

УДК 524.74-52

ЗВЁЗДООБРАЗОВАНИЕ В БЛИЗКИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГАЛАКТИКАХ

© 2013 И. Д. Караченцев^{1,2}, В. Е. Караченцева³, О. В. Мельник^{4,5}, Х. М. Куртуа⁶

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Leibniz-Institut für Astrophysik (AIP), Potsdam, D-14482 Germany

³Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, вул. Академіка Заболотного, 27, Київ, 03680 Україна

⁴Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Обсерваторна, 3, Київ, 04053 Україна

⁵Institut d'Astrophysique et de Géophysique, Université de Liège, B5C Belgique

⁶Université de Lyon, Institut de Physique Nucléaire de Lyon, Villeurbanne, 69100 France

Поступила в редакцию 23 апреля 2013 года; принята в печать 3 июня 2013 года

Мы используем FUV-потоки, измеренные космическим телескопом GALEX для изучения свойств звездообразования галактик каталога близких изолированных галактик “Local Orphan Galaxies” (LOG). Среди 517 галактик LOG с лучевыми скоростями $V_{LG} < 3500$ км/с на галактических широтах $|b| > 15^\circ$ 428 галактик были обнаружены в FUV. Приводится краткое обсуждение некоторых масштабных соотношений между удельным темпом звездообразования (SSFR) и звездной массой, HI-массой, морфологией и поверхностной яркостью галактик, расположенных в районах сверхнизкой плотности Местного сверхскопления. Наша выборка преимущественно населена объектами позднего типа, богатыми газом, среднего морфологического типа Sdm. Лишь 5% галактик каталога LOG классифицируются как ранние типы: E, S0, S0/a, но они систематически отличаются от обычных галактик E и S0 более низкой светимостью и наличием газа и пыли. Мы обнаружили, что практически у всех галактик нашей выборки темпы SSFR ниже $0.4 \text{ [Gyr}^{-1}]$. Это ограничение справедливо даже для выборки 270 галактик Маркаряна с активными вспышками звездообразования, расположенных в том же объеме. Существование такого псевдо-эддингтоновского предела для галактик представляется нам ключевым фактором, характеризующим преобразование газа в звезды в настоящую эпоху.

Ключевые слова: галактики: звездообразование

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно сложившимся представлениям, преобразование газа в звезды управляется внутренними процессами в галактике и зависит от массы галактики и ее морфологического типа. Кроме того, на глобальный темп звездообразования оказывают влияние внешние факторы: возбуждение вспышек звездообразования при тесных сближениях или слиянии галактик, выметание газа из маломассивных спутников при прохождении через плотные области гало гигантской (хозяйской) галактики. Ещё одним скрытым механизмом эволюции может быть аккреция галактикой теплой межгалактической среды, в которой предположительно сосредоточено около 90% всех барионов Вселенной [1]. Вклад последнего фактора в историю звездообразования остается пока совершенно неясным.

Чтобы сделать более понятной роль внутренних процессов преобразования газа в звезды, следует рассматривать их в галактиках, максимально изолированных от своих соседей. Появление массового обзора ультрафиолетового излучения галактик, выполненного на спутнике GALEX [2, 3], открывает возможность детального изучения темпов звездообразования в близких изолированных галактиках, для которых имеются достаточно подробные данные об их структуре и содержании газа. Ниже мы рассматриваем особенности звездообразования в представительной выборке наиболее изолированных галактик Местного сверхскопления, основываясь на данных об их потоках в далеком ультрафиолете (FUV) со спутника GALEX. Насколько нам известно, эта работа является первой систематической попыткой анализа темпов звёз-

дообразования в однородной выборке одиночных галактик в настоящую эпоху ($z < 0.01$).

2. ВЫБОРКА БЛИЗКИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГАЛАКТИК

Используя базы данных HyperLEDA¹ и NED,² Караченцев, Макаров и Караченцева составили сводку примерно 11 000 галактик Местной вселенной с лучевыми скоростями относительно центра Местной группы $V_{LG} < 3500$ км/с на галактических широтах $|b| > 15^\circ$. При подготовке этой выборки (11К) были учтены новые данные о лучевых скоростях галактик, полученные в оптических и HI-обзорах неба: SDSS, 6dF, HIPASS, ALFALFA. Кроме того, у многих галактик 11К-выборки были уточнены или же впервые определены морфологические типы, видимые величины и другие параметры. Применение к 11К-выборке нового критерия кластеризации галактик привело к созданию каталогов пар, триплетов и групп галактик в Местной вселенной [4–6]. За пределами этих каталогов осталось 48% галактик, которые принято обычно именовать “галактиками поля.” Среди них путем последовательного применения двух критериев изолированности был составлен каталог 520 наиболее обособленных объектов Местного сверхскопления и его окрестностей, названный “Local Orphan Galaxies” (LOG) каталог [7]. Относительное число изолированных галактик в LOG (около 5%) примерно такое же, как в известном каталоге KIG [8], объекты которого имеют медианную скорость около 5500 км/с. Судя по лучевым скоростям и расположению соседних галактик, изолированные галактики LOG и KIG-каталогов не испытывали значительного взаимодействия с соседями в течение нескольких последних миллиардов лет, т.е. длительное время их эволюция управлялась сугубо внутренними механизмами.

Каждая галактика LOG-каталога была проверена нами в базе данных NED на наличие ультрафиолетового потока FUV в полосе ($\lambda_{\text{eff}} = 1539 \text{ \AA}$, FWHM = 269 \AA) по измерениям на орбитальном телескопе GALEX [2, 3]. В нередких случаях, когда FUV-изображение галактики распадалось на несколько сгущений, мы суммировали поток F_{FUV} по всему оптическому диску галактики.

Для определения глобального темпа звездообразования в галактике, SFR, мы следовали схеме, использованной Ли и др. [9]:

$$\log(\text{SFR} [M_{\odot}/\text{yr}]) = \log F_{\text{FUV}}^c + 2 \log D - 6.78, \quad (1)$$

где D — расстояние до галактики в Мпк, а поток F_{FUV} в единицах mJy исправлен за поглощение света

$$\log(F_{\text{FUV}}^c/F_{\text{FUV}}) = 0.772(A_B^G + A_B^i). \quad (2)$$

Здесь величина Галактического поглощения в B -полосе, A_B^G , была взята по данным [10], а внутреннее поглощение в самой галактике определялось как

$$A_B^i = (1.54 + 2.54(\log 2V_m - 2.5)) \log(a/b) \quad (3)$$

через видимое отношение осей галактики a/b и амплитуду внутреннего вращения V_m [11]. Для карликовых галактик с $V_m < 39$ км/с и бедных газом E, S0-галактик внутреннее поглощение считалось пренебрежимо малым.

