

УДК 524.74; 524.7–85

ГАЛАКТИКИ РАННИХ ТИПОВ (E, S0) В КАТАЛОГЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГАЛАКТИК КИГ

© 2021 В. Е. Караченцева^{1*}, И. Д. Караченцев², О. В. Мельник¹¹Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Киев, 03143 Украина²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 19 октября 2020 года; после доработки 11 января 2021 года; принята к публикации 11 января 2021 года

Используя материал современных цифровых обзоров неба (PanSTARRS-1, SDSS) и привлекая данные обзоров неба в линии H I и в далеком ультрафиолете (GALEX), мы заново классифицировали 165 галактик ранних типов в Каталоге изолированных галактик. В результате число E- и S0-галактик сократилось до 91. Поиск спутников у КИГ-галактик ранних типов выявил у 45 галактик ранних типов 90 соседей с разностью лучевых скоростей $|dV| < 500 \text{ км с}^{-1}$ и проекционным линейным расстоянием $R_p < 750 \text{ кпк}$. Мы не обнаружили заметных различий в интегральной светимости и цвете галактик, связанных с наличием или отсутствием близких соседей. Для 26 систем «галактика КИГ-спутник» мы получили характерное отношение орбитальной массы к светимости: $M_{\odot}/L_K = (74 \pm 26)M_{\odot}/L_{\odot}$, что согласуется с оценками M_{orb}/L_K для изолированных галактик раннего типа в каталоге 2MIG ($63M_{\odot}/L_{\odot}$), а также со значениями M_{orb}/L_K для E-, S0-галактик в Местном объеме: 38 ± 22 (NGC 3115), 82 ± 26 (NGC 5128), 65 ± 20 (NGC 4594). Высокое отношение массы гало к звездной массе у E-, S0-галактик по сравнению со средним (20 ± 3) M_{\odot}/L_{\odot} для спиральных галактик без балджей указывает на существенное различие в динамической эволюции галактик ранних и поздних типов.

Ключевые слова: галактики: эллиптические и линзовидные—галактики: гало

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, галактики ранних типов (эллиптические и линзовидные) располагаются преимущественно в скоплениях галактик, в то время как спирали находятся на периферии скоплений либо в общем поле. Это хорошо известный эффект «морфология—плотность» (Dressler et al. 1980, Oemler 1974), который породил различные гипотезы о происхождении и дальнейшей эволюции галактик ранних типов. Предполагается, что в скоплениях галактик, где плотность материи достаточно велика, галактики ранних типов образовались в результате разных процессов, таких как выметание газа (ram-pressure), динамическое трение (dynamical friction), приливные эффекты (tidals), слияние (merging) и др. (Lacerna et al. 2016). Выделение и изучение свойств изолированных галактик ранних типов как объектов, расположенных в областях с низкой плотностью материи, где не предполагается влияние близких соседних галактик с примерно одинаковой светимостью (размерами), представляет особый интерес.

Выявление изолированных галактик как до определенной звездной величины либо углового диаметра, так и в объеме до некоторого расстояния выполняется многими авторами на доступном материале обзоров либо каталогов. Первый Каталог изолированных галактик, далее КИГ, опубликован Karachentseva (1973). В КИГ для выделения изолированных галактик из почти 30 000 галактик каталога Zwicky et al. (1968) с $m \leq 15.7$ и $\delta > -2^{\circ}30'$ был единообразно применен критерий изолированности ко всем галактикам фотографического обзора неба POSS-I. Критерий учитывает передний и дальний фон, а именно: изолированными считались галактики с угловым диаметром a_i , так что их «значимые» соседи с диаметрами $1/4a_i < a_j < 4a_i$ находились на проекционном расстоянии $R_{ij} \geq 20a_j$. Из 1050 галактик КИГ около 16% приходится на ранние типы (E, S0), остальная часть — это спирали, иррегулярные и галактики с неясным типом.

При типичных размерах галактики порядка 20 кпк галактика КИГ по условию отбора не должна иметь «значимых», т. е. влияющих на ее динамическую изолированность, соседей в объеме $2 \times 10^8 \text{ кпк}^3$ (Karachentseva 1980). Adams et al.

*E-mail: valkarach@gmail.com

(1980) показали, что галактики КИГ не должны были испытывать воздействия близких галактик в течение нескольких последних миллиардов лет, а значит, они были изолированными почти все время своего существования. Verley et al. (2007b; a) применили статистические критерии (значения локальной плотности и приливной силы) для оценки степени изолированности и показали, что эволюция галактик КИГ проходила под действием внутренних процессов (Adams et al. 1980, Verley et al. 2007b; a).

Adams et al. (1980) заново классифицировали 165 предполагаемых галактик E и S0 из КИГ: после изучения прямых изображений ранних типов (early type galaxies, ETGs) в КИГ в основном исходная классификация подтвердилась для 120 галактик. Stocke et al. (2004) подтвердили морфологию и детально исследовали 65 эллиптических и 37 S0 изолированных галактик КИГ, т.е., согласно их данным, в КИГ входит около 9.7% ETGs. Sulentic et al. (2006) использовали для новой визуальной классификации КИГ фотографический обзор неба POSS-II. Доля ранних типов среди галактик КИГ составила порядка 14%. Hernandez-Toledo et al. (2008) провели классификацию 579 галактик КИГ на материале SDSS DR6 с учетом системы CAS (Conselice 2003). Они получили долю галактик E+S0 существенно меньшую, чем Sulentic et al. (2006), а именно 8.5% (3.5+5%). Недавняя классификация 719 галактик КИГ описана в статье Buita et al. (2019); на ранние типы приходится 14% (5.3% E и 8.7% S0).

Большой систематический вклад в изучение свойств галактик каталога КИГ внесла группа, выполняющая проект AMIGA¹, (см. также Sulentic (2010)).

За время, прошедшее с момента публикации КИГ, появились новые обзоры неба: SDSS (York et al. 2020), 2MASS (Skrutskie et al. 2006), 2MXSC (Jarrett et al. 2000). Они были использованы при составлении новых каталогов и списков изолированных галактик: UNAM-KIAS (Hernandez-Toledo et al. 2010) на основе SDSS DR6; 2MIG (Karachentseva et al. 2010) — на инфракрасном обзоре 2MASS, охватывающем все небо; в объеме Местного сверхскопления — LOG (Karachentsev et al. 2011); (Argudo-Fernandez et al. 2015) — на основе SDSS DR10 (Ahn et al. 2014) и другие. Свойства изолированных галактик описаны, в частности, в работах Fernandez-Lorenzo et al. (2012; 2013), Lacerna et al. (2018; 2016).

Составляя каталоги и списки изолированных галактик, авторы так или иначе использовали

разные модификации критерия изолированности КИГ. При этом принимались различные значения для разности звездных величин возможных соседей и изолированной галактики dm , разности лучевых скоростей dV , а также их взаимного проекционного расстояния R_p . Эти характеристики меняются в достаточно широких пределах ($dm = 1-3$ mag, $dV = 300-1000$ км с⁻¹, $R_p = 250-1000$ кпк), см., например, Argudo-Fernandez et al. (2015), Hernandez-Toledo et al. (2010), Reda et al. (2004). Самый жесткий критерий для галактик, считавшихся изолированными, описан в статье Magnum et al. (2004): $|dV| = 350$ км с⁻¹, $R_p = 2500$ кпк, отсутствие ближайших спутников ярче $M_V = -16.5$. Этот критерий выявил всего девять галактик КИГ; авторы выполнили для них *BVR*-фотометрию, определили типы и даже, не зная лучевых скоростей соседних галактик, попытались определить спутники. Малое количество рассмотренных галактик не позволяет делать нам какие-либо сравнения.

Выявление изолированных галактик в новых каталогах сопровождается их морфологической классификацией. Отметим, что морфологическая классификация галактик до сих пор является во многом субъективной оценкой. Начатая работами Хаббла, де Вокулера—Сэндиджа, она продолжается в работах Buita et al. (2019) (см. цитируемую там литературу) и Graham (2019), где Грэхем приводит обширный обзор работ по классификации галактик. Мы вернемся к этому вопросу в разделе 2.

