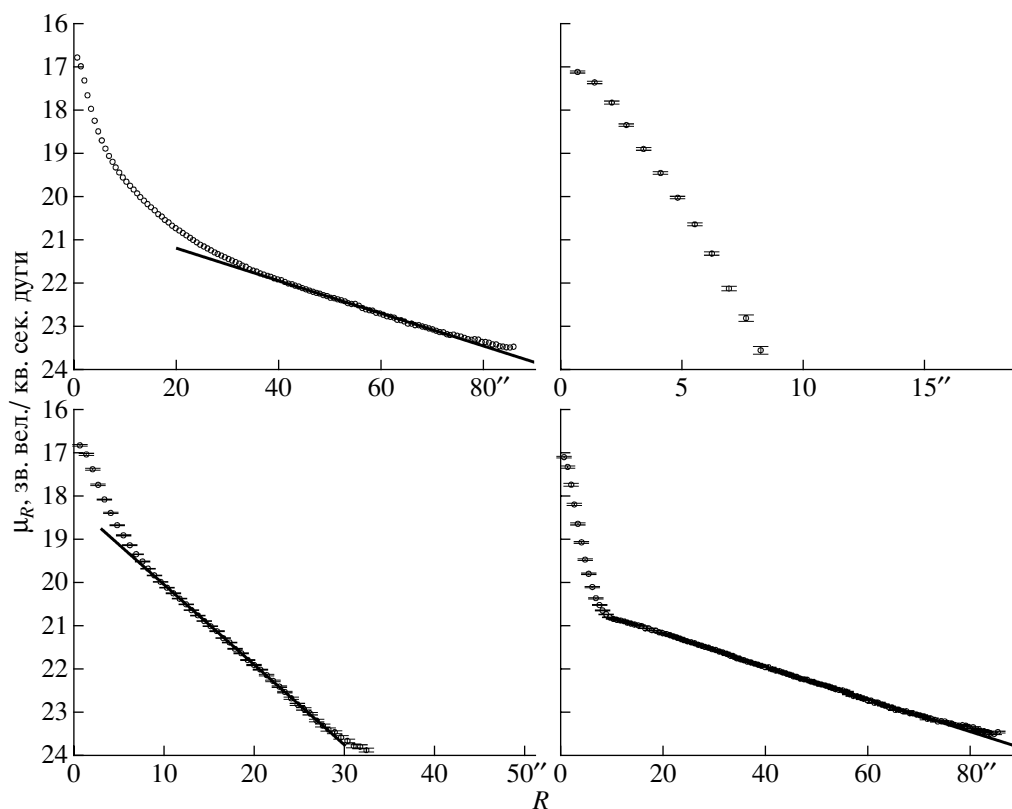


Рис. 4. Пример разложения на компоненты азимутально осредненного профиля поверхностной яркости в фильтре R : вверху слева — исходный профиль (данные Обсерватории Верхнего Прованса), самая внешняя часть которого приближена экспонентой; внизу слева — профиль остаточной яркости после вычитания внешнего диска, в свою очередь его внешняя часть снова приближается экспонентой; внизу справа — профиль остаточной яркости после вычитания из исходного изображения внутреннего диска (видно, что внешний диск подчиняется единому экспоненциальному закону в интервале радиусов $8''$ – $80''$); вверху справа — профиль остаточной яркости после вычитания из исходного изображения двух экспоненциальных дисков.

некая иррегулярность, но дальше от центра все снова успокаивается вблизи $1 - b/a \approx 0.1$. Позиционный угол большой оси изофот тоже ведет себя достаточно монотонно, не отклоняясь от значения $PA_0 \approx 180^\circ$ более, чем на 5° , практически во всем исследованном диапазоне радиусов. В целом зависимости на рис. 3а характерны для галактики, в которой доминирует один плоский круглый звездный диск, без изгибов и без бара.

