

УДК 524.7

UBVRI-ПЗС-ФОТОМЕТРИЯ БЛИЗКОЙ ГАЛАКТИКИ НИЗКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЯРКОСТИ NGC 5585

© 2010 г. В. В. Бруевич¹, А. С. Гусев¹, С. А. Гуслякова^{1,2}

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 12.11.2009 г.; принята в печать 26.11.2009 г.

На основании данных *UBVRI*-ПЗС-фотометрии исследована структура и состав звездного населения в галактике низкой поверхностной яркости NGC 5585. Наблюдения проведены на 1.5-м телескопе АЗТ-22 Майданакской обсерватории АИ АН РУз (Узбекистан) с качеством изображения 1.2''–1.8''. Проведена двухмерная декомпозиция излучения галактики на балдж и диск. Обе компоненты имеют пониженную поверхностную яркость. Параметр Серсика для балджа $n = 1.2–1.6$. В полосах *R*, *I* эффективный радиус балджа равен шкале падения яркости диска и составляет 30''–40'' (0.8–1.1 кпк). Спиральные ветви образуют переемычку. При этом центр переемычки и центр кольца галактики не совпадают с центром NGC 5585. В 3.2'' (100 пк) от центра галактики наблюдается мощная область звездообразования, затмевающая своим излучением ядро в полосах *U*, *B*. По положению на двухцветных диаграммах различных компонент галактики можно сделать вывод о том, что NGC 5585 является галактикой со сложной историей звездообразования, не одинаковой на различных расстояниях от центра.

1. ВВЕДЕНИЕ

Среди ближайших к нам галактик NGC 5585 является одним из интереснейших объектов, достойном отдельного изучения. Это — близкая небольшая (см. далее табл. 1) галактика низкой поверхностной яркости, более 80% массы которой составляет темная материя [1]. Классифицируемая как галактика типа SABc (LEDA) или SAB(s)d (NED), она имеет весьма нетривиальную морфологию (рис. 1). По результатам апертурной *BVRI*-фотометрии авторы [2] отождествили и определили параметры небольшого бара и фрагменты одной (единственной) спиральной ветви в галактике, однако по наблюдениям в ИК-диапазоне бар в NGC 5585 обнаружить не удалось [3].

Фотометрические характеристики NGC 5585 типичны для галактик экстремально позднего типа (Sd–Sm–Im) [2]. В ядре галактики наблюдается активное звездообразование (согласно спектрофотометрическим данным [4]).

В NGC 5585 обнаружены многочисленные области HII [5–7], найдено 5 остатков сверхновых [8]. Однако в галактике при этом не обнаружен водород в молекулярном состоянии ($M(\text{H}_2) < 1.3 \times 10^7 M_\odot$ по наблюдениям в линии CO) [9]. Тем не менее общая масса газа ($1.4 \times 10^9 M_\odot$) превышает звездную массу ($1 \times 10^9 M_\odot$) NGC 5585 [10].

Вопрос о расстоянии до NGC 5585 является темой отдельной дискуссии. В литературе принятое расстояние до галактики варьируется от 5.7 Мпк [11] до 10.5 Мпк [4]. В настоящей работе мы используем значение 5.7 Мпк, основанное на результатах фотометрии ярчайших звезд галактики [11].

Особенности морфологии, кинематики и истории звездообразования в NGC 5585 могут быть связаны с взаимодействием и слиянием галактик. Хотя NGC 5585 не является взаимодействующей галактикой и не имеет сравнимых по массе соседей [2], она входит в группу M 101 [12] и имеет несколько карликовых спутников [2].

По своим свойствам NGC 5585 является карликовой галактикой низкой поверхностной яркости [9, 13]. Светимость галактики составляет $L_B = 1.5 \times 10^9 L_\odot$ при отношении $M_*/L_B = 1.0 (M/L)_\odot$ [10]. При этом общая масса галактики составляет на $r = 6.5$ кпк (радиус Хольмберга) $1.1 \times 10^{10} M_\odot$ и $M/L_B = 10.1 (M/L)_\odot$ [10]. Таким образом, темная материя доминирует в галактике везде, исключая околоядерную область [1]. Отметим однако, что в отличие от большинства карликовых галактик низкой поверхностной яркости, в NGC 5585 идет в настоящее время активный процесс звездообразования в ядре и диске.

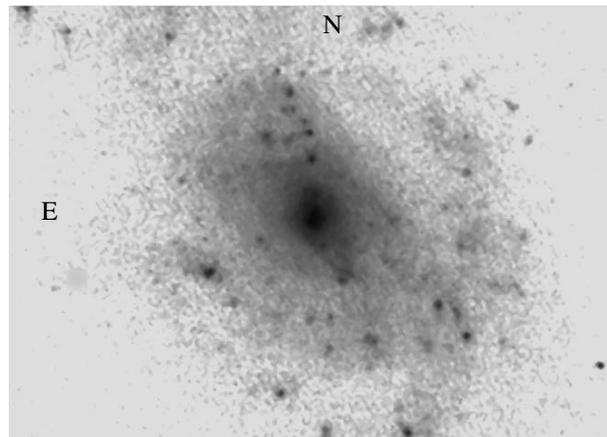


Рис. 1. Изображение NGC 5585 в фильтре B . Размер — $4.1' \times 3.1'$. Север — сверху, восток — слева.

Целью настоящей работы является изучение фотометрических и морфологических свойств NGC 5585, исследование состава звездного населения и областей современного звездообразования в галактике. Ранее многоцветная поверхностная фотометрия NGC 5585 не проводилась. В оптическом диапазоне результаты фотометрических

исследований использовались лишь с целью изучения областей звездообразования в галактике [5, 6]. Авторы [2] проводили исследование NGC 5585 на основе апертурной $BVRI$ -фотометрии.