Если следовать классическому определению эллиптических галактик, их можно описать как гладкие, правильной формы, без пыли и газа и без деталей структуры в центре и «теле» галактики. Они имеют красный цвет и, как правило, абсорбционный спектр. Что касается линзовидных галактик, то еще Хаббл считал их интересными промежуточное положение между эллиптическими и спиральными галактиками.

В настоящей работе мы придерживаемся этих характеристик, тем более что имеющиеся наблюдательные данные позволяют достаточно определенно классифицировать эллиптические и линзовидные галактики каталога КИГ. Рассматривались только галактики ранних типов, обозначенные в КИГ как E и S0 (либо E-S0). В работах последних лет линзовидные галактики делят на два класса: 1 — чисто балджевые, 2 — с характеристиками диска: более голубой цвет, эмиссионные линии в спектре и т.д. (Fraser-McKelvie et al. (2018), Tous et al. (2020) и цитируемые там статьи). Свойства линзовидных галактик описаны также в обширном введении к статье Deeley et al. (2020). В нем на материале обзора SAMI (Green et al. 2018)

¹<http://www.iaa.es/AMIGA.html>

предлагаются две возможности формирования галактик S0: они либо ослабевшие (fading) спирали, либо образовались в результате галактических слияний (mergers). Результаты фотометрии 42 изолированных S0-галактик приведены Sil'chenko et al. (2020); авторы пишут о вероятной различной динамической истории S0-галактик в разном окружении. В работе мы использовали современные обзоры неба для новой классификации галактик ранних типов (ETG) каталога КИГ по двум причинам: 1) прежние классификации 1973 и 2006 гг. уже устарели и 2) упомянутые выше другие каталоги изолированных галактик были выполнены на существенно ином материале обзоров неба — 2MASX и SDSS. Мы ввели новую классификацию и разделили галактики КИГ на ETG без спутников и с незначимыми спутниками — последние были использованы для вычисления орбитальных масс систем «галактика—ETG-спутник».

Структура статьи следующая.

Раздел 2 — выявление и морфологическая классификация галактик ранних типов в КИГ, выполненная на материале обзора PanSTARRS-1.

Раздел 3 — результаты поиска спутников/соседей и описание их основных свойств.

Раздел 4 — сравнение свойств галактик ранних типов в КИГ, имеющих или не имеющих спутников/соседей.

Раздел 5 — определение орбитальных масс некоторых галактик КИГ по их ближайшим соседям.

В разделе 6 представлены заключительные замечания.

2. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК КИГ РАННИХ ТИПОВ

В своей работе мы исходили из того, что все 165 галактик, классифицированных в КИГ как E и S0, являются изолированными, и не накладывали никаких ограничений по их лучевой скорости, видимой величине и положению на небе. После исключения 74 спиральных галактик для оставшихся ETG-галактик мы использовали измеренные характеристики, которые приводятся в разных базах данных. Из HyperLEDA (Makarov et al. 2014) взяты полные видимые звездные величины b_t , галактическое и внутреннее поглощение A_G и A_i , ($A_i=0$ для галактик E и S0), звездная величина в линии 21 см m_{21} , абсолютная звездная B_t -величина m_{abs} . Из NED были взяты значения лучевых скоростей в системе центра Местной группы V_{LG} км с⁻¹,

определены разности лучевых скоростей и линейное расстояние «спутник—галактика КИГ». Расстояния и абсолютные характеристики галактик вычислялись по V_{LG} при значении постоянной Хаббла $H_0 = 73$ км с⁻¹ Мпк⁻¹. Цвета $g-r$ и $g-i$ определялись в обзоре SDSS в системе звездных величин, близкой к AB².

Звездная величина в дальнем ультрафиолете m_{FUV} была взята из обзора GALEX (Martin et al. 2005). Для оценки звездной массы E-, S0-галактик по K -светимости мы использовали (в разделе 5) непосредственно измеренные звездные величины K_s , взятые из базы данных NED. Для спутников различных морфологических типов их K -величина определялась по B -величине и морфологическому типу как

$$\langle B - K \rangle_{\text{сорт}} = 4.60 - 0.25 \times T,$$

поскольку K -величины поздних типов в 2MASS-обзоре сильно недооценены. Для всех галактик интегральный темп звездообразования SFR вычислялся по формуле (6) в статье Melnyk et al. (2017) с учетом поправок за поглощение света (формулы (2) и (5) в той же статье).

Наша классификация базируется на обзоре неба PanSTARRS-1 (PS-1) (Chambers et al. 2016). Оценка типа делалась в основном по форме галактики, но принималось во внимание и наличие линий H I 21 см, ярких эмиссионных спектральных линий, а также эмиссии в дальнем ультрафиолете (FUV) по данным обзора GALEX (Martin et al. 2005)

Результаты классификации представлены в таблице 1 (галактики КИГ, не имеющие спутников) и в таблице 2 (галактики со спутниками/соседями). Спутниками (satellites) мы считали галактики слабее «родительской» галактики КИГ более чем на 1 mag. У соседей (neighbors) видимые величины приблизительно соразмерны величинам галактик КИГ. В случае необходимости мы рассматриваем их (спутники и соседи) отдельно. Заметим, что единственная галактика КИГ 664 (S0 по нашей оценке) не имеет измеренной лучевой скорости, поэтому мы не смогли включить ее ни в таблицу 1, ни в таблицу 2.

Как правило, типичные эллиптические галактики, классифицированные нами по их форме, имеют абсорбционные спектры и не имеют эмиссий в оптическом и в FUV -диапазонах. Свойства линзовидных галактик описаны, в частности, во введении к статье Deeley et al. (2020).

²<http://classic.sdss.org/dr7/algorithms/fluxcal.html#sdss2ab>

Таблица 1. Галактики ранних типов в КИГ, не имеющие спутников. (1) — имя галактики, (2) — компактность по каталогу Цвикки и др.: compact — c, very compact — vc, extremely compact — ec, (3) — тип согласно HyperLEDA, (4) — тип, оцененный согласно PanSTARRS-1

KIG	Zwicky	Type (LEDA)	Type (PS-1)	KIG	Zwicky	Type (LEDA)	Type (PS-1)
(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)
14		S0	S0	636		S0	S0 pec
57		E-S0, S2	S0	670	vc	E-S0	S0
99		S0-a	S0	684		E	E
101		E-S0	E-S0	701		E?	S0 pec
110		E	E	763		E	S0
118		E-S0	E-S0	770	vc	E	E
127		E-S0	E	792	c	S0	E
136		E	E	816		S0	S0
174	c	S?	E	820		E-S0	S0
179	c	E-S0	S0	823	c	E?	E
256	ec	E-S0	E	824		E	S0
378		E-S0	E pec	826	c	E	E
387	c	E-S0	E	827	vc	E-S0	E
412	c	E	E	833	ec	E-S0	E
443		S0-a	S0	836	vc	E	E
452	c	E-S0	S0	845	c	E	S0
462	c	E-S0	S0 pec	865	c	E-S0	E
490	c	S0, ring	S0 pec	870		E-S0	E pec
521		S0	S0	877		E-S0	E pec
529		E	E-S0	894	c	E-S0	S0 pec
570		S0-a	S0 pec	896	c	E-S0	S0
574	vc	E	E	920		E-S0	S0
582	c	E	E-S0 pec	981	c	E	S0

Работа Ashley et al. (2019) содержит описание критерия отбора, а также оптических и HI-свойств тех галактик, которые авторы считали экстремально изолированными, IEG sample, $N = 25$. Эти галактики имеют абсолютные B -величины в интервале $[-14.2; -20.7]$ и $\langle B - V \rangle = 0.58$. Тот же критерий был использован при отборе экстремально изолированных галактик ранних типов (IEG) в обзоре SDSS (Fuse et al. (2012), см. там также классификацию). Авторы пишут о тщательном отборе, оставившем всего 33 галактики. Однако 14 из них — карликовые галактики, а галактики ярче -17^m все-таки слабее на 1–2 зв.вел., чем обычные галактики ранних типов. Мы проверили

E -галактики из таблицы 1 Fuse et al. (2012); они характеризуются яркими эмиссионными линиями в спектрах, типичными для BCD-галактик. Согласно принятому нами определению, они не являются классическими эллиптическими галактиками, хотя в среднем имеют круглую форму. Возможной причиной различий наших данных и выборки Fuse et al. (2012) мы можем назвать эффект селекции, характерный для обзоров, ограниченных видимой величиной (flux-limited). Поэтому при разной глубине выборок (наша до 200 Мпк, Fuse et al. (2012) — до 70 Мпк) выборка SDSS сдвинута к голубым галактикам, находящимся на малых красных смещениях.