Пополняя каталог LOG значениями FUV-потоков, мы внесли в него новые данные об HI-потоках галактик из базы данных EDD,³ а также проверили и уточнили данные о морфологических типах и видимых величинах галактик. Из LOG-каталога были исключены три галактики: LOG 25 (как имеющая новую лучевую скорость $V_h = 5205$ км/с), LOG 368 (как не вполне изолированная) и LOG 377 (как не имеющая однозначного оптического отождествления для радиоисточника HIPASS J1615–17). Обновленный LOG-каталог представлен в Таблице 1.

В столбцах таблицы содержатся:

- (1) — номер галактики в LOG-каталоге;
- (2) — имя галактики в известных каталогах;
- (3) — экваториальные координаты на эпоху J2000.0;
- (4) — расстояние до галактики $D = V_{LG}/H_0$ в Мпк, определенное по лучевой скорости относительно Местной группы при параметре Хаббла $H_0 = 73 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$; случаи использования индивидуальных оценок расстояния, представленных в базе данных NED, отмечены звездочкой в последнем столбце;
- (5) — видимая величина галактики в B -полосе;
- (6) — суммарное Галактическое и внутреннее поглощение в B -полосе;
- (7) — морфологический тип по шкале Вокулера;
- (8) — индекс средней поверхностной яркости галактики: H — high, N — normal, L — low;
- (9) — логарифм видимого отношения осей;
- (10) — видимая величина галактики в K_s -полосе, исправленная за Галактическое и внутреннее поглощение: $K - K^c = 0.085(A_B^G + A_B^i)$; поскольку

¹<http://leda.univ-lyon1.fr>

²<http://nedwww.ipac.caltech.edu>

³<http://edd.ifa.hawaii.edu>

Таблица 1. Параметры изолированных галактик LOG-каталога

LOG	Name	RA (J2000.0) Dec	D	B	A_B^T	T	SB	$\log(a/b)$	K^c	$\log FUV$	$\log F_{HI}$	W_{50}	$\log SFR$	$\log M_*$	P	F	Note
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
1	ESO149-013	000246.3-524618	18.67	15.39	0.20	8	N	0.40	12.59	2.70	1.06	98	-1.38	8.82	-0.06	0.48	
2	ESO149-018	000714.5-523712	23.89	15.78	0.13	9	N	0.10	13.30	2.57	0.74	103	-1.35	8.75	0.04	0.35	
3	UGC00064	000744.0+405232	7.59	15.5	0.36	10	N	0.10	12.79	2.93	1.24	60	-1.82	7.96	0.37	0.31	
4	UGC00063	000750.8+355759	9.79	15.34	0.27	10	N	0.18	12.72	2.61	0.28	42	-1.98	8.21	-0.04	-0.27	
5	ESO538-024	001017.8-181551	19.3	15.08	0.14	8	N	0.07	12.34	3.06	0.92	25	-1.05	8.95	0.15	0.04	*
6	PGC130903	001108.7-385915	43.56	15.36	0.07	6	H	0.29	12.20	2.46	0.3	-	-0.99	9.71	-0.56	0.06	
7	6dF...	001408.3-353648	44.77	16	0.25	9	H	0.43	13.40	2.37	0.71	117	-0.92	9.25	-0.03	0.42	
8	SDSS...	001500.1-110804	47.49	17.8	0.16	6	N	0.65	14.54	1.56	0.3	-	-1.74	8.85	-0.45	0.89	
9	ESO241-027	001502.7-431731	44.32	15.68	0.03	6	H	0.16	12.55	2.57	0.05	-	-0.89	9.58	-0.33	-0.27	
10	6dF...	001550.9-225511	44.01	15.78	0.18	6	N	0.26	12.50	2.54	0.56	89	-0.81	9.60	-0.27	0.15	
11	ESO194-002	001830.4-473921	19.63	16.12	0.05	7	L	0.09	13.22	2.39	0.14	46	-1.77	8.61	-0.23	-0.01	
12	AM0016-575	001909.3-573830	22.41	15.36	0.18	2	N	0.11	11.08	2.57	1.32	141	-1.37	9.58	-0.81	0.88	pec
13	UGC00199	002051.8+125122	27.60	17.3	0.34	8	L	0.04	14.36	2.16	0.62	94	-1.47	8.45	0.22	0.47	
14	ESO150-005	002225.6-533851	15.15	13.99	0.18	8	N	0.15	11.21	3.31	1.14	103	-0.97	9.19	-0.02	-0.03	*
15	NGC0101	002354.6-323210	46.73	13.46	0.14	6	N	0.04	10.22	3.40	1.07	160	0.07	10.56	-0.35	-0.16	
16	UM240	002507.4+001846	46.53	17.5	0.10	9	H	0.12	15.05	1.85	0.3	-	-1.51	8.63	0.00	0.64	
17	6dF...	002755.3-031101	46.19	15.8	0.15	6	H	0.04	12.55	2.67	0.46	40	-0.66	9.62	-0.14	-0.05	
18	UM040	002826.6+050016	20.86	15.3	0.13	9	N	0.18	12.82	2.81	0.80	91	-1.23	8.82	0.09	0.16	
19	UGC00285	002851.1+285622	33.26	15.55	0.38	4	N	0.52	11.57	2.27	-0.30	106	-1.18	9.73	-0.76	-0.59	
20	UGC00288	002903.6+432554	7.68	15.64	0.33	10	N	0.21	12.96	2.53	0.72	45	-2.22	7.90	0.02	0.20	*
21	UGC00313	003126.1+061224	30.64	14.35	0.26	7	H	0.23	11.24	2.75	0.00	116	-0.85	9.79	-0.50	-0.68	
22	HS0029+1748	003203.1+180446	33.01	18.03	0.57	9	H	0.56	15.11	1.92	0.3	-	-1.38	8.30	0.46	0.21	
23	ESO294-020	003209.7-401605	19.08	14.45	0.25	8	N	0.12	11.60	3.10	0.44	120	-0.93	9.23	-0.02	-0.57	
24	UGC00328	003322.1-010717	29.30	16.2	0.27	8	N	0.18	13.33	3.09	1.25	137	-0.54	8.91	0.68	0.22	