Рис. 3б представляет то же, что и рис. 3а, но по нашим данным от 17 августа 2001 г. и лишь для самой центральной части NGC 80. Напомним, что анализируемое изображение в фильтре B имеет пространственное разрешение $2.2''$, а в остальных трех фильтрах — лучше $2''$. Небольшое, казалось бы, улучшение пространственного разрешения самым драматическим образом сказалось на результатах изофотного анализа: большая ось изофот повернулась в центре примерно на 90° , а эллиптичность после минимума 0.03 на $R = 2.5''$, к ядру снова возрастает — в голубых лучах (фильтры B и V) даже до 0.08 – 0.09 . Все странности в поведении

изофот сосредоточены вблизи центра на $R \leq 3''$ — это близко к пределу нашего пространственного разрешения и, возможно, измеряется не вполне надежно. Однако мы нашли в литературе подтверждение нашим результатам. Магрелли и др. [28] измеряли фотографическое изображение NGC 80 в фильтре V ; у них тоже изофоты в центре NGC 80 поворачивались на 90° , а эллиптичность изофот вблизи ядра достигала 0.15 . Таким образом, ядро NGC 80, будучи выделенным химически, выделяется также и как отдельная структурная подсистема галактики.

Обратимся теперь к радиальному профилю поверхностной яркости (для примера данные в R -фильтре приведены на рис. 4). В отличие от зависимостей рис. 3а, профиль яркости меняет свой характер вблизи $R \approx 35''$ – $40''$: по-видимому, галактика все же состоит из нескольких глобальных структурных компонент. Сначала, следуя традиции, предположим, что внешний компонент — экспоненциальный диск, а внутренний — вокулеровский балдж. Действительно, профиль яркости в

Таблица 3. Параметры фотометрических компонент NGC 80, приближенных экспонентой

Компонент (диск)	μ_0 , зв.вел./кв.сек.дуги (2D)	r_0''	μ_0 , зв.вел./кв.сек.дуги	r_0''	r_0 , кпк
<i>B</i> -полоса					
Внешний (40''–75'')	21.7	27.3	21.82 ± 0.01	28.7 ± 0.2	10.8
Внутренний (10''–24'')	19.5	5.6	19.66 ± 0.02	5.91 ± 0.04	2.2
<i>V</i> -полоса					
Внешний (40''–77'')	20.8	28.3	20.90 ± 0.01	29.4 ± 0.1	11.1
Внутренний (8''–27'')	18.5	5.7	18.63 ± 0.01	6.01 ± 0.02	2.3
<i>R</i> -полоса					
Внешний (40''–77'')	20.1	27.3	20.28 ± 0.01	28.8 ± 0.1	10.9
Внутренний (8''–27'')	17.9	5.5	18.04 ± 0.01	5.84 ± 0.01	2.2

фильтре *B* в диапазоне радиуса $R \approx 10''$ – $46''$ вписывается в закон $R^{1/4}$ в пределах ошибок наблюдений; это предполагает также, что у глобального экспоненциального диска отсутствует внутренняя часть, $R < 40''$, но глобальные диски с центральной “дырой” нередко встречаются в дисковых галактиках ранних типов [29, 30]. Однако параметры балджа при этом получаются весьма необычные: $r_e = 36''$, или 13.6 кпк, а $B_{e,0} = 24.14$, что более чем на 1^m выпадает (в сторону низких яркостей) из известной статистической зависимости Корменди [31] $B_{e,0} = 19.74 + 3.02 \lg r_e$, при этом экспоненциальный масштаб внешнего диска 11 кпк, сам по себе необычно большой, оказывается все же меньше эффективного радиуса балджа, хотя обычно по статистике бывает наоборот [32]. Ситуация проясняется, если мы зайдем с другой стороны и откажемся от центральной “дыры” во внешнем диске. Тогда после вычитания из наблюдаемого изображения NGC 80 смоделированного внешнего экспоненциального диска оказывается, что профиль остаточной яркости тоже описывается экспонентой в диапазоне радиусов $R \approx 8''$ – $28''$ (рис. 4), но, естественно, с меньшим характерным масштабом (около 2 кпк) и повышенной центральной яркостью; экспоненциальный закон во внутреннем компоненте прослеживается на протяжении 3 характерных масштабов, что делает такую аппроксимацию абсолютно надежной. При вычитании из наблюдаемого изображения галактики смоделированного уже внутреннего диска видно, что внешний диск демонстрирует редкую экспоненциальную регулярность в диапазоне радиусов $R \approx 10''$ – $80''$ (рис. 4); на этом “остаточном” изображении можно уточнить параметры внешнего диска, что мы и проделали.