Таблица 2. Галактики ранних типов в КИГ со спутниками/соседями. (1) — имя галактики, (2) — компактность по каталогу Цвикки и др.: compact — c, very compact — vc, extremely compact — ec, (3) — тип согласно HyperLEDA, (4) — тип, оцененный согласно PanSTARRS-1

Galaxy	Z _w	T (LEDA)	T (PS-1)
(1)	(2)	(3)	(4)
KIG 24		E	S0
neighb.1, CGCG 409-21		S0-a	S0
KIG 25		S0	S0
sat.1, UGC 287		Scd	Scd
KIG 79		E-S0	S0
neighb.1, CGCG 461-14		S0	S0
neighb.2, UGC 1485		Sc	Sc pec
neighb.3, CGCG 461-20		Sc	S pec
KIG 89		E	E
sat.1, KKH 8		Ir	Ir
KIG 111	c	E	E
sat.1, AGC 122418		G	Sm
KIG 161		Sa	S0
sat.1, PGC 138829		G	Scd
KIG 184		SABa	S0
neighb.1, CGCG 234-15		SABb	Sb
KIG 189		E	E
sat.1, PGC 2228154		G	Ir
sat.2, SDSS J072524.12+422559.1		S?	Im
KIG 228	c	E	E
sat.1, WISEA J080731.37+555342.1		G	BCD
KIG 233		E-S0	S0
sat.1, WISEA J081051.83+273404.2		G	BCD
neighb.1, AGC 183054		S?	Sd
KIG 245		E	E
sat.1, AGC 181571		Sm	Ir
sat.2, AGC 188871		G	Sc
KIG 264	c	S0-a	S0
sat.1, KUG 0832+305		S?	Scd
neighb.1, Mrk 390		Sc	Sb pec
KIG 303		S0	S0
sat.1, AGC 193009		E	S0 pec
sat.2, AGC 191082		SBc	Scd
sat.3, SDSS J090703.40+034905.7		SBc	Scd
KIG 380		E	E
sat.1, AGC 731423		S?	BCD
KIG 396		E-S0	E
sat.1, SDSS J100413.44+602214.1		Sd	Sd
sat.2, KUG 0958+599		Sd	BCD

Таблица 2. (Продолжение)

Galaxy	Zw	T (LEDA)	T (PS-1)
(1)	(2)	(3)	(4)
neighb.1, UGC 5408		E-S0	BCD
neighb.2, CGCG 289-27		E-S0	S0
KIG 413		S0-a	S0
sat.1, PGC 1188869		S0	S0
sat.2, AGC 204701		S?	Im
sat.3, AGC 204919		Scd	Sc
sat.4, AGC 204920		Sm	Sm
sat.5, PGC 1181655		E	BCD
neighb.1, AGC 201427		Sa	Sa pec
KIG 415	vc	E	S0
sat.1, AGC 203492		S?	Sc
KIG 425	c	E	E
sat.1, PGC 2628623		Sd	Sm
KIG 426	vc	E-S0	S0
sat.1, PC 1034+4938		emis.g.	BCD
sat.2, PGC 2336611		E	S0
sat.3, PGC 2346694		Sc	Spec
sat.4, PGC 2335306		E	E
KIG 437		E	E-S0
sat.1, MCG 9-18-17		E	S0
sat.2, WISEA J104402.83+523034.7		S?	Sc?
KIG 480		Sab	S0
sat.1, AGC 217484		Sm	Sdm
neighb.1, UGC 6437		Sbc	Sc
neighb.2, AGC 12238		SBbc	Sbc
KIG 513	vc	E	E
sat.1, AGC 719642		S?	Sm
neighb.1, AGC 719646		Sbc	Sbc
KIG 517	c	S0	S0
sat.1, WISEA J120240.67+261248.9		G	Sd
sat.2, WISEA J120344.73+260345.8		E	S0
KIG 557	c	E	E
sat.1, PGC 1162105		E	E
sat.2, PGC 1161248		S0	S0
sat.3, PGC 3298012		S?	Sbc
sat.4, PGC 1157914		S?	Sc
sat.5, PGC 3297967		G	Sbc
KIG 578	c	E	E
sat.1, WISEA J131629.64+200518.5		S?	BCD
sat.2, WISEA J131728.70+200130.2		G	S?

Таблица 2. (Продолжение)

Galaxy	Zw	T (LEDA)	T (PS-1)
(1)	(2)	(3)	(4)
KIG 595		E	E
sat.1, WISEA J133911.75+612916.0		E?	S0
sat.2, PGC 2619551		S?	S0
KIG 596		S0-a	S0 pec
sat.1, PGC 2625488		Sc	BCD
KIG 599		S0	S0 pec
sat.1, PGC 2097287		S?	Sdm
KIG 602		S?	S0
sat.1, PGC 1681951		G	Sc?
sat.2, PGC 1678559		Sbc	Sc
sat.3, PGC 1678503		Sb	S0
sat.4, KUG 1350+232		Sbc	Sbc
sat.5, WISEA J135409.10+230454.8		S?	Im
KIG 614		Sbc	S0
sat.1, WISEA J141057.79+215317.9		G	S0
neighb.1, PGC 1657978		S?	S0-a
KIG 623	vc	E	E
sat.1, WISEA J141823.99+193432.4		E	BCD
sat.2, WISEA J142021.46+202332.5		G	Sd
KIG 685	c	E	Epec
sat.1, WISEA J152927.49+565558.4		SBc	Sc
KIG 703	ec	E	E-S0
sat.1, WISEA J154723.56+221143.6		G	BCD
KIG 705	vc	E-S0	Epec
sat.1, WISEA J154720.49+370255.6		S?	Sm
KIG 722		E	E
sat.1, WISEA J160822.82+093957.4		E?	E-S0
KIG 732	c	E	E
sat.1, Mrk 498		G	BCD
KIG 768	vc	E-S0	S0 pec
sat.1, WISEA J164441.66+194636.9		Sbc	Sc
neighb.1, CGCG 110-4		Sc	Scd
KIG 771	c	E	E
sat.1, PGC 1678008		S?	E
sat.2, WISEA J164645.65+225147.1		E?	S0
sat.3, PGC 1678062		E	E
sat.4, WISEA J164709.15+225849.6		S?	Ir
sat.5, WISEA J164715.62+224940.9		G	E
sat.6, WISEA J164726.19+225519.5		S?	E
sat.7, PGC 1679574		S?	Sc

Таблица 2. (Продолжение)

Galaxy	Zw	T (LEDA)	T (PS-1)
(1)	(2)	(3)	(4)
sat.8, PGC 1676423		E	E-S0
KIG 898		E-S0	E
neighb.1, PGC 165874		G	S0-a
KIG 903		E	S0
sat.1, WISEA J211516.19+095346.8		S?	BCD
KIG 921	c	E-S0	merger?
neighb.1, RFGC 3770		Sc	Scd
KIG 1015	c	E	S0
neighb.1, NGC 7628		E	E pec
KIG 1025	ec	E-S0	S0 pec
sat.1, AGC 331187		IAB	Sm
KIG 1042	vc	E	E
sat.1, AGC 331919		G	Sc
sat.2, AGC 333425		G	Sd
KIG 1045		E	S0
sat.1, WISEA J235442.78+052254.1		S?	Sc pec