Основные параметры галактики (по базе данных LEDA) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики галактики

Параметр	Значение	Источник
Тип	SABc	LEDA
m_B , зв. вел.	11.39	LEDA
$M_B^{0,i}$, зв. вел.	-18.48	LEDA
V_{vir} , км/с	573	LEDA
R , Мпк	5.7	[11]
D_{25} , угл. мин	4.27	LEDA
D_{25} , кпк	7.1	LEDA, [11]
i , град	53.2	LEDA
b/a	0.62	LEDA
Р.А., град	34.2	LEDA
V_{max}^{rot} , км/с	79.1	LEDA
$A(B)_0$, зв. вел.	0.07	LEDA
$A(B)_i$, зв. вел.	0.38	LEDA
$(U-B)_0^i$	-0.26	LEDA
$(B-V)_0^i$	0.40	LEDA
$(V-R)_0^i$	0.40	[2]
$(V-I)_0^i$	1.04	[2]

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения были проведены одним из авторов в сентябре 2005 г. на 1.5-м телескопе АЗТ-22 (фокусное расстояние 12 м) Майданакской обсерватории ИА АН РУз (Узбекистан) с использованием ПЗС-камеры SITE-2000. В сочетании с широкополосными фильтрами U, B, V, R, I ПЗС-матрица реализует фотометрическую систему, близкую к стандартной $UBVRI$ -системе Джонсона-Касинса. Охлаждение камеры осуществлялось жидким азотом. Размер матрицы — 2000×800 пикселей, что обеспечивает поле зрения $8.9' \times 3.6'$ при масштабе изображения $0.267''/\text{пикс}$. Журнал наблюдений приведен в табл. 2.

Дальнейшая обработка проводилась в ГАИШ МГУ по стандартной процедуре с использованием системы обработки изображений ESO-MIDAS. Основные этапы обработки включали в себя следующее: определение и исправление данных за смещение усилителя матрицы и “плоское поле”; устранение следов космических лучей; определение и вычитание фона неба для каждого изображения; совмещение изображений галактик с использованием опорных звезд; сложение изображений галактик, сделанных в одинаковых фильтрах; перевод отсчетов в логарифмическую шкалу (звездные величины на квадратную секунду дуги) по результатам фотометрической калибровки; исправление за отличие инструментальной фотометрической системы от стандартной системы Джонсона-Касинса и “воздушную массу” (учет полученных

Таблица 2. Журнал наблюдений

Дата	Фильтр	Экспозиция, с	Воздушная масса z	Качество изображения, сек. дуги
8/9.09.2005	U	3×360	1.54–1.60	1.62–1.81
	B	4×180	1.65–1.71	1.52–1.57
	R	2×120	1.48–1.49	1.26–1.32
	I	2×90	1.50–1.51	1.15–1.29
9/10.09.2005	U	3×300	1.68–1.73	1.77–1.93
	B	4×180	1.59–1.64	1.62–1.76
	V	2×180	1.53–1.54	1.51–1.61
	R	2×120	1.56–1.57	1.54–1.59
	I	$1 \times 20, 4 \times 90$	1.76–1.82	1.16–1.44

цветовых уравнений и данных апертурной фотометрии галактики); вычитание изображений галактики, сделанных в разных фильтрах — получение карт показателей цвета.

Для построения цветовых уравнений и учета атмосферной экстинкции использовались наблюдения стандартных звезд полей Ландольдта SA113, SA92 [14], полученные в те же ночи в фильтрах U , B , V , R и I в диапазоне значений воздушной массы $M(z) \equiv \sec z = 1.27–1.31$. Полученная инструментальная $ubvri$ -система оказалась близка к стандартной фотометрической $UBVRI$ -системе Джонсона–Касинса с точностью лучше 0.022^m в полосах B , V , R и I и точностью 0.074^m в полосе U .

Дополнительно для галактики было проведено сравнение полученных данных с результатами апертурной фотометрии (по данным электронного каталога LEDA). Точность фотометрической привязки составила: в фильтре B — 0.02^m , в фильтре V — 0.015^m , в фильтре I — 0.01^m . Ошибка “нуль-пункта” для фильтров U и R оценена в 0.11^m .

Все данные (яркости и показатели цвета) были исправлены за галактическое поглощение (по базе данных LEDA; табл. 1) и поглощение, вызванное наклоном галактики. Значение постоянной Хаббла, используемое в данной работе, составляет $H_0 = 75$ км/с Мпк. Масштаб изображений равен 27.6 пк/сек. дуги.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОМЕТРИИ

3.1. Определение позиционного угла и наклона диска галактики

Значения позиционного угла (P.A.) и эллиптичности изофот галактики ($e \equiv 1 - b/a$) определялись

с помощью библиотеки `surfphot` в системе MIDAS. Зависимости величин позиционного угла и эллиптичности от расстояния r до центра NGC 5585 представлены на рис. 2.

Отметим, что NGC 5585 — галактика со слабым диском и иррегулярной спиральной структурой — является “сложным” объектом для определения величин P.A. и e , особенно в полосе U (рис. 2б). Полученные разными авторами интегральные значения P.A. и наклона диска i сильно различаются между собой (см., например, базу LEDA и [13]).

По нашим данным, позиционный угол большой оси галактики плавно растет от 20° на $r = 10''$ до 40° на $r = 80''$, причем в более коротковолновых полосах P.A. достигает значений $40^\circ–45^\circ$ на меньшем расстоянии r от центра (рис. 2а). Это можно объяснить наличием заметной сферической относительно старой звездной компоненты в галактике.

Эллиптичность изофот галактики растет от 0.2 в центре до 0.3–0.4 на расстоянии $r = 60''$, причем в более “голубых” полосах значение e больше (рис. 2б). Это объясняется особенностями спирального узора NGC 5585. В отличие от большинства галактик, эллиптичность изофот в центральной области сильно отлична от нуля. Причиной этого является наличие яркой голубой конденсации около ядра галактики. Подробнее структура центральной области NGC 5585 будет рассмотрена ниже.

Полученные нами интегральные значения позиционного угла и эллиптичности изофот составляют P.A. = $42^\circ \pm 2^\circ$ и $e = 0.38 \pm 0.03$ (что соответствует наклону диска $i = 52^\circ \pm 2^\circ$).

На рис. 3 приведены азимутально-усредненные фотометрические профили галактики в фильтрах

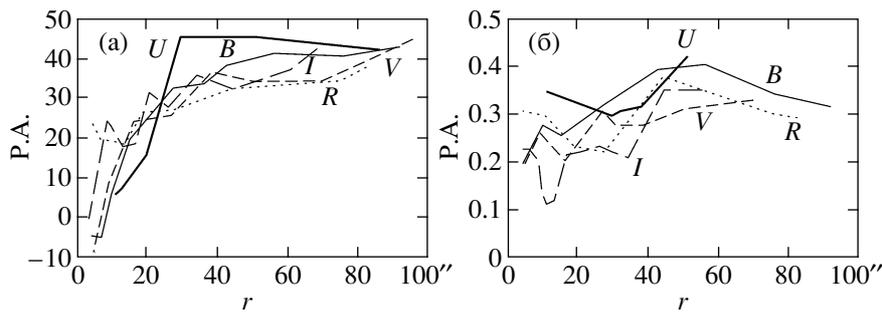


Рис. 2. Зависимость позиционного угла (а) и эллиптичности изофот (б) галактики от расстояния r до центра галактик в фильтрах U (жирная линия), B (тонкая сплошная линия), V (штриховая линия с коротким штрихом), R (пунктирная линия), I (штриховая линия с длинным штрихом).