Параметры аппроксимации изображений NGC 80 двумя экспоненциальными законами во

всех трех фильтрах *BVR* по данным Обсерватории Верхнего Прованса приведены в табл. 3; мы даем результаты, полученные двумя методами: последовательным итеративным разложением азимутально усредненных профилей яркости и применением к двумерным изображениям аппроксимации суммой двух экспоненциальных дисков; видно, что согласие обоих методов хорошее. Центральные поверхностные яркости исправлены за поглощение в нашей Галактике согласно рекомендациям базы данных NED.

Теперь ясно, что основными структурными компонентами NGC 80 являются два плоских экспоненциальных звездных диска с разными характерными масштабами. Внешний диск имеет достаточно обычные характеристики, хотя по масштабам он — один из самых протяженных, зато центральная поверхностная яркость абсолютно типична и находится в середине известного распределения Фримана [33]. Внутренний диск имеет необычно высокую поверхностную яркость, но это именно плоский диск, а не так называемый экспоненциальный балдж, потому что, как мы отмечали выше, эллиптичность изофот выходит на свое асимптотическое значение уже на $R \approx 10''$. После вычитания из реальных изображений NGC 80 двух экспоненциальных дисков остается компактный околоядерный компонент с радиусом около $R \approx 7''$ – $8''$ и слабо выпуклым профилем яркости (рис. 4). Впрочем, качество изображений данных Обсерватории Верхнего Прованса не позволяет анализировать форму профиля этого компактного компонента, так что природа его пока неясна.

Наконец, на рис. 5 представлены азимутально усредненные радиальные зависимости цвета в NGC 80 по нашим данным от августа 2001 г., как наиболее уверенно калибруемым в стандартную систему Джонсона-Казинса; до $R = 10''$ – $20''$