Изолированные галактики, обозначенные в каталоге Zwicky et al. (1968) как «compact», «very compact», «extremely compact», на изображениях обзора PS-1 выглядят, как обычные эллиптические и линзовидные галактики. Исключение составляют несколько галактик: KIG 256, KIG 705, KIG 732, KIG 770, KIG 826, KIG 833, которые и на PS-1 выглядят достаточно компактными. Понятно, что на обзоре POSS-I, выполненном примерно 60 лет назад, нельзя было разглядеть диффузную оболочку и тем более детали структуры далекой галактики. Наша новая классификация примерно вдвое уменьшила долю ранних типов (ETG) в КИГ: их всего 91/1050, т.е. 8.7%, что лучше всего согласуется с данными статьи Hernandez-Toledo et al. (2008). Количество E- и S0-галактик примерно равно, 40 (44%) и 44 (48%), а количество галактик E-S0 составляет 7 (8%). Причина уменьшения вдвое доли галактик ETG за счет отнесения около половины их к спиральям состоит в лучшем по сравнению с другими обзорами качестве цифровых CCD-снимков (большем динамическом диапазоне) и в более строгом отборе. Как показывают наши результаты, изолированные галактики ETG довольно многочисленны и представляют интересную выборку для детального изучения. Мы сравнили наши данные с морфологической классификацией, выполненной Рампаццо с соавторами на основе глубокой фотометрии (Ramprazo et al. 2020). В итоге мы исключили галактики KIG 481,

KIG 620, KIG 637, KIG 644, KIG 733 и KIG 841 из ETG-галактик, поскольку на PS-1 они уверенно классифицируются как спиральные. Остальные 14 галактик относятся к ранним типам. Детали можно проверить по таблицам 1 и 4 в работе Ramprazo et al. (2020), а также в наших таблицах 1 и 2. Различия в оценках типа требуют глубокой фотометрии для остальных изолированных ETG-галактик.

Оставшиеся галактики ранних типов в КИГ демонстрируют пекулярности морфологии примерно в 20% случаев. Эта пекулярность может быть вызвана как их внутренней эволюцией, так и недавним слиянием с более слабыми объектами.

Некоторые общие характеристики (средние значения и стандартные ошибки среднего) галактик ETG в КИГ приведены в таблице 3. Шесть верхних строк таблицы описывают характеристики собственно галактик ETG. Четыре нижние строки таблицы относятся к соседям и спутникам галактик КИГ.

Малая статистика не позволяет найти значимые различия между E- и S0-типами (две верхние строки таблицы 3). Просматривается вполне ожидаемая тенденция, что S0-галактики несколько более голубые, чем E.

Отметим очень пекулярную галактику KIG 889, которая не относится по нашей классификации к эллиптическому либо линзовидному типу, но интересна для детального изучения. Ее изображение из PanSTARRS-1 приводится на рис. 1. Размер

Таблица 3. Некоторые общие характеристики (средние значения и стандартные ошибки среднего) галактик ETG в КИГ

Type (PS-1)	N	$M_{K_b}^{\text{cor}}$	$\lg M^*$	$M_{\text{abs}}^{\text{LEDA}}$	N	$\lg(SFR)$	$\lg(sSFR)$	N	$\lg M_{\text{HI}}$	N	$g - r$	$g - i$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
E (all)	43	-24.15 ± 0.13	10.99 ± 0.05	-20.28 ± 0.14	33	-1.21 ± 0.09	-12.17 ± 0.07	4	9.78 ± 1.12	25	0.81 ± 0.01	1.21 ± 0.01
S0 (all)	48	-24.24 ± 0.11	11.02 ± 0.04	-20.38 ± 0.12	37	-1.19 ± 0.07	-12.25 ± 0.06	12	9.27 ± 0.16	36	0.75 ± 0.02	1.10 ± 0.05
E (no sat)	21	-24.08 ± 0.19	10.96 ± 0.08	-20.19 ± 0.21	18	-1.12 ± 0.11	-12.04 ± 0.12	2	9.33 ± 0.11	5	0.82 ± 0.02	1.22 ± 0.03
S0 (no sat)	25	-24.25 ± 0.15	11.03 ± 0.06	-20.38 ± 0.15	22	-1.17 ± 0.10	-12.21 ± 0.07	6	9.26 ± 0.18	16	0.73 ± 0.03	1.17 ± 0.10
E (sat)	22	-24.23 ± 0.18	11.02 ± 0.07	-20.36 ± 0.20	15	-1.32 ± 0.13	-12.32 ± 0.08	2	10.23 ± 3.10	20	0.80 ± 0.01	1.21 ± 0.02
S0 (sat)	23	-24.22 ± 0.16	11.02 ± 0.06	-20.38 ± 0.17	15	-1.22 ± 0.09	-12.31 ± 0.09	6	9.28 ± 0.25	20	0.76 ± 0.02	1.11 ± 0.04
$dm < 1$												
E	4	-22.68 ± 0.68	10.40 ± 0.27	-19.45 ± 0.51	3	-1.00 ± 0.46	-11.18 ± 0.49	2	9.56 ± 0.20	3	0.82 ± 0.14	1.16 ± 0.17
S0	16	-23.61 ± 0.17	10.77 ± 0.07	-20.17 ± 0.14	10	-0.54 ± 0.17	-11.32 ± -0.21	8	9.52 ± 0.13	14	0.59 ± 0.05	0.91 ± 0.07
$dm \geq 1$												
E	40	-20.64 ± 0.25	9.58 ± 0.10	-17.74 ± 0.20	23	-1.18 ± 0.11	-10.95 ± 0.14	10	9.17 ± 0.15	35	0.54 ± 0.04	0.80 ± 0.05
S0	30	-21.07 ± 0.30	9.76 ± 0.12	-18.19 ± 0.26	20	-1.05 ± 0.08	-10.66 ± 0.14	10	9.19 ± 0.07	26	0.50 ± 0.04	0.75 ± 0.06

В столбцах таблицы 3 представлены: (1) — статус галактик; (2) — количество галактик, относящееся к столбцам (3)–(5);

(3) — абсолютные скорректированные K -величины, вычисленные согласно схеме в работе Мельник и др. (2017);

(4) — логарифмы звездной массы (масса выражена в единицах массы Солнца); (5) — абсолютные скорректированные

B -величины, взятые из базы данных NupreLEDA; (6) — количество галактик, относящееся к столбцам (7) и (8);

(7) — логарифмы темпа звездообразования SFR (выражен в единицах $M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$); (8) — логарифмы удельного темпа

звздообразования $sSFR$ (выражен в единицах yr^{-1}); (9) — количество галактик, относящееся к столбцу (10);

(10) — логарифмы массы нейтрального водорода M_{HI} (выражена в единицах массы Солнца); (11) — количество галактик,

относящееся к столбцам (12) и (13); (12), (13) — цвета галактик из обзора SDSS.

поля $100'' \times 100''$. Север вверху, восток слева. Этот объект может быть галактикой с ярко выраженной структурой, хорошо известной как «X-shaped structure». Для 22 подобных объектов, видимых с ребра, Savchenko et al. (2017) выполнили детальную фотометрию. Сравнение результатов моделирования демонстрирует их качественное согласие с наблюдениями и поддерживает «bar-driven»-сценарий для формирования X-shaped-структур.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА СПУТНИКОВ/СОСЕДЕЙ И ОПИСАНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В пределах по модулю разности лучевых скоростей $|dV| = 500 \text{ км с}^{-1}$ и проекционному расстоянию $R_p = 750 \text{ кпк}$ между спутником и галактикой КИГ мы нашли в NED 112 спутников у 47 изолированных галактик. Две галактики, KIG 555 и KIG 556, имеют лучевые скорости порядка 1000 км с^{-1} (с числом спутников 4 и 18 соответственно); их мы исключаем из рассмотрения, поскольку они находятся на периферии скопления Virgo.