U , B , V , R и I , полученные нами в эллиптических апертурах с шагом $2''$. Форма полученных профилей достаточно типична для спиральных галактик, однако поверхностная яркость NGC 5585 примерно на 2^m слабее, чем у нормальных спиральных галактик. Отметим также экстремально голубой центр (в пределах $7''$ – $8''$), характерный для галактик с мощным околоядерным звездообразованием.

3.2. Декомпозиция излучения галактики на балдж и диск

Процедура декомпозиции галактики на экспоненциальный диск и балдж с заранее неизвестным параметром Серсика была проведена с помощью программы GalFit [15]. Программа минимизирует разность исходного изображения и модели, выдавая в качестве результата параметры диска и балджа.

Входными параметрами программы являются радиальная шкала диска, радиус балджа, позиционный угол и отношения осей как для балджа, так и

для диска, интегральные величины диска и балджа, параметр Серсика (данные величины варьируются программой), параметр, характеризующий форму изофот ($x < 0$ – “disky”, $x > 0$ – “boxy”), координаты центров для диска и балджа. Каждый из этих параметров можно по желанию зафиксировать.

Так как значения параметра x очень сильно различались для моделей в разных фильтрах, то было принято решение аппроксимировать изофоты идеальными эллипсами, положив параметр $x = 0$. Также фиксировался размер области, в которой производилась свертка изображения с функцией рассеяния точки (PSF). В табл. 3 приведены результаты обработки изображений галактики с помощью GalFit. Для изображений в некоторых фильтрах пришлось зафиксировать ряд параметров, так как иначе программа выдавала заведомо неправильный результат. Видимо, это связано с большими шумами, как, например, в фильтре I , или малым отношением сигнала к шуму, как в фильтре U . Данные случаи помечены в табл. 3 буквой “ф”. В таблице приняты следующие обозначения: R^d – радиальная шкала падения яркости диска, μ_0^d – центральная поверхностная яркость диска, R^b – радиус балджа ($I = I_0 \exp[-(r/R^b)^{1/n}]$), m_0^b – интегральная видимая звездная величина балджа, n – параметр Серсика, R_{eff}^b – эффективный радиус балджа. “Остаточное” изображение в фильтре B (т.е. полученное после вычитания модельного изображения из исходного) приведено на рис. 4.

В работе [16] приведены данные по одномерной декомпозиции для NGC 5585. По данным [16], шкала диска в фильтре R для NGC 5585 $R^d = 41.7'' \pm 1.5''$, что хорошо согласуется с результатом, полученным нами. Следует заметить, однако, что по мнению авторов программы GalFit, выдаваемые ошибки могут быть несколько занижены. Также в [15] указываются, что для корректной декомпозиции размер обрабатываемой части изображения следует выбирать в 3–5 раз больше,

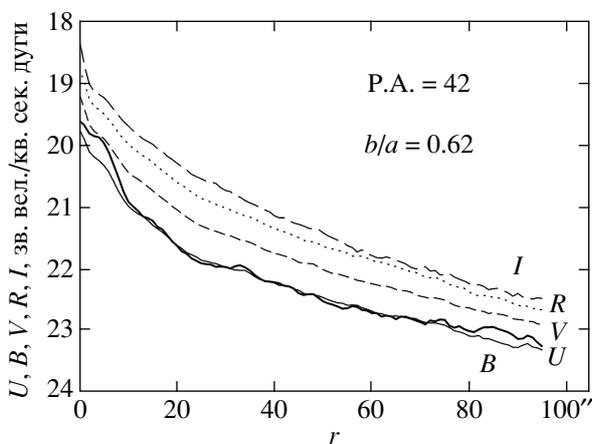


Рис. 3. Азимутально-усредненные фотометрические профили галактики в фильтрах U , B , V , R и I .

Таблица 3. Параметры диска и балджа

Фильтр	R^d , сек. дуги (R^d , кпк)	μ_0^d , зв. вел./кв. сек. дуги	R^b , сек. дуги (R^d , кпк)	m_0^b , зв. вел.	n	R_{eff}^b , сек. дуги (R_{eff}^b , кпк)
<i>U</i>	64.67 ± 0.37 (1.78 ± 0.01)	22.76	20.28 ± 0.12 (0.56 ± 0.00)	13.35 ± 0.01	1.64φ	119.6 ± 0.7 (3.30 ± 0.02)
<i>B</i>	62.03 ± 0.23 (1.71 ± 0.01)	22.26	16.50 ± 0.22 (0.46 ± 0.01)	13.85 ± 0.02	1.60 ± 0.02	89.1 ± 5.2 (2.46 ± 0.14)
<i>V</i>	57.07 ± 0.19 (1.58 ± 0.01)	21.73	15.81 ± 0.18 (0.44 ± 0.01)	13.31 ± 0.01	1.44 ± 0.01	60.9 ± 2.0 (1.68 ± 0.06)
<i>R</i>	40.7 ± 0.08 (1.12 ± 0.00)	20.93	12.29 ± 0.11 (0.34 ± 0.00)	13.32 ± 0.01	1.24 ± 0.01	31.8 ± 0.6 (0.88 ± 0.02)
<i>I</i>	39φ (1.08)	20.83	15.71 ± 0.10 (0.43 ± 0.00)	12.65 ± 0.01	1.2φ	37.6 ± 0.2 (1.04 ± 0.01)

чем видимый размер галактики. Однако в случае галактики NGC 5585 это невозможно, так как ее угловой размер больше поля зрения матрицы.

Полученные параметры диска (абсолютная и относительная шкала падения яркости и центральная поверхностная яркость в различных фотометрических полосах) являются достаточно типичными для карликовых галактик позднего типа [17]. В таких галактиках наблюдается пониженная центральная поверхностная яркость диска, отношение $R^d(B)/R^d(I) = 1.2-1.7$, шкала падения яркости мала в линейном масштабе (кпк), но стандартна или выше среднего — в относительном (R^d/D_{25}) [17].