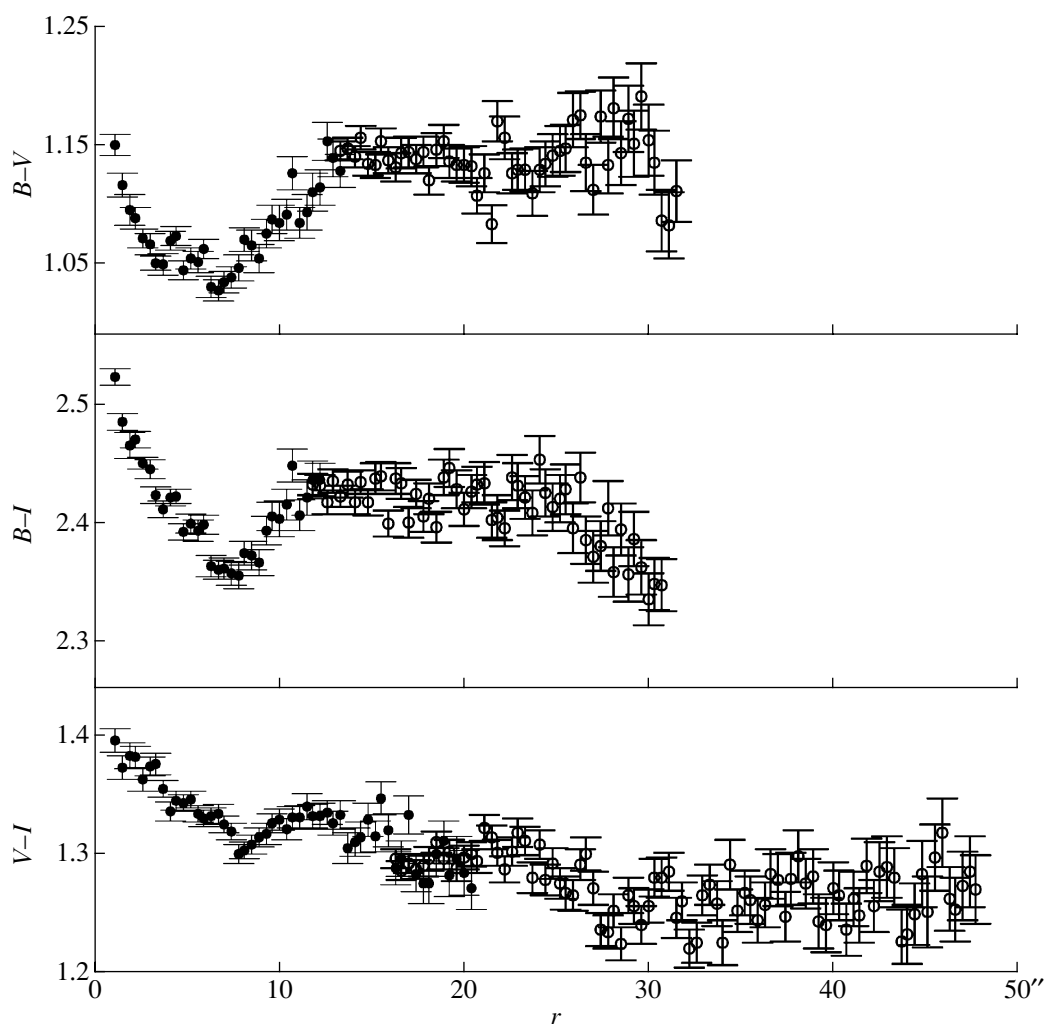


Рис. 5. Азимутально осредненные профили цвета в NGC 80 согласно данным 1-м телескопа САО РАН: темные кружки — данные высокого разрешения от 17 августа 2001 г., светлые кружки — суммарные данные 16+17 августа 2001 г.

мы используем данные от 17 августа, у которых наилучшее пространственное разрешение, а далее от центра — сумму данных 16 и 17 августа. По всем цветам уверенно отмечается “голубое” кольцо на $R = 7''-8''$, и, хотя наши спектральные данные кончаются на $R = 6.3''$, все же можно отождествить голубое кольцо рис. 5 с зоной относительно молодого звездного населения рис. 2. Очевидно, эта зона уже полностью заканчивается к $R \approx 12''$. Разницу в цвете между ядром и кольцом следует интерпретировать как разницу в средней металличности звездного населения, и тогда $\Delta(B - V) = 0.12$ соответствует $\Delta[m/H] = +0.4$, т.е. ядро богаче металлами (калибровка цвета относительно свойств звездного населения взята в данном случае у Ваздекиса и др. [34]). Напомним, что по линии магния получалось $\Delta[m/H] = +0.3$. А вот разница в цвете между кольцом и более внешними областями на $R > 12''$

складывается, вероятно, как из разницы в возрасте, так и из разницы в металличности, но, не имея спектральных данных, разделить эти два эффекта мы не можем. Вне околоядерной области вариации цвета в NGC 80 относительно невелики. Точнее, мы можем уверенно сказать, что в пределах одного структурного компонента, а именно, внутреннего диска, цвет по радиусу не меняется вовсе, а вот между внутренним и внешним дисками может существовать разница в цвете (см. профили $B - I$ и $V - I$ на рис. 5) в том смысле, что внешний диск может быть чуть голубее внутреннего.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В гигантской линзовидной галактике NGC 80, которая является ярчайшим членом богатой группы (или бедного скопления), мы обнаружили химически выделенное ядро: разница средней металличности звездного населения между ядром и

околоядерной областью ($R = 2''-7''$) составляет примерно $+0.3-+0.4$ dex или 2–2.5 раза. Весьма сложной оказалась возрастная структура центральной области NGC 80: в ядре и в кольце радиусом $R = 5''-8''$ средний возраст звездного населения составляет 5–7 млрд. лет, тогда как между ядром и кольцом звезды значительно старше. Очевидно, вторичная вспышка звездообразования, породившая химически выделенное ядро, по геометрии представляла собой кольцо радиусом 2–3 кпк и дополнительный отдельный очаг в центре этого кольца. Если также учесть, что в ядре отношение содержания элементов $[Mg/Fe] \approx +0.3$, а в кольце $[Mg/Fe] \approx 0$, то можно сделать вывод, что в ядре вспышка звездообразования была короче, чем в кольце (хотя и более эффективна), а при равенстве средних возрастов звездных населений это означает, что в кольце вспышка звездообразования началась раньше, чем в ядре. Между тем, чтобы спровоцировать околоядерную вспышку звездообразования кольцевой формы, необходим бар (триаксиальный потенциал), которого сейчас в NGC 80 нет.