Всего на 46+45 изолированных галактик приходится 90 спутников/соседей, т.е. на одну изолированную приходится примерно 1 спутник. Это число приблизительно в три раза меньше, чем получили Madore et al. (2004) для изолированных E-галактик с $V \leq 2000 \text{ км с}^{-1}$. Из-за наблюдательной селекции (Nabas et al. 2020) в более близком объеме отношение числа спутников к числу изолированных галактик возрастает. Argudo-Fernandez et al. (2014) рассмотрели 386 изолированных КИГ-галактик без разделения на ранние и поздние типы. Из них 340 (88%) не имеют физически связанных спутников. Оставшиеся 46 галактик имеют от одного до трех спутников. Мы сравнили данные наших таблиц 1 и 2 с таблицей 1 в работе Argudo-Fernandez et al. (2014) и получили, что общих ETG-галактик без спутников всего 12, а общих ETG-галактик, имеющих спутники, 27. Из них 11/12 (92%) содержатся в нашей таблице 1 и 13/27 (48%) — в таблице 2. Учитывая разные подходы к выявлению спутников, можно считать результаты сравнения неплохими.

Распределение числа изолированных галактик ранних типов $N_{\text{КИГ}}$ в зависимости от числа спутников дано на рис. 2.

Как следует из таблицы 2, спутники и соседи изолированных галактик имеют оценки морфологических типов в диапазоне от эллиптических до иррегулярных. Их процентное распределение по типам резко различается в пользу более поздних (и более эмиссионных) среди спутников, чем среди соседей, а именно:

- спутники: E/S0 — 29%; S0a/Sc — 23%; Scd/Sdm — 14%; Sm/Ir — 17%; BCD — 17%;
- соседи: E/S0 — 20%; S0a/Sc — 55%; Scd/Sdm — 20%; Sm/Ir — 0%; BCD — 5%.

В четырех нижних строках таблицы 3 приводятся средние значения характеристик и стандартные ошибки среднего для спутников (две нижние строки) и соседей изолированных галактик. Не везде малые объемы выборок позволяют сделать определенные выводы, однако прослеживаются такие тенденции: соседи существенно ярче и массивнее, чем спутники, и характеризуются большей массой газа (что ясно из правил их разделения). Спутники же имеют несколько более высокий удельный темп звездообразования, и они в среднем более голубые, чем соседи.

На рис. 3 представлено распределение по модулю разности лучевых скоростей и проекционному расстоянию между спутниками и галактиками КИГ $|dV|$, км с^{-1} , и R_p , кпк. На врезке разными символами обозначены спутники и соседи изолированных галактик.

Соседи в среднем располагаются дальше, чем спутники. Можно предполагать, что галактики-соседи не являются гравитационно связанными с галактиками КИГ, а все они относятся к общей структуре типа космического волокна.

Удельный темп звездообразования в зависимости от звездной массы представлен на рис. 4 отдельно для спутников, соседей, а также для изолированных галактик. Около 40% КИГ-галактик имеют только верхний предел FUV -потока. Результаты вычислений величин $\lg(sSFR)$ для них на рисунке не выделены. Массы галактик определялись по их K -светимости в предположении, что $M^*/L_K = 1M_\odot/L_\odot$ (Bell et al. 2003).

Как следовало ожидать, галактики ранних типов в КИГ имеют подавленное (quenched) звездообразование, примерно такое же, как мы получили для изолированных галактик ранних типов в каталоге 2MIG (см. Melnyk et al. (2015), Table 1). Галактики-спутники показывают медленное ослабление темпа звездообразования с увеличением звездной массы, а галактики-соседи, имеющие звездные величины, примерно равные величинам «родительских» галактик, занимают в распределении на рис. 4 промежуточное место (см. также таблицу 3).

4. СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЛАКТИК РАННИХ ТИПОВ В КИГ, ИМЕЮЩИХ И НЕ ИМЕЮЩИХ СПУТНИКОВ/СОСЕДЕЙ

На рис. 5 представлены распределения изолированных галактик ранних типов по лучевой скорости V_{LG} : (а) галактики, не имеющие спутников;

Таблица 4. Характеристики галактик КИГ и их ближайших спутников для определения орбитальных масс изолированных галактик

KIG	M_K	dM_{12} , mag	dV , км с ⁻¹	R_p , кpc
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
228	-24.21	3.0	271	163
264	-24.07	1.7	-110	307
303	-24.23	3.1	46	194
303	-24.23	1.9	130	306
396	-22.60	3.8	44	217
413	-23.17	1.2	39	289
413	-23.17	2.5	278	306
437	-24.62	2.4	102	178
480	-23.21	3.4	128	208
517	-24.16	3.1	62	140
557	-25.05	2.3	-198	215
557	-25.05	1.7	-72	222
557	-25.05	3.7	237	261
578	-24.31	3.1	7	161
595	-24.94	1.9	-174	43
595	-24.94	3.1	-385	56
596	-23.82	1.2	118	209
602	-25.04	2.7	-136	322
703	-23.09	2.6	40	191
722	-25.42	3.8	122	186
768	-23.40	1.9	-2	302
771	-24.54	2.8	-247	13
771	-24.54	2.8	218	118
771	-24.54	2.0	47	261
771	-24.54	2.7	-261	288
1042	-24.52	1.3	-420	261
Mean	-24.25 ± 0.14	2.53 ± 0.15	-5 ± 30	208 ± 17

(b) галактики, у которых спутники/соседи имеют $|dV| < 500$ км с⁻¹ и проекционное расстояние $R_p < 750$ кпк относительно «родительской» галактики. Близкие значения средних лучевых скоростей (8580 ± 560 км с⁻¹ и 8184 ± 570 км с⁻¹) для

распределений (a) и (b) соответственно означают, что оба подкласса галактик КИГ в пределах ошибок среднего занимают примерно одинаковые объемы, причем галактики без спутников оказываются в среднем несколько дальше из-за един-

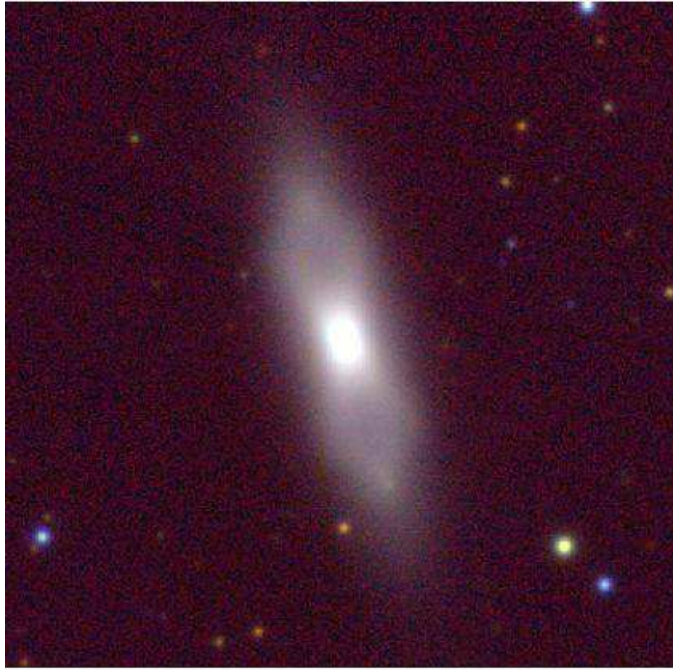


Рис. 1. Пекулярная галактика KIG 889 = NGC 6969, форма которой напоминает пропеллер. Изображение взято из PanSTARR-1. Размер поля $100'' \times 100''$. Север сверху, восток слева.