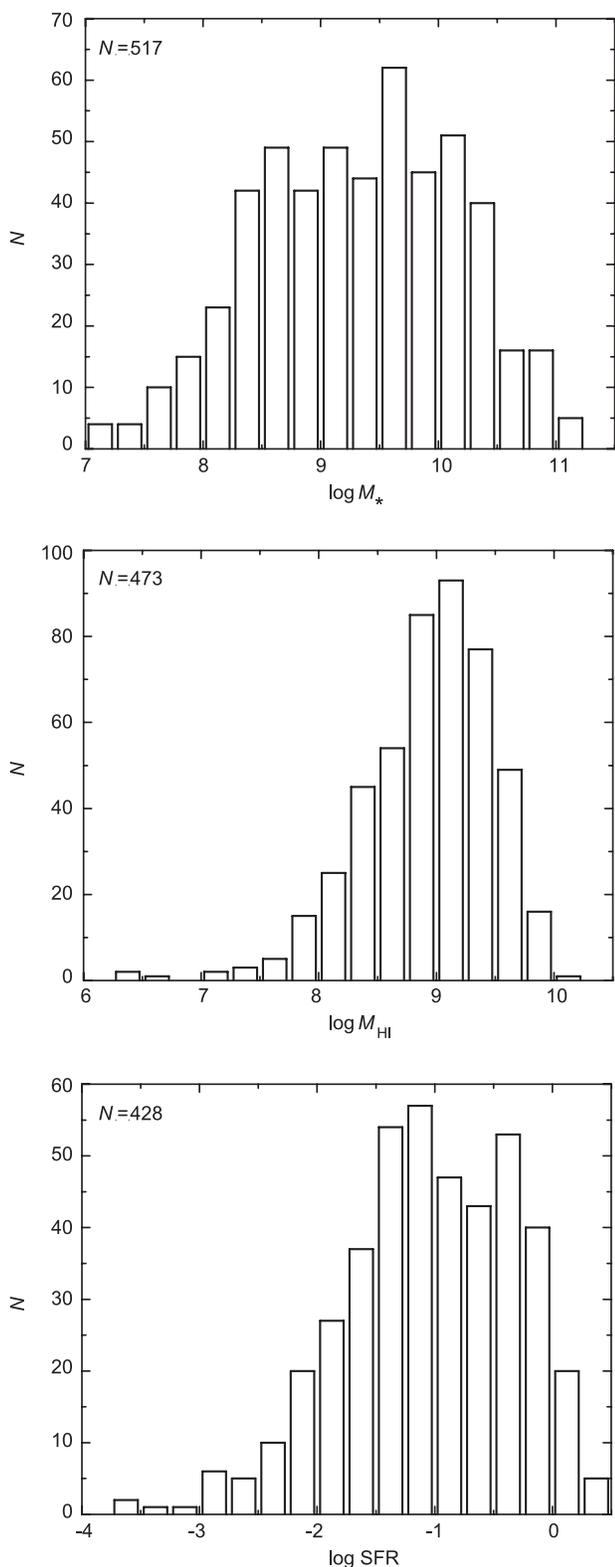


Рис. 1. Распределение изолированных галактик по звездной массе (верхняя панель), водородной массе (средняя панель) и интегральному темпу звёздообразования (нижняя панель).

большинство галактик в LOG-каталоге относится к поздним типам, для которых 2MASS-обзор неба сильно недооценивает интегральные инфракрасные величины, мы определяли K_s -величину по B -величине и среднему показателю цвета: $\langle B - K \rangle = 4.10$ для типов $T < 3$, $\langle B - K \rangle = 4.60 - 0.2T$ для типов $T = 3-8$ и $\langle B - K \rangle = 2.35$ для $T = 9-10$ в соответствии с рекомендациями [12, 13];

(11) — логарифм суммарного FUV-потока галактики в [mJy];

(12) — логарифм потока в радиолнии HI в [Jy×км/с];

(13) — ширина линии HI на уровне 50% от максимума в км/с;

(14) — темп звёздообразования в галактике (в единицах солнечной массы в год), вычисленный по соотношению (1) с учетом соотношений (2) и (3);

(15) — логарифм звездной массы галактики (в массах Солнца), определенной по интегральной K_s -светимости при $\langle M_*/L_K \rangle = 1$ и видимой величине Солнца $M_{K,\odot} = 3.28$ [14, 15];

(16, 17) — безразмерные параметры P (Past) и F (Future), которые характеризуют эволюционное состояние галактики:

$$P = \log(\text{SFR} \times T_0 / L_K), \quad (4)$$

$$F = \log(1.85 \times M_{\text{HI}} / \text{SFR} \times T_0), \quad (5)$$

где $T_0 = 13.7 \times 10^9$ лет — возраст Вселенной, M_{HI} — водородная масса галактики $M_{\text{HI}} = 2.356 \times 10^5 \times D^2 \times F_{\text{HI}}$, а коэффициент 1.85 учитывает вклад гелия и молекулярного водорода в общую массу газа [1];

(18) — примечания относительно наличия пекулярности (pec) в структуре галактики; звездочкой отмечены галактики с индивидуальными оценками расстояний из NED.

Полная версия Таблицы 1 в машинно-читаемом виде доступна в астрономической базе данных Страсбурга (CDS).

3. НЕКОТОРЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЛАКТИК LOG

Главной особенностью галактик LOG-каталога является обилие среди них объектов поздних морфологических типов. Медиана распределения LOG-галактик по типам приходится на тип Sdm ($T = 8$). По этой причине более 90% выборки детектировано в линии HI, более 80% галактик имеют FUV-потоки и, соответственно, оценки интегрального темпа звёздообразования.

На трех панелях Рис. 1 представлено распределение изолированных галактик нашего каталога, соответственно, по логарифмам звездной массы, водородной массы и темпу звёздообразования. Медианные значения звездной массы, $2.3 \times 10^9 M_\odot$, и водородной массы, $1 \times 10^9 M_\odot$, показывают, что в этой выборке преобладают галактики умеренной и малой массы, но с высоким содержанием газовой компоненты. Индивидуальные значения $\log \text{SFR}$ у LOG-галактик распределены в широком диапазоне от $+0.34$ до -3.67 с медианой -1.05 .

Как следует из Рис. 2, отношение водородной массы к звездной массе систематически возрастает от галактик нормальной светимости к карликовым системам, что выражается регрессией

$$\log(M_{\text{HI}}/M_*) = -0.54 \log(M_*) + 4.65 \quad (6)$$

с коэффициентом корреляции $R = -0.76$ и стандартным отклонением $SD = 0.40$. У некоторых карликовых галактик около 90% барионной массы приходится на газовую компоненту. Такие объекты, очевидно, находятся на ранних этапах процесса преобразования своего газа в звезды.