Глобальная структура NGC 80 также необычна. Ее диск имеет как бы два яруса: внешний экспоненциальный диск с протяженным характерным масштабом и нормальной центральной поверхностной яркостью и внутренний, компактный и яркий, но тоже экспоненциальный диск. Поскольку галактика видна почти плашмя, мы можем с уверенностью утверждать, что оба диска круглые, плоские и копланарные. Мы уже встречали двухъярусные диски в галактиках с химически выделенными ядрами, и была высказана гипотеза, что эти два феномена могут быть связаны между собой. Если когда-то внешнее приливное воздействие или внутренняя бар-неустойчивость возмутили глобальный газовый диск какой-то спиральной галактики, массивированный сброс газа из внешних частей галактики во внутренние должен был спровоцировать одновременно и центральную вспышку звездообразования и резкую смену характерного радиального масштаба распределения вновь рождающихся звезд. Однако в NGC 615 [35] и NGC 7217 [36], применительно к которым была высказана эта гипотеза, внутренние компактные диски были овальными; это было явным свидетельством прошлого существования в галактиках глобального бара, который мог вызвать крупномасштабное перераспределение газа в диске.

В двух других галактиках (линзовидных, NGC 4429 и NGC 7013) мы [37] нашли околоядерные кольца относительно молодого звездного населения — как в NGC 80, но только с меньшим радиусом, порядка 0.5 кпк. Однако в глобальном профиле яркости этих галактик есть дополнительный компонент — “линза”, также

овальная по геометрии, которая опять-таки обычно считается продуктом распада бара. В NGC 80 мы впервые обнаружили сочетание кольцевой структуры центральной вспышки звездообразования и многоярусной структуры звездного диска с полной видимой осесимметричностью всех компонент галактики. Можно ли, например, в условиях очень плотного окружения при большой вероятности многократного падения спутников на галактику получить чистую моду $m = 0$ возмущения глобального газового диска? Или бар все-таки был, но рассосался без следа? Ответ на это могут дать только специализированные трехмерные динамические модели. Разъяснение этих вопросов может также пролить свет на проблему происхождения линзовидных галактик: вполне возможно, что NGC 80 раньше была гигантской спиральной галактикой позднего типа и лишилась своего газа именно в ходе катастрофических событий, последствия которых мы обнаружили сейчас. По крайней мере, сколь-нибудь значительный сфероидальный компонент (балдж), который считается неизменным атрибутом классической линзовидной галактики, у NGC 80 явно отсутствует.

Мы благодарны сотрудникам Специальной астрофизической обсерватории РАН В.Л. Афанасьеву, А.Н. Буренкову и С.Н. Додонову за помощь в наблюдениях на 6-м телескопе и В.П. Михайлову — на 1-м телескопе САО РАН. Наблюдательные данные, используемые в работе, частично были получены на 6-м телескопе, финансируемом Минпромнауки РФ (регистрационный номер 01-43). Также частично использовались фотометрические данные, полученные на 1.2-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса Филиппом Прюньелем и взятые нами из архива внегалактических данных HYPERCAT. В процессе работы мы опирались на возможности Лион-Медонской базы внегалактических данных (LEDA), обеспеченные командой LEDA в Лионской обсерватории CRAL (Франция), и Базы внегалактических данных НАСА/ИПАК (NED), функционирующей под управлением Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института по контракту с Национальным управлением аэронавтики и космических исследований (США). Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (код проекта 01-02-16767) и грантом Федеральной целевой научно-технической программы “Астрономия. Фундаментальные космические исследования” (раздел “Астрономия”) 1.2.4.1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Maoz, A. V. Filippenko, L. C. Ho, *et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **107**, 215 (1996).