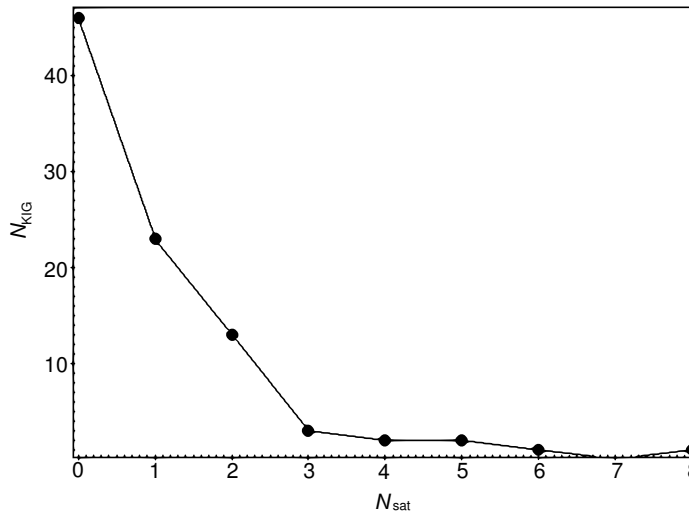


Рис. 2. Число изолированных ETG-галактик N_{KIG} в зависимости от числа спутников/соседей N_{sat} .

ственной галактики KIG 701 с $V_{\text{LG}} = 24227 \text{ км с}^{-1}$. Отметим, что изолированные галактики ранних типов имеют существенно большую среднюю лучевую скорость, чем все галактики КИГ, у которых $\langle V_{\text{LG}} \rangle = 6624 \text{ км с}^{-1}$, согласно Verley et al. (2007a).

Как следует из данных таблицы 3 (строки 3–6), в пределах ошибок средние значения абсолютных величин, удельных темпов звездообразования, водородной массы и цветов у изолированных галактик E- и S0-типов не отличаются.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ МАСС ETG-ГАЛАКТИК КИГ ПО ИХ СПУТНИКАМ

После чистки выборки изолированных галактик по типам, а также исключения двух галактик в окрестности скопления Virgo с $V_{\text{LG}} \sim 1000 \text{ км с}^{-1}$, имеется всего 90 спутников/соседей с модулем разности лучевых скоростей «спутник–галактика КИГ» $|dV| < 500 \text{ км с}^{-1}$ и взаимным проекционным расстоянием $R_p < 750 \text{ кпк}$. Их распределение по $|dV|$ и R_p приведено на рис. 3. Как видим,

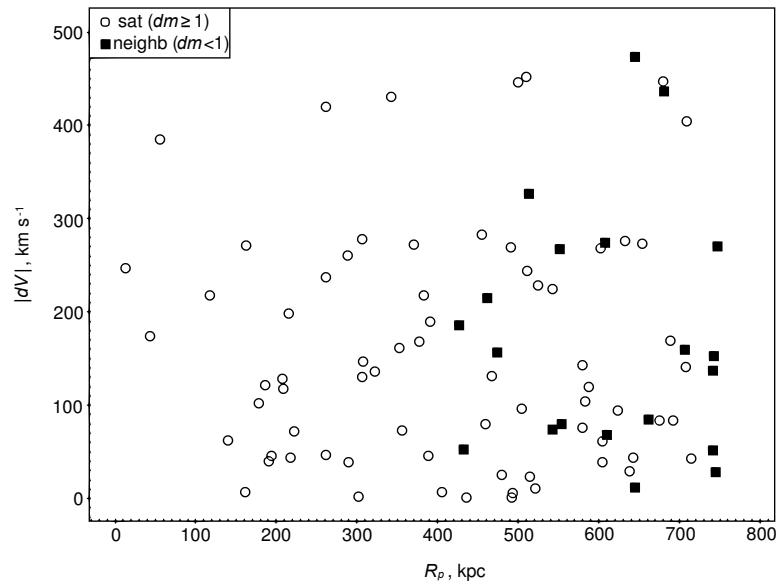


Рис. 3. Распределение по модулю разности лучевых скоростей $|dV|$, km s^{-1} , и взаимному проекционному расстоянию R_p , кпк, между спутниками и галактиками КИГ. Обозначения галактик даны на врезке.

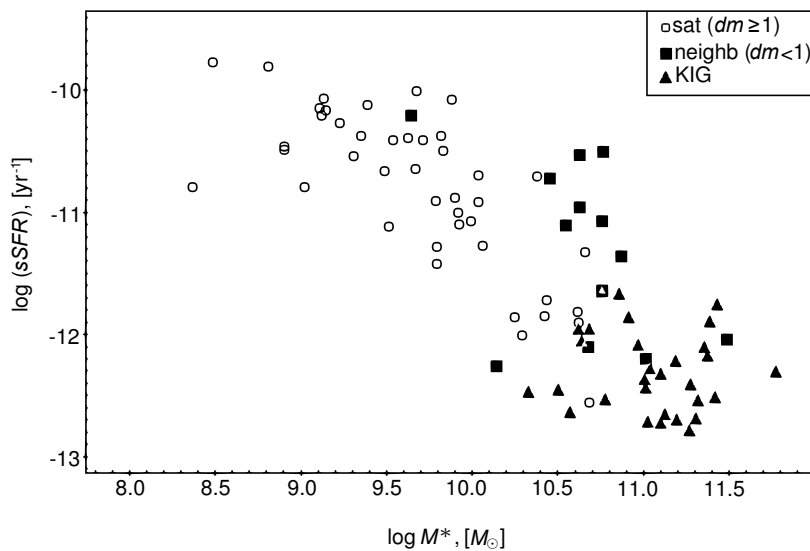


Рис. 4. Зависимость удельного темпа звездообразования $sSFR$, $[\text{yr}^{-1}]$, от звездной массы M^* , $[M_\odot]$. Обозначения галактик даны на врезке.

при $R_p > 400$ кпк появляются соседи, сравнимые по яркости с галактиками КИГ. Такие случаи малопригодны для оценки орбитальной массы. С другой стороны, для нашей Галактики и галактики M31 с их K -светимостями $L_K \sim 5 \times 10^{10} L_\odot$ проекционный вириальный радиус гало составляет около 250 кпк (Tully 2015). Средняя светимость ETG-галактики со спутниками из таблицы 2 равна $L_K \sim 1.0 \times 10^{11} L_\odot$, т.е. в два раза больше. Поскольку масса гало пропорциональна вириальному радиусу в кубе, то для типичной ETG-галактики

КИГ вириальный радиус может достигать примерно 330 кпк. Поэтому далее мы рассматриваем только те КИГ-галактики со спутниками, для которых $R_p < 330$ кпк; всего таких случаев 26. Результаты отбора даны в таблице 4. В ее колонках представлены: (1) — номер галактики в каталоге КИГ, (2) — абсолютная скорректированная K_s -величина из NED, (3) — разность абсолютных K -величин между спутником и галактикой КИГ, (4) — разность лучевых скоростей между спутником и галактикой КИГ в km s^{-1} , (5) — взаимное

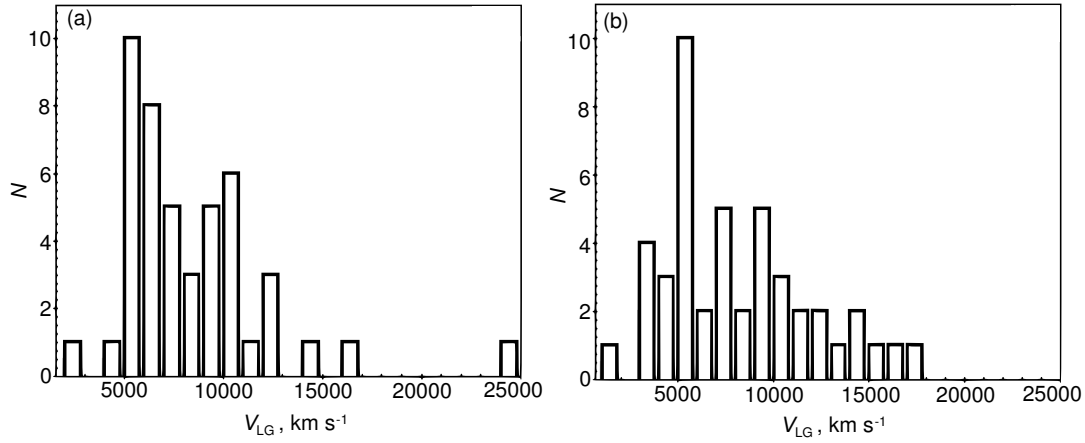


Рис. 5. Распределение изолированных галактик ранних типов по лучевой скорости V_{LG} , km s^{-1} ; (a) — галактики, не имеющие спутников, (b) — галактики, у которых спутники имеют $|dV| < 500 \text{ km s}^{-1}$ и проекционное расстояние $R_p < 750$ кпк относительно «родительской» галактики.