Параметры балджа NGC 5585 определяются менее уверенно (табл. 3). Это связано как с относительно небольшим вкладом балджа в общую светимость галактики (9%–10%) во всех полосах, так и с наличием околядерной области мощного звездообразования, влияющей на параметры балджа в коротковолновых полосах. Цветовые характеристики балджа, полученные с помощью программы GalFit, являются весьма условными: ниже будет показано, что реальный показатель цвета $U-B$ в области, занимаемой балджем, на самом деле более “красный” (из-за того, что молодые массивные звезды дают основной вклад в светимость в фильтре U). Однако определенные нами размеры балджа ($R_{eff}^b(I) = 1.3$ кпк) и параметр Серсика ($n = 1.2-1.6$) являются стандартными для галактик типа Sc [18]. Отметим, что балдж в NGC 5585, визуально не заметный на изображениях галактики (рис. 1, 4), существует, вносит заметный (относительно других галактик поздних типов) вклад в

общую светимость и является достаточно протяженным (в полосах V, R, I имеем $R_{eff}^b \approx 0.5R_{eff}^d \approx \approx R^d$). При этом средняя поверхностная яркость балджа мала даже по сравнению со слабосветящимся диском галактики.

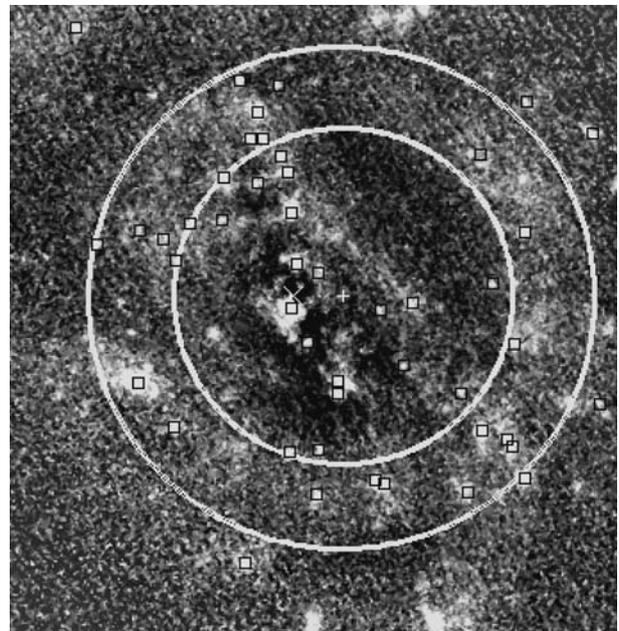


Рис. 4. “Остаточное” изображение галактики в фильтре B . Размер изображения — $3.1' \times 3.1'$. Показаны границы кольца звездообразования в галактике с $r_{in} = 50''$, $r_{out} = 75''$ и центром (прямой крестик) в $11''$ западнее центра галактики (косой крестик). Светлые квадратики — отождествленные области звездообразования в галактике.

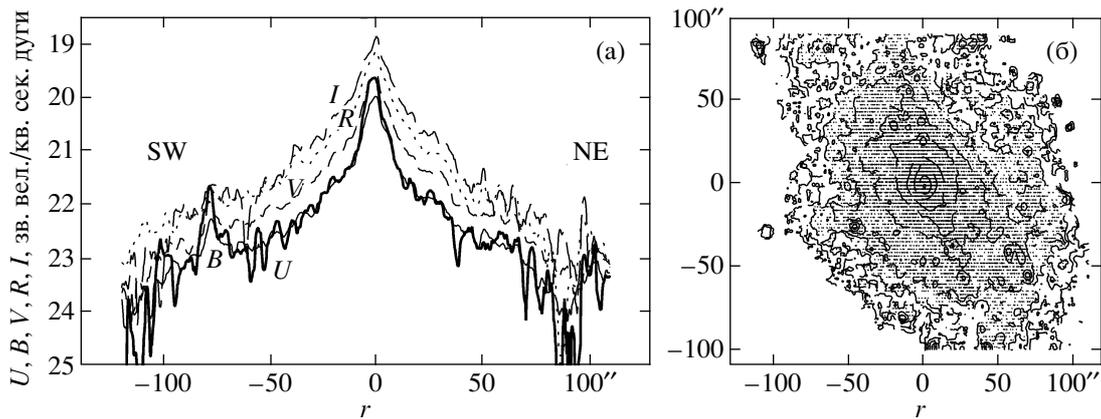


Рис. 5. (а) — Фотометрические профили вдоль большой оси галактики в фильтрах U (жирная линия), B (тонкая сплошная линия), V (штриховая линия с коротким штрихом), R (пунктирная линия), I (штриховая линия с длинным штрихом); отрицательные координаты соответствуют направлению на юго-запад от центра. (б) — Изображение галактики в фильтре B (б); показаны изофоты 20.0, 20.5, 21.0, 21.5, 22.0, 22.5, 23.0, 23.5, 24.0, 24.5 зв. вел./кв. сек. дуги.

3.3. Распределение яркости и цвета, структура галактики

Фотометрические профили вдоль большой оси галактики и карта изофот в полосе B представлены на рис. 5а, 5б, а профили и карты показателей цвета $U-B$ и $B-V$ — на рис. 6а–6в.

Ядро галактики очень голубое, показатели цвета для него составляют $U-B = -0.25 \pm 0.06$, $B-V = 0.48 \pm 0.07$, $V-R = 0.43 \pm 0.05$, $R-I = 0.31 \pm 0.16$. (рис. 6а).

Особенностью данной галактики является наличие рядом с центром очень голубого объекта — гигантской области звездообразования (ОЗО), расположенной в $3.2''$ (100 пк) к югу-юго-востоку от центра, которая в U - и B -диапазонах затмевает своим ярким излучением ядро (рис. 7). Показатели цвета весьма характерны для ОЗО и составляют $U-B = -0.57 \pm 0.06$ в центральной части, $B-V = 0.34 \pm 0.03$, $V-R = 0.32 \pm 0.06$, $R-I = 0.22 \pm 0.18$. Именно этот объект ответственен за ярко выраженную несимметричность на разрезе изображения галактики в коротковолновых (U и B) фильтрах вдоль большой оси (рис. 5а, 6а).

Балдж является наиболее красной областью галактики: $U-B = 0.13 \pm 0.11$, $B-V = 0.58 \pm 0.07$, $V-R = 0.45 \pm 0.06$, $R-I = 0.30 \pm 0.08$ (рис. 5а, 6а, 6в).