Рис. 3 воспроизводит распределение LOG-галактик по величине интегрального темпа звёздообразования и водородной массе. Сплошная линия на рисунке соответствует степенной зависимости $\log \text{SFR} \propto 3/2 \log(M_{\text{HI}})$, получившей название закона Шмидта-Кенникатта [16]. Как видим, кроме нескольких объектов, основная масса изолированных галактик хорошо следует установленной зависимости, которая выглядит ещё более четкой, если исключить из рассмотрения галактики ранних типов.

4. УДЕЛЬНЫЙ ТЕМП ЗВЁЗДООБРАЗОВАНИЯ И ЗАПАСЫ ГАЗА В ГАЛАКТИКАХ

Важной характеристикой галактики является удельный темп звёздообразования, нормированный на единицу ее L_K -светимости или звездной массы, $\text{SSFR} = \text{SFR}/M_*$. Изменение этой величины в зависимости от звездной массы изолированной галактики представлено на Рис. 4. На левой панели рисунка галактики ранних ($T \leq 1$), средних ($T = 2-8$) и поздних ($T = 9, 10$) типов показаны разными символами. Как и следовало ожидать, немногочисленная популяция E и S0-галактик имеет пониженные значения $\log \text{SSFR}$ с медианой -11.5 . Подсистема дисковых галактик типов Sab-Sdm характеризуется на порядок большим медианным значением, -10.3 , и демонстрирует тенденцию уменьшения среднего темпа звёздообразования с ростом звездной массы галактики. Маломассивные галактики самых поздних типов: Ig,

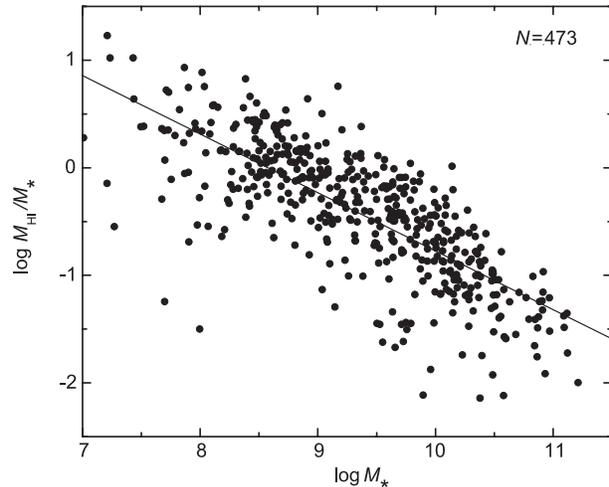


Рис. 2. Отношение водородной массы к звездной массе для изолированных галактик разной звездной массы.

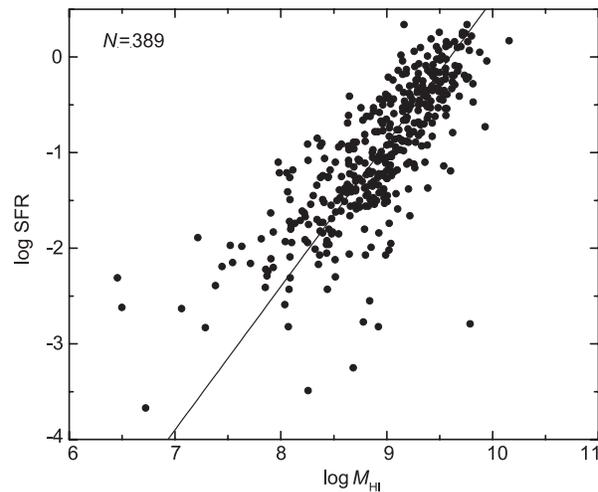


Рис. 3. Интегральный темп звёздообразования у изолированных галактик разной водородной массы. Линия изображает степенную зависимость Шмидта-Кенникатта с показателем 3/2.

Im, BCD имеют медиану $\log \text{SSFR} = -10.1 [\text{yr}^{-1}]$, сравнимую с величиной постоянной Хаббла, $\log H_0 = -10.14 [\text{yr}^{-1}]$.

На правой панели Рис. 4 то же распределение 428 изолированных галактик по $\log \text{SSFR}$ и $\log M_*$ приведено с разметкой галактик по индексам средней поверхностной яркости. Наиболее высокий темп звёздообразования с медианой -10.0 имеет место для галактик низкой поверхностной яркости, тогда как для галактик нормальной и высокой поверхностной яркости медианы $\log \text{SSFR}$ составляют -10.2 и -10.4 соответственно.

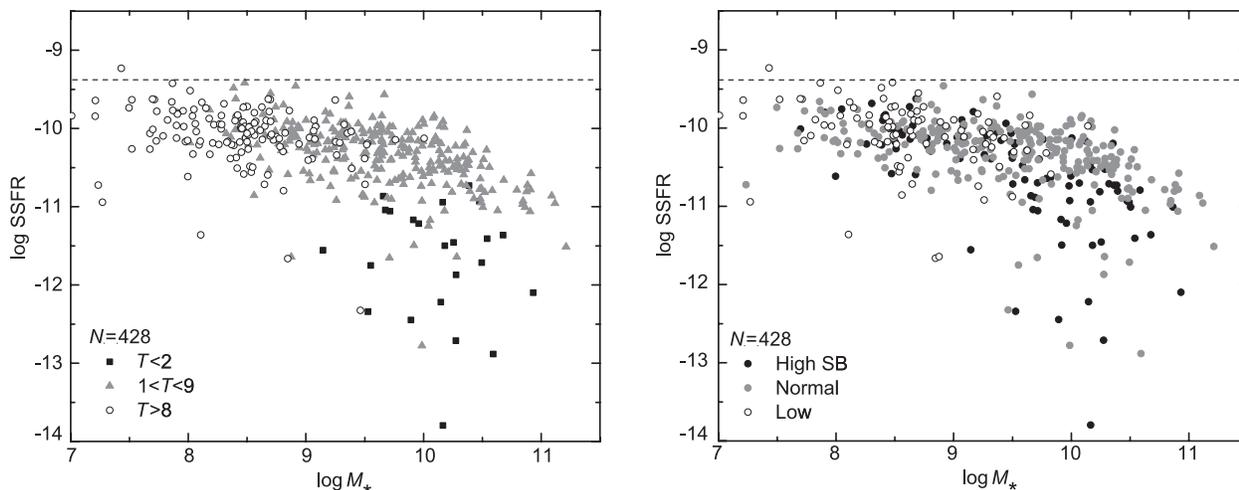


Рис. 4. Удельный темп звёздообразования и звездная масса у изолированных галактик разных морфологических типов (левая панель) и разных классов поверхностной яркости (правая панель). Горизонтальная линия соответствует пределу $\log \text{SSFR} = -9.4 [\text{yr}^{-1}]$.