проекционное расстояние R_p в кпк. В последней строке показаны средние значения характеристик и их стандартные погрешности.

Данные таблицы 4 позволяют сделать следующие выводы:

- «типичный» спутник слабее галактики КИГ в десять раз, т.е. для этих связанных систем оправдан кеплеровский подход при определении массы доминирующей центральной галактики по движениям мелких спутников;
- средняя разность лучевых скоростей спутников близка к нулю, $\langle dV \rangle = -5 \pm 30 \text{ km s}^{-1}$, что подтверждает их физическую связь с КИГ-галактиками;
- при $\langle M_K \rangle = -24.25 \pm 0.14$ ETG-галактика КИГ имеет светимость $\lg(L_K) = 11.01 \pm 0.06$, или $L_K = (1.03 \pm 0.15) \times 10^{11} L_\odot$, что в два раза больше светимости Млечного Пути.

В предположении случайной ориентации орбит спутников со средним эксцентриситетом орбиты $\langle e \rangle = 0.7$ (Varber et al. 2014) масса центрального объекта выражается как $M_{\text{orb}} = (16/\pi G) \langle dV^2 R_p \rangle$, где G — гравитационная постоянная. По 26 спутникам, приведенным в таблице 4, мы получаем оценку орбитальной массы

$$M_{\text{orb}} = (7.56 \pm 2.36) \times 10^{12} M_\odot,$$

или же отношение массы гало к средней K -светимости E-, S0-галактик КИГ

$$M_{\text{orb}}/L_K = 74 \pm 26.$$

Это отношение оказывается близким к значениям M_{orb}/L_K для массивных ETG-галактик Местного объема: NGC 3115, NGC 5128 и NGC 4594

соответственно 38 ± 22 , 82 ± 26 и 65 ± 20 в солнечных единицах (Karachentsev and Kudrya 2014, Karachentsev et al. 2020). Вместе с тем у спиральных галактик без видимых балджей среднее отношение орбитальной массы к K -светимости составляет всего $(20 \pm 3) M_\odot/L_\odot$ (Karachentsev and Karachentseva 2019).

Рассматривая скорости и проекционные расстояния карликовых спутников вокруг 2MIG-галактик, Karachentseva et al. (2011) получили, что движения 60 спутников вокруг E-, S0-галактик дают медианное значение $M_{\text{orb}}/L_K = 63$, тогда как данные для 154 спутников вокруг спиральных галактик приводят к медианному значению $M_{\text{orb}}/L_K = 17$. Указанное различие в соотношении темной и светлой материи примерно в три раза является одним из свидетельств того, что динамическая эволюция галактик ранних и поздних типов происходила по существенно разным сценариям.

6. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Изолированные галактики ранних типов (E, S0) и галактики тех же типов в группах и скоплениях могут иметь разную динамическую историю и строение. Для выявления различий нужна эталонная выборка эллиптических и линзовидных галактик. В этом качестве мы используем Каталог изолированных галактик (КИГ, (Karachentseva 1973)). Он насчитывает 1050 объектов, что составляет примерно 4% от общего числа галактик на северной полусфере с видимыми величинами $m_B \leq 15.7 \text{ mag}$. Среди них только 165 галактик были отнесены к типам E и S0. Следовательно, изолированные галактики ранних типов представляют собой довольно редкую (0.6%) категорию галактик в каталоге

Zwicky et al. (1968). Их малое количество согласуется с идеей формирования E-, S0-галактик при слиянии или тесном взаимодействии соседей.

Используя материал современных цифровых обзоров неба (PanSTARRS-1, SDSS) и привлекая данные обзоров неба в линии H I и в далеком ультрафиолете (GALEX), мы заново классифицировали 165 галактик ранних типов в КИГ. В результате число E- и S0-галактик сократилось до 91. Классификация этих галактик, сделанная нами и другими авторами, представлена в таблицах 1 и 2. Около 20% галактик этой выборки показывают различные признаки пекулярности (аномальную структуру, наличие эмиссии в оптических линиях, H I- или FUV-потоки).

В среднем линзовидные и эллиптические галактики имеют высокую светимость в K-полосе:

$$\langle \lg L_{K(S0)} \rangle = 11.02 \pm 0.04$$

и

$$\langle \lg L_{K(E)} \rangle = 10.99 \pm 0.05$$

в солнечных единицах. При этом S0-галактики выглядят несколько более голубыми:

$$\langle g - r \rangle = 0.75 \pm 0.02, \quad \langle g - i \rangle = 1.10 \pm 0.05$$

по сравнению с E-галактиками, у которых

$$\langle g - r \rangle = 0.81 \pm 0.01, \quad \langle g - i \rangle = 1.21 \pm 0.01.$$

Предпринятый нами поиск спутников у КИГ-галактик ранних типов выявил 90 соседей с разностью лучевых скоростей $|dV| < 500 \text{ км с}^{-1}$ и проекционным линейным расстоянием $R_p < 750 \text{ кпк}$. При этом у половины КИГ-галактик отсутствуют соседи с такими характеристиками.

Мы не обнаружили заметных различий в интегральной светимости и цвете галактик, связанных с наличием или отсутствием близких соседей.

Будучи в два раза ярче, чем Млечный Путь или M 31, средняя КИГ-галактика раннего типа имеет характерный вириальный радиус около 330 кпк. В пределах этого радиуса находится 26 спутников, средняя светимость которых на порядок меньше, чем у КИГ-галактик. Наличие таких мелких спутников не противоречит критерию изолированности, принятому в КИГ.

В предположении случайной ориентации орбит 26 спутников со средним эксцентриситетом $\langle e \rangle = 0.7$ средняя орбитальная масса E-, S0-галактик КИГ определена нами как

$$M_{\text{orb}}/L_K = (7.56 \pm 2.36) \times 10^{12} M_{\odot}/L_{\odot}.$$

Характерное отношение орбитальной массы к светимости у изолированных E-, S0-галактик

$$M_{\text{orb}}/L_K = (74 \pm 26) M_{\odot}/L_{\odot}$$

согласуется с оценками M_{orb}/L_K для изолированных галактик раннего типа в каталоге 2MIG ($63 M_{\odot}/L_{\odot}$), а также со значениями M_{orb}/L_K для E-, S0-галактик в Местном объеме: 38 ± 22 (NGC 3115), 82 ± 26 (NGC 5128), 65 ± 20 (NGC 4594) в солнечных единицах.

Высокое отношение массы гало к звездной массе у E-, S0-галактик по сравнению со средним $(20 \pm 3) M_{\odot}/L_{\odot}$ для спиральных галактик без балджей указывает на существенное различие в динамической эволюции галактик ранних и поздних типов.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе были использованы обзоры неба PanSTARRS1, SDSS, 2MASS, GALEX, а также базы данных HyperLEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr>) и NED (<http://ned.ipac.caltech.edu/>).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа частично поддержана программой НАН Украины (CPCEL 6541230). ИДК благодарит РНФ за финансовую поддержку грантом 19-12-00145.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. T. Adams, E. B. Jensen, and J. T. Stocke, *Astron. J.* **85**, 1010 (1980).
2. C. P. Ahn, R. Alexandroff, C. Allende Prieto, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211**, 17 (2014).
3. M. Argudo-Fernandez, S. Verley, G. Bergond, et al., *Astron. and Astrophys.* **564**, id. A94 (2014).
4. M. Argudo-Fernandez, S. Verley, G. Bergond, et al., *Astron. and Astrophys.* **578**, id. A110 (2015).
5. T. Ashley, P. M. Marcum, M. Alpaslan, et al., *Astron. J.* **157**, id. 158 (2019).
6. C. Barber, E. Starkenburg, J. F. Navarro, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **437**, 953 (2014).
7. R. A. Bartaya, K. B. Chargeishvili, E. L. Chentsov, and Z. U. Shkhagosheva, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **38**, 103 (1994).
8. E. F. Bell, D. H. McIntosh, N. Katz, and M. D. Weinberg, *Astrophys. J. Suppl.* **149**, 289 (2003).
9. R. J. Buta, L. Verdes-Montenegro, A. Damas-Segovia, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **488**, 2175 (2019).
10. K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe, et al., arXiv:1612.05560 (2016).