Относительно небольшое отношение сигнала к шуму в фильтре U не позволяют более или менее точно измерить показатель цвета $U-B$ для диска. В цвете $B-V$ диск слабо голубеет к периферии, уменьшаясь от 0.59 ± 0.01 до 0.50 ± 0.10 ; $V-R$ меняется от 0.46 ± 0.09 до 0.31 ± 0.12 ; показатель цвета $R-I$ практически постоянен и составляет 0.33 ± 0.15 . Отметим интересную особенность диска галактики: в большинстве галактик показатель

цвета $V-R$ диска вдоль радиуса меняется крайне слабо, а прочие показатели цвета уменьшаются к периферии. В NGC 5585 мы наблюдаем иную картину: градиент уменьшения показателя цвета $V-R$ вдоль радиуса такой же, как и для $B-V$ (рис. 6а).

Остатки спиральных ветвей галактики слишком слабы, чтобы можно было с хорошей точностью их промерить, и проявляют себя визуально лишь совокупностью ярких точек — областей звездообразования, вытянутых в цепочки. Мы насчитали три спиральных рукава в галактике: северный, юго-западный и южный (рис. 4). Средняя поверхностная яркость ветвей вне областей звездообразования оценена нами в $22.4^m \pm 0.2^m$ /кв. сек. дуги в B (рис. 5а, 5б). На космических снимках хорошо заметно огромное кольцо, обрамляющее галактику. К сожалению, большие шумы не позволяют его разглядеть на наших кадрах, хотя на остаточном изображении видно, что достаточно большое количество областей располагается почти по кругу на периферии ($r = 50''-70''$ (1.4–1.9 кпк)) от центра галактики (рис. 4). При этом геометрический центр кольца смещен на $11''$ (300 пк) к западу относительно центра NGC 5585 (рис. 4). Также у NGC 5585 имеется еще несколько очень ярких областей, расположенных к северо-востоку от центра, но на наших изображениях их нет — они не вошли из-за небольшого поля зрения матрицы.

На рис. 4 заметна перемычка с $P.A. = 40^\circ$ и средней яркостью $22.3^m \pm 0.3^m$ /кв. сек. дуги в фильтре B (рис. 5б). Концы перемычки упираются в кольцо галактики, и именно в областях пересечения находятся мощные источники звездообразования (рис. 4). Данную перемычку можно было бы рассматривать как классический галактический бар, если бы она проходила через центр галактики.

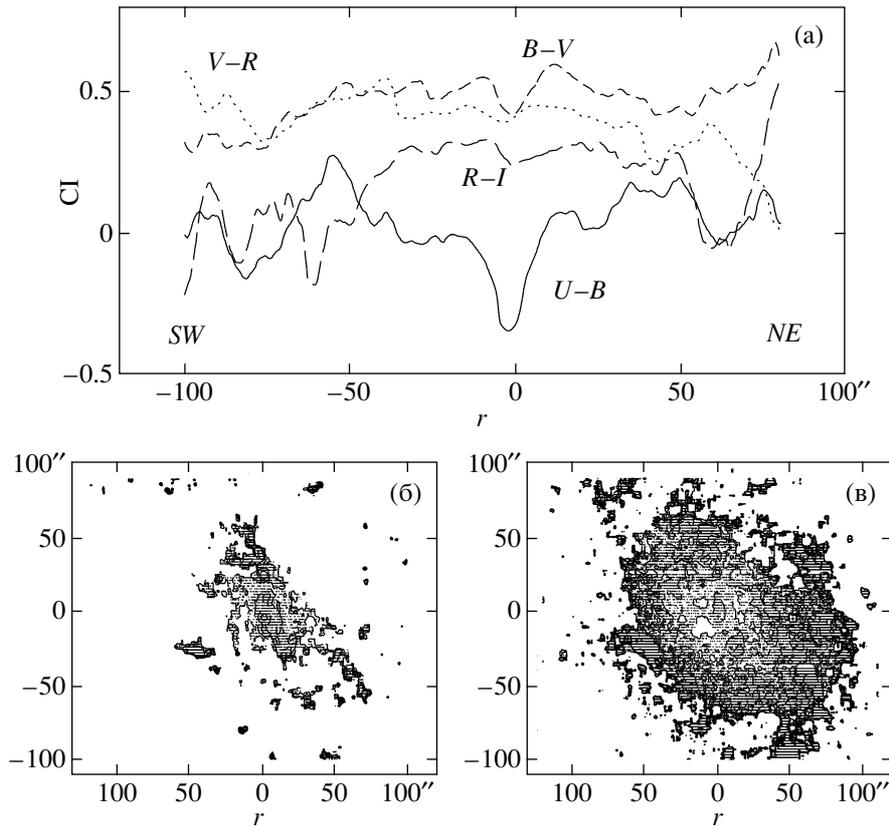


Рис. 6. (а) — Показатели цвета $U-B$ (сплошная линия), $B-V$ (штриховая линия с коротким штрихом), $V-R$ (пунктирная линия), $R-I$ (штриховая линия с длинным штрихом) вдоль большой оси галактики. (б, в) — Карты показателей цвета соответственно $U-B$ и $B-V$; показаны линии одинакового показателя цвета $U-B = -0.4^m, -0.2^m, 0.0^m, 0.2^m$ и $B-V = 0.3^m, 0.4^m, 0.5^m, 0.6^m, 0.7^m$ (более красные области соответствуют более светлым участкам на карте).

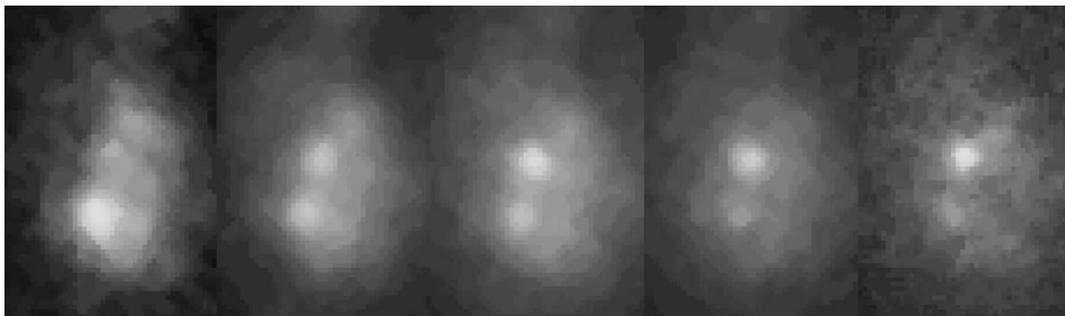


Рис. 7. Изображение центральной части галактики в полосах (слева направо) U, B, V, R, I . Размеры изображений — $12'' \times 18''$.