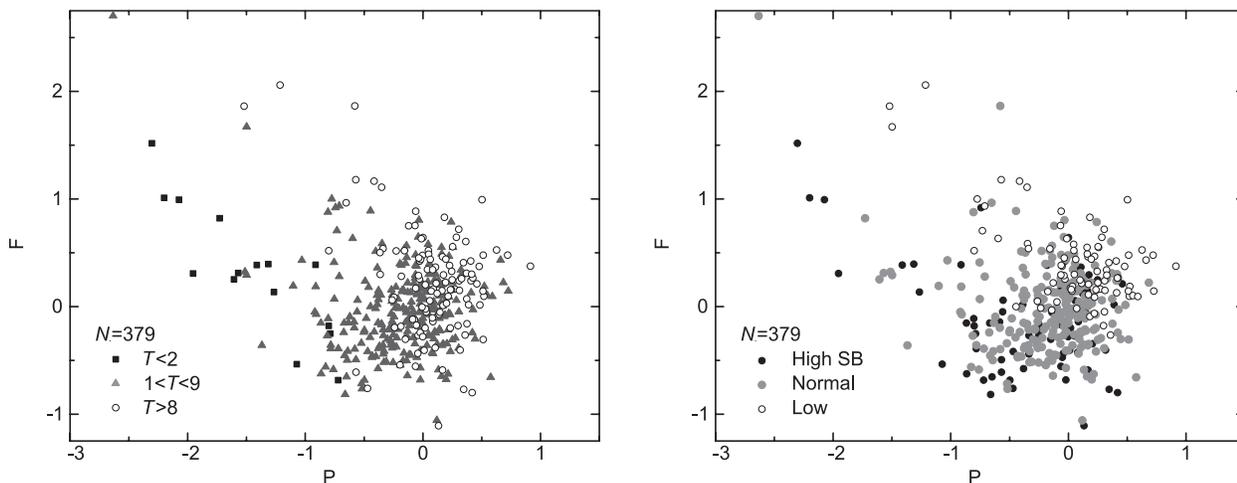


Рис. 5. Диагностическая диаграмма Past–Future изолированных галактик разных морфологических типов (левая панель) и разных классов поверхностной яркости (правая панель).

Как было отмечено в [17], у галактик самых разных масс и структурных типов удельный темп звёздообразования не превышает некоторую максимальную величину $\log \text{SSFR}_{\text{max}} \simeq -9.4 [\text{yr}^{-1}]$. Этот предел показан на Рис. 4 пунктирной линией. Только одна изолированная галактика, LOG 58 = UGCA 20, располагается выше этой линии. Однако погрешность определения видимой величины у нее составляет примерно $0^{\text{m}}5$, и реально эта иррегулярная галактика низкой поверхностной яркости может находиться ниже указанного предела. Наличие верхнего предела в темпах преобразования газа галактик в звезды является важным параметром этого процесса, подобным пределу Эддингтона для звездной светимости.

Эволюционный статус галактик удобно характеризовать безразмерными параметрами P (Past) и F (Future), которые не зависят от ошибок определения расстояния до галактики [18, 19]. Диагностическая диаграмма (P, F) для изолированных галактик представлена на Рис. 5. На левой его панели LOG-галактики разделены на три категории по морфологическим типам: (E–Sa), (Sab–Sd) и (Im, BCD, Ir), а на нижней — по индексам средней поверхностной яркости: high, normal, low. В соответствии с определением величин (4) и (5), галактика, расположенная в центре диаграммы ($P = 0, F = 0$), способна воспроизвести свою наблюдаемую L_K светимость (звездную массу) за хаббловское время при наблюдаемом сейчас темпе

звёздообразования; а запасы газа в ней достаточны, чтобы поддерживать наблюдаемый темп звёздообразования на шкале ещё одного хаббловского времени.

Медианные значения параметров P и F для галактик указанных категорий приведены в Таблице 2. Как следует из этих данных, в целом совокупность изолированных галактик концентрируется к началу координат ($P = 0$, $F = 0$) с характерным разбросом $\sigma(P) \simeq \sigma(F) \simeq 0.6$. Это означает, что в среднем современные темпы звёздообразования у изолированных галактик находятся в соответствии с их наблюдаемыми светимостями, а запасы газа в них исчерпаны к настоящему моменту лишь наполовину.

Вариации медианных значений в Таблице 2 показывают, что у галактик ранних типов и галактик высокой поверхностной яркости темпы звёздообразования в прошлые эпохи были значительно выше, чем в настоящее время. Судя по тренду параметра F , галактики высокой поверхностной яркости уже прошли половину своего эволюционного пути, а объекты низкой поверхностной яркости находятся пока на раннем этапе преобразования имеющегося у них газа в звезды.

5. ИЗОЛИРОВАННЫЕ ГАЛАКТИКИ РАННИХ ТИПОВ

Проведя через три года повторную классификацию морфологических типов LOG-галактик, мы обнаружили, что в 73% случаев наши независимые определения типов совпали друг с другом. Среди 133 несовпавших оценок подавляющее большинство показало различия $\Delta T = \pm 1$, чему соответствуют ошибки параметров $\Delta \log L_K = \Delta P = \pm 0.1$, которые мало заметны на диаграммах Рис. 4 и 5.

Однако существует немногочисленная (примерно 5%) категория изолированных галактик ранних типов, где легко допустить значительную ошибку в их классификации. Морфологические признаки этих галактик часто оказываются противоречивыми: гладкое распределение света по диску и красный цвет иногда сочетаются с наличием эмиссии в оптическом спектре или в линии H I, или же значительным потоком в ультрафиолете, как у объектов Маркаряна.

Список 28 таких галактик, классифицированных нами как E, S0, Sa, представлен в Таблице 3. Обозначения величин в ней такие же, как в исходной Таблице 1; в последней её колонке отмечено наличие у галактики инфракрасного IRAS-потока (IR). Изображения этих галактик размером $2' \times 2'$, взятые из обзоров неба SDSS и POSS-II, приведены в виде мозаики на Рис. 6.