11. C. J. Conselice, *Astrophys. J. Suppl.* **147**, 1 (2003).
12. S. Deeley, M. J. Drinkwater, S. M. Sweet, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **498**, 2372, (2020).
13. A. Dressler, *Astrophys. J.* **236**, 351 (1980).
14. M. Fernandez-Lorenzo, J. W. Sulentic, L. Verdes-Montenegro, et al., *Astron. and Astrophys.* **540**, id. A47 (2012).
15. M. Fernandez-Lorenzo, J. W. Sulentic, L. Verdes-Montenegro, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **434**, 325 (2013).
16. A. Fraser-McKelvie, A. Aragon-Salamanca, M. Merrifield, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **481**, 5580 (2018).
17. C. Fuse, P. Marcum, and M. Fanelli, *Astron. J.* **144**, 57 (2012).
18. A. W. Graham, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **487**, 4995 (2019).
19. A. W. Green, S. M. Croom, N. Scott, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **475**, 716 (2018).
20. R. Habas, F. R. Marleau, P.-A. Duc, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **491**, 1901 (2020).
21. H. M. Hernandez-Toledo, J. A. Vazquez-Mata, L. A. Martinez-Vazquez, et al., *Astron. J.* **136**, 2115 (2008).
22. H. M. Hernandez-Toledo, J. A. Vazquez-Mata, L. A. Martinez-Vazquez, et al., *Astron. J.* **139**, 2525 (2010).
23. T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri, et al., *Astron. J.* **119**, 2498 (2000).
24. I. D. Karachentsev and V. E. Karachentseva, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **486**, 3697 (2019).
25. I. D. Karachentsev and Yu. N. Kudrya, *Astron. J.* **148**, 50 (2014).
26. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, V. E. Karachentseva, and O. V. Melnyk, *Astrophysical Bulletin* **66**, 1 (2011).
27. I. D. Karachentsev, L. N. Makarova, R. B. Tully, et al., *Astron. and Astrophys.* **643**, id. A124 (2020).
28. V. E. Karachentseva, *Soobschenija Spec. Astrophys. Obs.* **8**, 3 (1973).
29. V. E. Karachentseva, *Astron. Zh.* **57**, 1153 (1980).
30. V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev, and O. V. Melnyk, *Astrophysical Bulletin* **66**, 389 (2011).
31. V. E. Karachentseva, S. N. Mitronova, O. V. Melnyk, and I. D. Karachentsev *Astrophysical Bulletin* **65**, 1 (2010).
32. I. Lacerna, M. Argudo-Fernandez, and S. Duarte Puertas, *Astron. and Astrophys.* **620**, id. A117 (2018).
33. I. Lacerna, H. Hernandez-Toledo, V. Avila-Reese, et al., *Astron. and Astrophys.* **588**, id. A79 (2016).
34. B. F. Madore, W. L. Freedman, and G. D. Bothun, *Astrophys. J.* **607**, 810 (2004).
35. D. Makarov, P. Prugniel, N. Terehova, et al., *Astron. and Astrophys.* **570**, id. A13 (2014).
36. P. M. Marcum, C. E. Aars, and M. N. Fanelli, *Astron. J.* **127**, 3213 (2004).
37. D. C. Martin, J. Fanson, D. Schiminovich, et al., *Astrophys. J.* **619**, L1 (2005).
38. O. V. Melnyk, I. D. Karachentsev, and V. E. Karachentseva, *Astrophysical Bulletin* **72**, 1 (2017).
39. O. Melnyk, V. Karachentseva, and I. Karachentsev, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **451**, 1482 (2015).
40. A. Oemler, *Astrophys. J.* **194**, 1 (1974).
41. R. Rampazzo, A. Omizzolo, M. Uslenghi, et al., *Astron. and Astrophys.* **640**, id. A38 (2020).
42. F. M. Reda, D. A. Forbes, M. A. Beasley, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **354**, 851 (2004).
43. S. S. Savchenko, N. Ya. Sotnikova, A. V. Mosenkov, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **471**, 3261 (2017).
44. O. K. Sil'chenko, A. Yu. Kniazev, and E. M. Chudakova, *Astron. J.* **160**, id. 95 (2020).
45. M. F. Skrutskie, M. F. Cutri, R. Stiening, et al., *Astron. J.* **131**, 1163 (2006).
46. J. T. Stocke, B. A. Keeney, A. D. Lewis, et al., *Astron. J.* **127**, 1336 (2004).
47. J. Sulentic, *ASP Conf. Ser.* **421**, 3 (2010).
48. J. W. Sulentic, L. Verdes-Montenegro, G. Bergond, et al., *Astron. and Astrophys.* **449**, 937 (2006).
49. J. L. Tous, J. M. Solanes, and J. D. Perea, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **495**, 4135 (2020).
50. R. B. Tully, *Astron. J.* **149**, 54 (2015).
51. S. Verley, S. Leon, L. Verdes-Montenegro, et al., *Astron. and Astrophys.* **472**, 121 (2007b).
52. S. Verley, S. C. Odewahn, L. Verdes-Montenegro, et al., *Astron. and Astrophys.* **470**, 505 (2007a).
53. D. G. York, J. Adelman, J. E. Anderson, et al., *Astron. J.* **120**, 1579 (2000).
54. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, et al., *Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies*, Vols. I–VI (California Institute of Technology, Pasadena, 1961–1968).

Early-Type (E, S0) Galaxies in the Catalog of Isolated Galaxies (KIG)

V. E. Karachentseva¹, I. D. Karachentsev², and O. V. Melnyk¹

¹Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences, Kyiv, 03143 Ukraine

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

We use the data of modern digital sky surveys (PanSTARRS-1, SDSS) combined with HI-line and far ultraviolet (GALEX) surveys to reclassify 165 early-type galaxies from the Catalog of Isolated Galaxies (KIG). As a result, the number of E- and S0-type galaxies reduced to 91. Our search for companions of early-type KIG galaxies revealed 90 companions around 45 host galaxies with line-of-sight velocity differences $|dV| < 500 \text{ km s}^{-1}$ and linear projected separations $R_p < 750 \text{ kpc}$. We found no appreciable differences in either integrated luminosity or color of galaxies associated with the presence or absence of close neighbors. We found a characteristic orbital mass-to-luminosity ratio for 26 systems M_{orb}/L_K to be $M_{\odot}/L_K = (74 \pm 26)M_{\odot}/L_{\odot}$, which is consistent with the M_{orb}/L_K estimates for early-type isolated galaxies in the 2MIG catalog ($63M_{\odot}/L_{\odot}$), and also with the M_{orb}/L_K estimates for E- and S0-type galaxies in the Local Volume: 38 ± 22 (NGC 3115), 82 ± 26 (NGC 5128), 65 ± 20 (NGC 4594). The high halo-to-stellar mass ratio for E- and S0-type galaxies compared to the average $(20 \pm 3)M_{\odot}/L_{\odot}$ ratio for bulgeless spiral galaxies is indicative of a significant difference between the dynamic evolution of early- and later-type galaxies.

Keywords: *galaxies: elliptical and lenticular—galaxies: haloes*