Однако центр перемычки находится в $20''$ (0.6 кпк) к северо-западу от ядра (рис. 4).

На изображениях галактики в фильтрах U и B (рис. 1, 4, 6б) заметно, что спиральные ветви NGC 5585 (северная — с одной стороны и две южных — с другой) закручены в разные стороны. Морфология и цвет данной галактики указывают на то, что она, возможно, является результатом

слияния галактик. Подробнее данный вопрос будет обсужден ниже.

3.4. Двухцветные диаграммы

На рис. 8 показано положение различных областей NGC 5585 на двухцветных диаграммах $(U-B)-(B-V)$, $(B-V)-(V-R)$ и $(B-V)-(V-I)$.

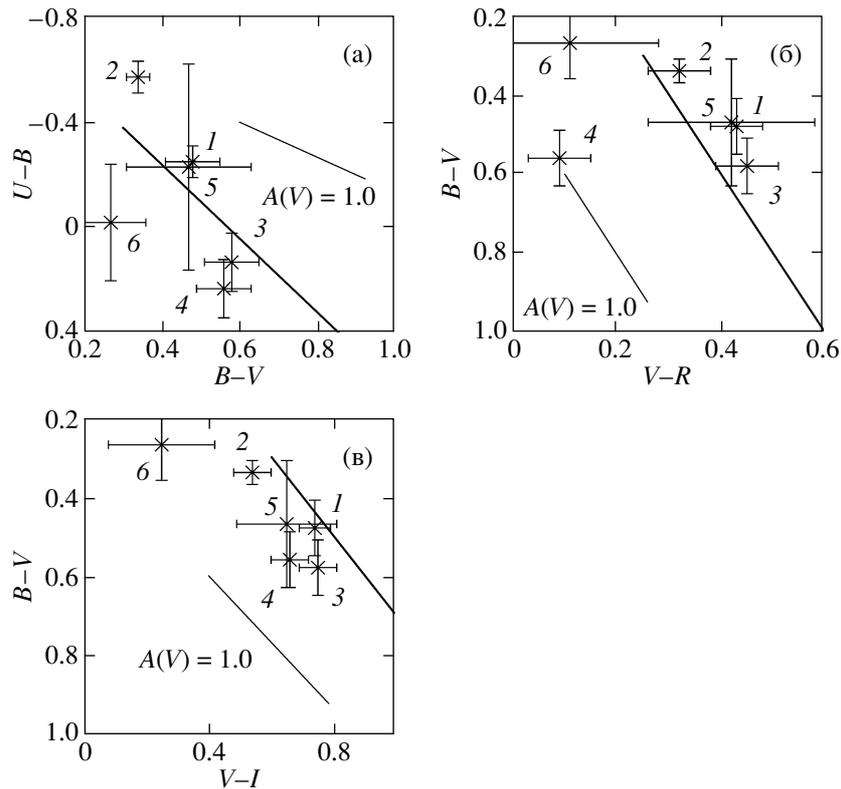


Рис. 8. Положение различных компонент галактики на двухцветных диаграммах $(U-B)-(B-V)$ (а), $(B-V)-(V-R)$ (б) и $(B-V)-(V-I)$ (в). Пояснение обозначений см. в тексте.

Жирные прямые — нормальная последовательность интегральных цветов галактик (НПЦ) по данным [19]. Цифрами обозначены следующие области галактики: 1 — ядро (в пределах $r = 1.5''$ (40 пк) от центра), 2 — околядерная голубая конденсация (измерение в апертуре $3.2''$ (90 пк), 3 — область балджа на $r = 7''-24''$ (190–660 пк), 4 — диск, 5 — спиральные ветви, 6 — кольцо (рис. 4). Тонкие прямые показывают смещение точек на диаграммах при поглощении на величину $A(V) = 1^m$ (влево-вверх).

Большинство компонент галактики лежат вдоль нормальной последовательности цветов, что свидетельствует о плавной (без мощных вспышек) истории звездообразования в них. Исключение составляет кольцо NGC 5585. При этом разница между цветовыми характеристиками ядра и спиральных рукавов, а также балджа и диска, крайне мала. Несмотря на то, что балдж NGC 5585 является наиболее «красной» областью галактики, его фотометрические характеристики типичны для дисков спиральных галактик — звездных систем с продолжающимся звездообразованием.

По положению на двухцветных диаграммах можно выделить ряд компонент галактики. Балдж и диск имеют фотометрические характеристики,

типичные для дисков спиральных галактик типа Sb. При этом в диске, по-видимому, наблюдается сильная эмиссия в линии $H\alpha$ (из-за этого показатель цвета $V-R$ диска оказывается экстремально малым; рис. 8б).

Ядро и спиральные рукава имеют в среднем относительно более молодое звездное население; цветовые характеристики данных областей типичны для спиральных галактик крайне поздних типов. По положению на двухцветных диаграммах, это — звездные системы с примерно постоянным темпом звездообразования.

Околядерная голубая конденсация является по своим фотометрическим характеристикам областью современного звездообразования. Подробнее ее параметры будут рассмотрены в параграфе, посвященном характеристикам ОЗО в галактике.

Точки, характеризующие показатели цвета кольца NGC 5585 расположены на диаграммах левее НПЦ (рис. 8а–8в). Цвет кольца характерен для звездных систем с продолжающимся активным звездообразованием и возрастом порядка нескольких млрд. лет (т.е. с малым вкладом старого звездного населения в светимость). По-видимому, кольцо — это относительно молодое структурное образование в галактике, с многочисленными областями современного звездообразования (рис. 4).

Относительно более старое население слабого диска теряется на фоне излучения от звезд кольца NGC 5585.

В карликовых галактиках Местной группы старое звездное население часто не обнаруживается [20]. Одним из свойств карликовых галактик является вспышечный характер звездообразования в них [21]. В случае NGC 5585 мы наблюдаем “плавную” историю звездообразования в большинстве ее структурных компонент, характерную для нормальных галактик (на двухцветных диаграммах звездные системы со вспышкой (вспышками) звездообразования располагаются далеко от НПЦ).