Эта немногочисленная коллекция изолированных галактик типов E ($N = 7$), S0 ($N = 12$) и

Таблица 2. Медианы параметров P и F для разных выборок изолированных галактик

Тип галактики	Медиана	
	P	F
$T < 2$	-1.41	0.31
$T = 2-8$	-0.11	-0.05
$T = 9, 10$	0.09	0.22
High SB	-0.16	-0.15
Normal SB	-0.08	-0.06
Low SB	0.16	0.33
Все типы	-0.05	0.03

S0–Sa ($N = 9$) имеет следующие особенности. Около 79% объектов данной подвыборки характеризуются высокой поверхностной яркостью, а также наличием FUV-потока. Только четверть этих галактик детектирована в линии H I. Около 68% объектов являются IRAS-источниками, что указывает на присутствие у них пылевой компоненты. Изображения некоторых галактик обнаруживают малоконтрастные признаки спиральной структуры (UGC 5467, UGC 5744), полярного кольца (AM 0126–653), или зоны центральной эмиссии в H α (SBS 0945+594). Эти особенности указывают на то, что среди очень изолированных галактик практически не встречаются классические E и S0-галактики без всяких признаков газа и пыли. Как было отмечено нами ранее [7], E и S0-галактики-“сироты” имеют систематически меньшую светимость, чем члены групп и скоплений этих же типов. Малочисленная категория изолированных E, S0-систем может оказаться важным индикатором процесса аккреции теплого межгалактического газа, которая у объектов поздних типов заслоняется собственной активностью звёздообразования [20]. Самым близким и выразительным примером этого особого класса галактик является NGC 404, окруженная H I-облаком, в центральной части которой и на далекой периферии обнаружены очаги звёздообразования [21, 22].

6. ПЕКУЛЯРНЫЕ И МАРКАРЯНОВСКИЕ ОБЪЕКТЫ В LOG-КАТАЛОГЕ

Как мы уже неоднократно отмечали [7, 8], каталоги изолированных галактик LOG и KIG содержат около 5% пекулярных объектов, у которых заметны значительные искажения общей структуры, асимметрия формы или наличие приливных

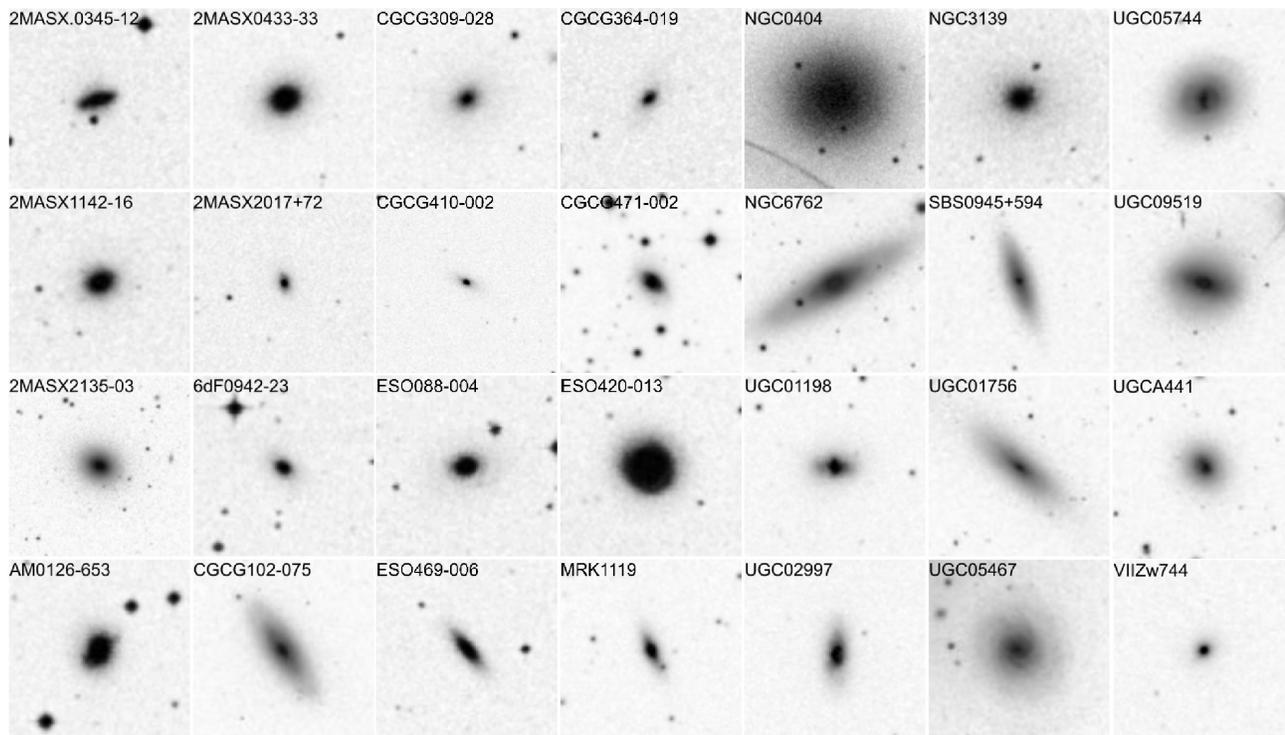


Рис. 6. Репродукции изображений изолированных галактик ранних типов размером $2' \times 2'$ из обзоров неба SDSS и POSS-II. Север — сверху, восток — слева.

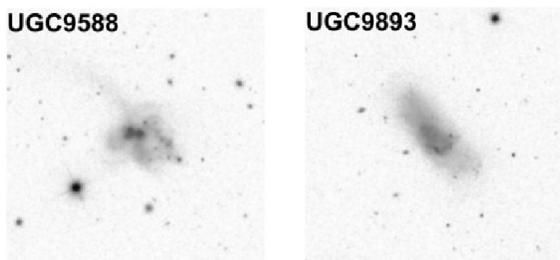


Рис. 7. Изображения двух пекулярных изолированных галактик размером $3' \times 3'$ из обзора SDSS. Север — сверху, восток — слева.

“хвостов.” Список 21 галактики в LOG с перечислением их аномалий был приведен в Таблице 3 работы [7]. Высказывались предположения, что такие изолированные галактики могли приобрести пекулярность своей структуры в результате взаимодействия с темными объектами, масса которых сравнима с массой самих галактик. Другие варианты объяснения этих аномалий у изолированных галактик предполагают, что наблюдаемые структурные искажения вызваны или недавним слиянием пары галактик, или асимметричной вспышкой звездообразования на окраинах одиночной галактики. При любом сценарии, детальное изучение кинематики таких объектов помогло бы лучше понять их природу.