2. P. T. de Zeeuw, M. Bureau, E. Emsellem, *et al.*, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **329**, 513 (2002).
3. R. Buta, *Publ. Astron. Soc. Pacific*. **105**, 654 (1993).
4. R. Buta and D. A. Crocker, *Astron. J.* **105**, 1344 (1993).
5. R. Buta, W. van Driel, J. Braine, *et al.*, *Astrophys. J.* **450**, 593 (1995).
6. R. Buta, *Astrophys. J.* **370**, 130 (1991).
7. L. Athanassoula, *Barred Galaxies* (Eds. R. Buta, D. A. Crocker, and B. G. Elmegreen, ASP Series, 1996), V. 91, p. 309.
8. O. K. Sil'chenko, *Astron. and Astrophys. Trans.* **20**, 123 (2001).
9. O. K. Sil'chenko, *Astron. J.* **117**, 2725 (1999a).
10. O. K. Sil'chenko, *Astron. J.* **118**, 186 (1999b).
11. V. V. Vlasyuk and O. K. Sil'chenko, *Astron. and Astrophys.* **354**, 28 (2000).
12. T. Wiklund, F. Combes, C. Henkel, and F. Wyrowski, *Astron. and Astrophys.* **323**, 727 (1997).
13. O. K. Сильченко, *Астрон. журн.* **71**, 706 (1994).
14. R. Buta and K. L. Williams, *Astron. J.* **109**, 543 (1995).
15. P. Chamaraux, C. Balkowski, and P. Fontanelli, *Astron. and Astrophys.* **165**, 15 (1986).
16. P. Prugniel and F. Simien, *Astron. and Astrophys.* **282**, L1 (1994).
17. В. Л. Афанасьев, В. В. Власюк, С. Н. Додонов, О. К. Сильченко, Препринт САО АН СССР № 54 (1990).
18. В. В. Власюк, *Астрофиз. исслед. (Изв. САО РАН)*. **36**, 107 (1993).
19. G. Worthey, S. M. Faber, J. J. Gonzalez, and D. Burstein, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **94**, 687 (1994).
20. G. Worthey, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **95**, 107 (1994).
21. R. Tantaló, C. Chiosi, and A. Bressan, *Astron. and Astrophys.* **333**, 419 (1998).
22. P. Poulain, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **72**, 215 (1988).
23. A. U. Landolt, *Astron. J.* **104**, 340 (1992).
24. S. C. Trager, G. Worthey, S. M. Faber, *et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **116**, 1 (1998).
25. О. К. Сильченко, *Письма в «Астрон. журн.»* **19**, 693 (1993).
26. G. Worthey, S. M. Faber, and J. J. Gonzalez, *Astrophys. J.* **398**, 69 (1992).
27. O. K. Sil'chenko, *Galaxies: the Third Dimension* (Eds M. Rosado, L. Binette, and L. Arias, 2002). In press.
28. G. Magrelli, D. Bettoni, and G. Galetta, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **256**, 500 (1992).
29. J. Kormendy, *Astrophys. J.* **217**, 406 (1977b).
30. W. E. Baggett, S. M. Baggett, and K. S. J. Anderson, *Astron. J.* **116**, 1626 (1998).
31. J. Kormendy, *Astrophys. J.* **218**, 333 (1977a).
32. R. S. de Jong, *Astron. and Astrophys.* **313**, 45 (1996).
33. K. C. Freeman, *Astrophys. J.* **160**, 811 (1970).
34. A. Vazdekis, E. Casuso, R. F. Peletier, and J. E. Beckman, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **106**, 307 (1996).
35. O. K. Sil'chenko, V. V. Vlasyuk, and F. Alvarado, *Astron. J.* **121**, 2499 (2001).
36. O. K. Sil'chenko and V. L. Afanasiev, *Astron. and Astrophys.* **364**, 479 (2000).
37. O. K. Sil'chenko and V. L. Afanasiev, *Astron. and Astrophys.* **385**, 1 (2002).

THE CHEMICALLY DISTINCT NUCLEUS AND STRUCTURE OF THE SO GALAXY NGC 80

O. K. Sil'chenko, S. E. Kopusov, V. V. Vlasyuk, and O. I. Spiridonova

The giant lenticular galaxy NGC 80, which is the brightest member of a rich group, possesses a central evolutionarily-distinct region: the stars in the nucleus and in a circumnuclear ring of radius 5''–7'' have a mean age of only 7 Gyr, whereas the stellar population of the bulge is older than 10 Gyr. The nucleus of NGC 80 is also chemically distinct: it is a factor of 2–2.5 richer in metals than its immediate neighborhood, and is characterized by a high magnesium-to-iron abundance ratio $[Mg/Fe] \approx +0.3$. The global stellar disk of NGC 80 has a two-tiered structure: its outer part has an exponential scale length of 11 kpc and normal surface density, while the inner disk, which is also exponential and axisymmetric, is more compact and brighter. Although the two-tiered structure and the chemically distinct nucleus obviously have a common origin and owe their existence to some catastrophic restructuring of the protogalactic gaseous disk, the origin of this remains unclear, since the galaxy lacks any manifestations of perturbed morphology or triaxiality.