3.5. Области звездообразования

Для отождествления областей звездообразования в галактике использовались “остаточные” изображения NGC 5585 в полосах U и B (рис. 4). Однако при определении показателей цвета ОЗО использование “остаточных” изображений, хотя и уменьшает ошибку измерений (погрешность определения фона вокруг ОЗО) примерно в 2 раза, но дает систематическую ошибку, связанную с неточностью определения шкалы падения яркости диска в полосах U и I (табл. 3). Из-за этого разница между значениями показателей цвета ОЗО, полученных по реальным и “остаточным” изображениям галактики, увеличивается с удалением ОЗО от центра NGC 5585. Поэтому для определения фотометрических параметров ОЗО использовались реальные изображения в фильтрах U , B , V , R и I .

Для вычисления звездной величины каждой ОЗО строился фотометрический разрез области в полосе B , определялась ширина на полувысоте интенсивности (FWHM). Поток от ОЗО в каждом фильтре определялся в круговой апертуре, равной FWHM области вдоль ее большой оси. Характерный размер ОЗО принимался равным геометрическому среднему от величин FWHM вдоль большой и малой оси данной области. Также для каждой области подбиралось подходящее кольцо для определения фона (не слишком маленькое, чтобы снизить ошибки, и не слишком большое, чтобы не измерить в качестве фона другие области и прочие структурные особенности). Эти два параметра использовались и для определения звездных величин ОЗО во всех других фильтрах. Нами был выбран фильтр B по ряду причин. С одной стороны, в фильтре B отношение сигнала к шуму больше, а качество изображений лучше (табл. 2), чем в фильтре U . С другой стороны, ОЗО иногда намного ярче в фильтре B , чем в V , что также позволяет снизить неточности измерений. В качестве погрешности определения размера

области бралось значение величины FWHM изображений звезд поля, которое заведомо превосходит все другие ошибки. Для вычисления возрастов ОЗО полученные показатели цвета наносились на диаграммы $(U-B)-(B-V)$, $(B-V)-(V-R)$ и $(B-V)-(V-I)$, на которые также были нанесены эволюционные треки звездных систем, рассчитанные с помощью программы PEGASE2. Для более точного определения возрастов использовались треки, рассчитанные для металличностей $Z = 0.008, 0.02, 0.05$ для моделей мгновенного и непрерывного звездообразования. Каждая область проецировалась на эволюционный трек вдоль линии покраснения. Используя полученные ошибки измерений показателей цветов, определялся интервал возрастов и величин поглощения в фильтре V . Сопоставлялись данные, полученные для одинаковой металличности, но на разных диаграммах; выбирались значения, общие для обоих интервалов. Та же процедура проводилась для треков, рассчитанных при других значениях Z . В результате данные объединялись. Подробное описание методики приведено в работе [22]. Суммарная ошибка измерений потоков в полосах U и R , в основном, определяется ошибкой определения “нуль-пункта”. Следует отметить, что в программе PEGASE2 эволюционные треки строятся на основе модельных спектров, в которые входят как излучение в континууме, так и в линиях.

Погрешность измерения характерных размеров ОЗО с учетом принятых масштабов изображений составляет 43 пк.

Детальное изучение параметров ОЗО в NGC 5585 является темой отдельного исследования и будет рассмотрено в другой работе. В рамках данной статьи мы приведем лишь общие сведения о характеристиках ОЗО в галактике.

Всего было отождествлено 47 областей звездообразования (рис. 4), расположенных на депроецированном расстоянии 0.1–4.5 кпк от центра. Характерные размеры звездообразных (т.е. без видимой разрешаемой внутренней структуры) ОЗО составляют от 50 до 100 пк, что является характерным размером для звездных ассоциаций (согласно иерархической классификации Ефремова [23]). Отождествленные ОЗО с видимой внутренней структурой (диффузные, кратные, кольцеобразные) имеют характерные диаметры 100–180 пк (звездные агрегаты по [23]).

Определенные по моделям PEGASE2 возраста ОЗО в NGC 5585 составляют от 2 до 40 млн. лет, при этом в распределении областей по возрастам наблюдается максимум в диапазоне 4–6 млн. лет. Отметим, что ОЗО, расположенные в кольце NGC 5585, являются в среднем более старыми, чем ОЗО, находящиеся в спиральных ветвях галактики.

Практически для всех ОЗО величина внутреннего поглощения не превышает 1.5^m в полосе V ; для половины областей $A(V) < 0.5^m$.

Средний возраст звезд в околоядерной области звездообразования (рис. 7) по нашим оценкам составляет около 4 млн. лет при $A(V) = 1.6^m - 1.7^m$.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Галактика NGC 5585 имеет ряд уникальных свойств, выделяющих ее среди других галактик. Это — прежде всего, доминирование темной материи даже во внутренних областях галактики (исключая околоядерную область), наличие многочисленных областей звездообразования, при том, что в галактике не обнаружен молекулярный водород, отсутствие структурных компонент с доминированием старого звездного населения (балдж NGC 5585 — самая красная область галактики — по своим свойствам, а именно показателям цвета, параметру Серсика и относительному размеру, больше похож на внутренний диск), асимметричная структура галактики, присутствие области современного звездообразования в 100 пк от ядра галактики.

Остановимся подробнее на морфологии галактики NGC 5585 и процессах звездообразования в ней. Спиральные рукава галактики выглядят на “остаточных” изображениях закрученными в противоположные стороны. Такую форму рукавов в случае NGC 5585 можно было бы принять за перемычку. В галактиках поздних типов с маломассивным диском (например, в БМО) действительно могут образовываться бары, центр которых не совпадает с центром галактики [24] (отметим, что динамический и фотометрический центры NGC 5585 совпадают между собой). Однако динамические модели показывают, что такие бароподобные нецентрально-симметричные структуры образуются в случае отсутствия или малого вклада темного сферического гало [24]. В NGC 5585 мы имеем обратный случай. Исходя из вышесказанного, по нашему мнению, в случае NGC 5585 бар не наблюдается: ни юго-западный, ни более слабый южный рукав галактики ($P.A. = 20^\circ$, рис. 4) не могут являться южной частью бара, так как северная спиральная ветвь имеет несколько иной позиционный угол и заметную кривизну. Поэтому мы склонны согласиться с выводами [3] об отсутствии бара в NGC 5585.