Публикация новых релизов обзора SDSS пополняет список пекулярных изолированных галактик. В этой связи мы обращаем внимание на еще два объекта: LOG 337 = UGC 9588 = VV 803 и LOG 357 = UGC 9893 = VV 720, репродукции изображений которых из SDSS приведены на Рис. 7. В первом случае объект выглядит как пара голубых карликовых галактик с хвостами на стадии непосредственно перед фазой слияния. Во втором случае одиночная голубая галактика похожа на результат недавнего слияния двух карликовых систем с образованием полярного кольца в центральной части. Поскольку изолированные галактики распространяются в областях весьма низкой плотности, случаи слияния среди них должны быть крайне редкими. Тем не менее, пример взаимодействующей тройной системы в близком войде уже упоминался в литературе [23].

Необходимо отметить, что среди 517 галактик LOG-каталога встречаются 18 активных объектов из списков Маркаряна. Их общее число в 11K-выборке с лучевыми скоростями $V_{LG} < 3500$ км/с составляет 260, следовательно их относительное число среди изолированных галактик не ниже, чем среди членов групп и скоплений. Можно было бы предположить, что активность звездообразования у Маркаряновских галактик превышает квазиэддингтоновский пре-

Таблица 3. Изолированные галактики ранних типов

LOG	Name	RA(J2000.0)Dec	D	T	SB	K_s	$\log F_{\text{HI}}$	$\log \text{FUV}$	Note
31	CGCG410-002	004448.4+050809	42.00	0	H	10.99	0.3:	2.67	IR
50	NGC0404	010927.0+354304	3.05	0	N	6.83	1.59	3.39	IR
54	AM0126-653	012822.4-651615	20.01	1	H	10.50	0.95	2.64	IR
62	UGC01198	014917.7+851538	22.20	0	H	10.12	0.02	2.38	IR
70	UGC01756	021653.9+021212	42.44	0	N	10.18	0.34	1.81	IR
96	2MASXJ034559.4-123149	034559.4-123149	12.33	1	H	10.87	0.3:	1.99	IR
104	ESO420-013	041349.7-320025	47.25	0	H	9.32	0.3:	2.30	IR
105	UGC02997	041604.9+081049	21.78	1	N	8.53	0.41	-	IR
112	2MASXJ043342.0-333046	043342.0-333046	36.67	-1	H	10.73	0.3:	1.53	-
164	ESO088-004	071006.5-631544	27.90	1	H	9.29	0.3:	-	IR
169	CGCG309-028	071804.4+682034	38.30	0	H	10.51	-	1.03	-
220	6dF..	094208.4-233544	41.68	0	H	12.01	-0.30	-	-
221	SBS0945+594	094841.6+591539	31.68	0	N	11.05	-0.59	-	IR
231	UGC05467	100812.9+184225	37.92	1	H	9.99	0.64	3.00	IR
234	NGC3139	101005.2-114642	15.85	-2	H	10.46	0.3:	1.38	-
245	UGC05744	103504.8+463341	46.10	1	H	9.91	-	2.69	IR
256	CGCG364-019	110734.3+825114	25.70	0	H	11.14	-	2.47	-
264	2MASXJ114234.8-165210	114234.8-165210	30.49	-3	H	10.97	0.5:	1.12	-
303	CGCG102-075	135305.4+155040	41.36	1	N	10.67	0.5:	1.85	-
332	UGC09519	144621.1+342214	24.41	0	H	9.80	-	0.3:	IR
407	VII Zw744	174137.7+830759	29.04	-1	H	10.81	-	2.30	-
411	MRK1119	175236.9+374453	47.00	0	H	10.68	-	3.00	IR
420	NGC6762	190537.1+635603	43.90	1	N	10.01	-	1.02	-
435	2MASXJ201731.5+720726	201731.5+720726	36.88	-1	H	10.66	-	0.91	IR
450	CGCG471-002	211652.9+241215	43.34	0	H	10.11	0.5:	2.03	IR
455	2MASXJ213554.0-030853	213554.0-030853	42.10	-2	H	10.76	0.45:	2.19	IR
484	ESO469-006	225508.0-305520	41.47	0	H	11.21	0.5:	-	IR
505	UGCA441	233739.6+300746	22.74	1	H	10.92	-0.10	2.49	IR

дел $\log \text{SSFR}_{\text{lim}} = -9.4$ [yr^{-1}]. Из 260 галактик Маркаряна, расположенных в том же объеме, что и объекты LOG, у 230 известны FUV-потoki. По ним мы определили удельный темп звёздообразования и сопоставили его с интегральной светимостью L_K . (Детально эти данные мы приводим и обсуждаем в отдельной статье). Как видно из представленных на Рис. 8 данных, галактики

Маркаряна также располагаются ниже критического значения $\log \text{SSFR} = -9.4$. Это обстоятельство усиливает наше утверждение о том, что преобразование газа в звезды имеет физическое ограничение по темпу и безразмерный параметр $\text{dex}(P_{\text{lim}}) = T_0 \times \text{SSFR}_{\text{lim}} = 5.5$ является важной характеристикой этого процесса.

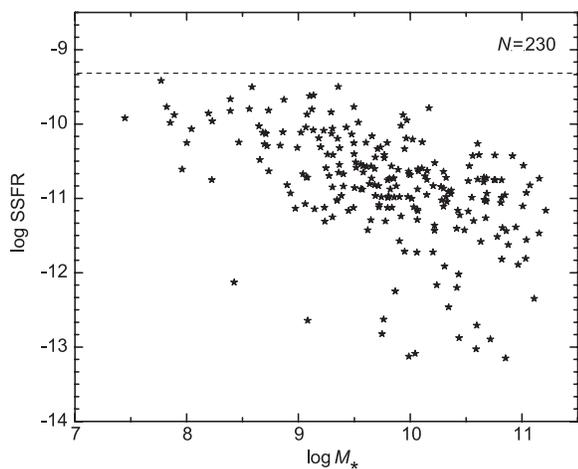


Рис. 8. Удельный темп звёздообразования и звездная масса для галактик Маркаряна в том же объеме Местной вселенной. Горизонтальная линия отмечает предел $\log \text{SSFR} = -9.4 [\text{yr}^{-1}]$.

7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В этой работе мы продолжили изучение наблюдательных свойств изолированных галактик, расположенных в ближней вселенной радиусом равным приблизительно 50 Мпк. Используя данные с орбитального телескопа GALEX об ультрафиолетовых FUV-потоках 389 галактик каталога LOG, мы определили для них интегральные темпы звёздообразования SFR. Согласно нашей оценке [7], обособленные галактики LOG располагаются в областях, где средняя локальная плотность материи примерно в 50 раз ниже глобальной космической плотности. В выборке LOG преобладают объекты самых поздних типов: Sm, Im, BCD, Ir, богатые газом. Превращение газа в звёзды у этих изолированных галактик происходит практически без влияния внешних факторов. Темпы звёздообразования у LOG-галактик мало отличаются от темпов звёздообразования у других (неизолированных) галактик тех же морфологических типов. При этом запасы газа у LOG-галактик несколько больше, чем у их неизолированных аналогов.

Удельный темп звёздообразования у галактик разной массы, морфологии и окружения имеет верхний предел $\log \text{SSFR}_{\text{lim}} = -9.4 [\text{yr}^{-1}]$, который является важной эмпирической характеристикой процесса переработки газа в звёзды. Насколько нам известно, наличие этого квазиэддингтоновского предела пока не получило прямого физического истолкования [24–27]. Хотя вполне очевидно, что жесткая обратная связь у этого процесса (выталкивание газа вспышками сверхновых и лучевым давлением при слишком бурном звёздообразовании) должна способствовать установлению верхнего предела для SSFR.

Около 5% объектов в LOG-каталоге классифицированы нами как эллиптические и линзовидные галактики (E, S0, S0/Sa). Сам факт наличия этой категории галактик среди особо изолированных выглядит проблемой, поскольку их происхождение подразумевает серию тесных сближений и слияний галактик. Фактически, немногочисленные представители изолированных E и S0-галактик отличаются от обычных E и S0-галактик в группах и скоплениях своей низкой светимостью и нередко противоречивым сочетанием гладкой формы, красного цвета и наличия эмиссионных линий в спектре. Если процессы аккреции теплого межзвёздного газа существенно влияют на рост размеров и массы галактик, то изолированные E, S0-объекты могут служить наиболее подходящими индикаторами для изучения этого процесса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-02-90407-Укр-ф-а, ГФФИ Украины Ф53.2/15 и РФФИ 12-02-91338-ННИО. В работе использованы базы данных NED (nedwww.ipac.caltech.edu), EDD (edd.ifa.hawaii.edu), HyperLEDA (leda.univ-lyon1.fr) и данные со спутника Galaxy Evolution Explorer (GALEX).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Fukugita and P. J. E. Peebles, *Astrophys. J.* **616**, 643 (2004).
2. A. Gil de Paz, B. F. Madore, and O. Pevunova, *Astrophys. J. Suppl.* **147**, 29 (2003).
3. A. Gil de Paz, S. Boissier, B. F. Madore, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **173**, 185 (2007).
4. D. I. Makarov and I. D. Karachentsev, *Astrophysical Bulletin* **64**, 24 (2009).
5. I. D. Karachentsev and D. I. Makarov, *Astrophysical Bulletin* **63**, 299 (2008).
6. D. I. Makarov and I. D. Karachentsev, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **412**, 2498 (2011).
7. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, V. E. Karachentseva, and O. V. Melnyk, *Astrophysical Bulletin* **66**, 1 (2011).
8. В. Е. Караченцева, *Сообщения CAO* **8**, 3 (1973).
9. J. C. Lee, A. Gil de Paz, R. C. Kennicutt, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **192**, 6 (2011).
10. D. J. Schlegel, D. P. Finkbeiner, and M. Davis, *Astrophys. J.* **500**, 525 (1998).
11. M. A. W. Verheijen, *Astrophys. J.* **563**, 694 (2001).
12. T. Jarrett, R. Chester, R. Cutri, et al., *Astronom. J.* **125**, 525 (2003).
13. I. D. Karachentsev and A. M. Kut'kin, *Astronomy Letters* **31**, 299 (2005).
14. E. F. Bell, D. H. McIntosh, N. Katz, and M. D. Weinberg, *Astrophys. J. Suppl.* **149**, 289 (2003).

15. J. Binney and M. Merrifield, *Galactic astronomy* (Princeton University Press, Princeton, 1998).
16. R. C. Kennicutt, *Annu. Rev. Astronom. Astrophys.* **36**, 189 (1998).
17. I. D. Karachentsev and E. I. Kaisina, *Astronom. J.* (2013) (in press).
18. I. D. Karachentsev and S. S. Kaisin, *Astronom. J.* **133**, 1883 (2007).
19. I. D. Karachentsev and S. S. Kaisin, *Astronom. J.* **140**, 1241 (2010).
20. A. V. Moiseev, I. D. Karachentsev, and S. S. Kaisin, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **403**, 1849 (2010).
21. M. S. del Rio, E. Brinks, and J. Cepa J., *Astronom. J.* **128**, 89 (2004).
22. D. A. Thilker, L. Bianchi, D. Schiminovich, et al., *Astrophys. J.* **714 L**, 171 (2010).
23. B. Beygu, K. Kreckel, and R. van de Weygaert, arXiv:1303.0538 (2013).
24. J. Brinchmann, S. Charlot, S. D. M. White, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **351**, 1151 (2004).
25. M. Hirschmann, G. De Lucia, A. Iovino, and O. Cucciati, arXiv:1302.3616 (2013).
26. A. Muzzin, D. Marchesini, M. Stefanon, et al., arXiv:1303.4409 (2013).
27. L. S. Pilyugin, M. A. Lara-Lopez, E. K. Grebel, et al., arXiv:1304.0191 (2013).

Star Formation in Nearby Isolated Galaxies

I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, O. V. Melnyk, H. M. Courtois

We use the FUV fluxes measured with the GALEX to study the star formation properties of galaxies collected in the “Local Orphan Galaxies” catalog (LOG). Among 517 LOG galaxies having radial velocities $V_{LG} < 3500$ km/s and Galactic latitudes $|b| > 15^\circ$, 428 objects have been detected in FUV. We briefly discuss some scaling relations between the specific star formation rate (SSFR) and stellar mass, HI-mass, morphology, and surface brightness of galaxies situated in extremely low density regions of the Local Supercluster. Our sample is populated with predominantly late-type, gas-rich objects with the median morphological type of Sdm. Only 5% of LOG galaxies are classified as early types: E, S0, S0/a, however, they systematically differ from normal E and S0 galaxies by lower luminosity and presence of gas and dust. We find that almost all galaxies in our sample have their SSFR below $0.4 \text{ [Gyr}^{-1}\text{]}$. This limit is also true even for a sample of 270 active star-burst Markarian galaxies situated in the same volume. The existence of such a quasi-Eddington limit for galaxies seems to be a key factor which characterizes the transformation of gas into stars at the current epoch.

Keywords: *galaxies: star formation*