Дефицит молекулярного водорода (точнее, малый поток в линии CO) при активном звездообразовании не является уникальным случаем для галактик низкой поверхностной яркости [25]. Это может быть связано как с реальным дефицитом H_2 , так и с неопределенностью коэффициента пересчета $I(CO)$ в $M(H_2)$ из-за малой плотности

и низкой металличности газа [25]. Тем не менее, NGC 5585 является одной из наиболее голубых по цвету галактик в своем классе. В ней активно шел и продолжается в настоящее время процесс звездообразования. При этом, если в балдже и диске звездообразование шло по законам, обычном для дисков (интенсивность звездообразования меняется плавно со временем и примерно пропорциональна количеству газа в данной области), то в ядре и спиральных ветвях темп звездообразования практически не падает со временем (как можно заключить из их положений на двухцветных диаграммах). Это означает, что либо эффективность звездообразования повышается со временем в данных областях, либо существует постоянный приток газа к ядру и спиральям галактики. Отметим также наличие кольца, возраст которого не превышает нескольких млрд. лет, — наиболее молодой структуры галактики.

В настоящее время звездообразование активно идет в спиральных рукавах и кольце NGC 5585, а также в околоядерной области. Результатом данных процессов являются многочисленные области звездообразования и остатки сверхновых (согласно [8]).

Совокупность полученных данных о структуре (форма спиральных ветвей; кольцо, центр которого не совпадает с галактическим центром) и процессах звездообразования в галактике можно объяснить тем, что NGC 5585 образовалась в результате слияния двух галактик или, что в процессе эволюции она поглотила один или несколько небольших галактик-спутников. Судя по возрасту кольца, такое событие могло произойти несколько млрд. лет назад.

Для подтверждения (или опровержения) данной гипотезы необходимо проведение дополнительных исследований — в первую очередь, получение двумерной карты скоростей в околоядерной области и в районе к северу от ядра галактики (месте пересечения северной и юго-западной спиральных ветвей). В дальнейшем, имеет смысл провести динамическое моделирование с целью получения исходных параметров галактик, участвующих в слиянии (поглощении), которое дает на выходе звездную систему со структурой, близкой к наблюдаемой структуре NGC 5585.

5. ВЫВОДЫ

1. Впервые проведена пятицветная поверхностная фотометрия NGC 5585 с целью изучения структуры галактики и состава звездного населения в ней.

2. По данным проведенной двумерной декомпозиции обе компоненты — диск и балдж (с параметром Серсика $n = 1.2 - 1.6$) — имеют пониженную

поверхностную яркость. При переходе от коротковолновых к длинноволновым полосам шкала падения яркости диска и эффективный радиус балджа, а также величина параметра Серсика, уменьшаются. В полосах R и I шкала падения яркости диска и эффективный радиус балджа одинаковы — они равны $30''$ – $40''$ (0.8–1.1 кпк).

3. В NGC 5585 имеются перемилька и кольцо. Однако, центры перемильки, кольца и галактики не совпадают между собой. Спирали галактики, по-видимому, закручены в противоположные стороны.

4. История звездообразования в NGC 5585 типична для спиральных галактик поздних типов: процесс звездообразования идет достаточно активно и плавно, без мощных всплесков. В кольце галактики не обнаружено присутствия старого звездного населения (с возрастом порядка 10 млрд. лет). Фотометрические характеристики балджа NGC 5585 — самой красной области галактики — типичны для дисков спиральных галактик.

5. В $3.2''$ (100 пк) от центра галактики расположена мощная область звездообразования с возрастом порядка 4 млн. лет, затмевающая своим излучением ядро в полосах U и B .

6. В галактике отождествлено 47 областей звездообразования с размерами от 50 до 180 пк и возрастными, не превышающими 40 млн. лет.

Авторы благодарят О.В. Ежкову, А.В. Засова и Е.В. Шимановскую (ГАИШ) за помощь, ценные советы и консультации. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 07-02-00792 и 08-02-01323).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Spano, M. Marcellin, P. Amram, *et al.*, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **383**, 297 (2008).
2. H. M. Hernandez-Toledo and S. Ortega-Esbri, *Astron. and Astrophys.* **487**, 485 (2008).
3. K. Menendez-Delmestre, K. Sheth, E. Schinnerer, *et al.*, *Astrophys. J.* **657**, 790 (2007).
4. A. Seth, M. Agueros, D. Lee, and A. Basu-Zych, *Astrophys. J.* **678**, 116 (2008).
5. R. C. Kennicutt, Jr., *Astrophys. J.* **334**, 144 (1988).
6. A. Alonso-Herrero and J. H. Knapen, *Astron. J.* **122**, 1350 (2001).
7. S. S. Larsen, *Astron. and Astrophys.* **416**, 537 (2004).
8. D. M. Matonick and R. A. Fesen, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **112**, 49 (1997).
9. M. Das, K. O'Neil, S. N. Vogel, and S. McGaugh, *Astrophys. J.* **651**, 853 (2006).
10. S. Blais-Ouellette, C. Carignan, P. Amram, and S. Cote, *Astron. J.* **118**, 2123 (1999).
11. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, W. K. Huchtmeier, and D. I. Makarov, *Astron. J.* **127**, 2031 (2004).
12. G. Fabbiano and N. Panagia, *Astrophys. J.* **266**, 568 (1983).
13. S. Cote, C. Carignan, and R. Sancisi, *Astron. J.* **102**, 904 (1991).
14. A. U. Landolt, *Astron. J.* **104**, 340 (1992).
15. C. Y. Peng, L. C. Ho, C. D. Impey, and H.-W. Rix, *Astron. J.* **124**, 266 (2002).
16. P. J. Grosbøl, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **60**, 261 (1985).
17. А. С. Гусев, *Астрон. журн.* **84**, 3 (2007).
18. C. Mollenhoff, *Astron. and Astrophys.* **415**, 63 (2004).
19. R. Buta and K. L. Williams, *Astron. J.* **109**, 543 (1995).
20. S. van den Bergh, *The Galaxies of the Local Group* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000).
21. E. K. Grebel, in: *Star formation from the small to the large scale*, Proc. 33rd ESLAB Symp., Nooordwijk, 2–5 November 1999, ESTEC, eds F. Favata, A. A. Kaas, A. Wilson, ESA SP-445 (Europ. Space Agency, 2000), p. 87.
22. A. S. Gusev and M.-G. Park, *Astron. and Astrophys.* **410**, 117 (2003).
23. Ю. Н. Ефремов, *Очаги звездообразования в галактиках* (Москва: Наука, 1989).
24. А. В. Засов, А. В. Хоперсков, *Астрон. журн.* **79**, 195 (2002).
25. L. D. Matthews, Y. Gao, J. M. Uson, and F. Combes, *Astron. J.* **129**, 1849 (2005).