

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

АВГУСТ, 1980

ВЫПУСК 3

УДК 523.855

ИНДУЦИРОВАННОЕ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И ЦВЕТА ДВОЙНЫХ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК

М. А. СМИРНОВ, Б. В. КОМБЕРГ

Поступила 4 мая 1979

Пересмотрена 1 октября 1979

Проводится сравнение положений на двухцветной диаграмме цветов 208 галактик в парах и группах с цветами одиночных галактик тех же морфологических типов. Наблюдаемое различие в цветах у галактик пар и групп можно объяснить, предполагая, что у одних из них происходит ослабление темпа звездообразования, а у других — усиление. Последнее наиболее заметно в E, S0 и Iг II галактиках, если их компаньонами являются более яркие спирали. Обращается внимание на связь между относительным обилием газа в галактиках, темпом звездообразования в них и степенью активности их ядер. Особенно эта связь заметна в тех галактиках ранних морфологических типов (E, S0, Sa) и в системах типа Iг II, в которых относительное обилие газовой компоненты заметно выше по сравнению с нормальным. Отмечается, что такие галактики, а также галактики с ультрафиолетовым избытком, сейфертоподобные объекты, галактики с эмиссионными линиями и квазары, избегая областей, занятых богатыми скоплениями, часто входят в состав пар и групп.

1. В последние годы все большее значение приобретает исследование разных форм взаимодействия галактик с окружающей средой. Выясняется, что без рассмотрения этой проблемы невозможно получить правильное представление об интенсивности звездообразования, его особенностях в той или иной системе, о степени активности ядер галактик, о количестве и распределении газа в них. Все эти аспекты тесно связаны между собой и, в свою очередь, зависят как от наличия и емкости резервуара, снабжающего систему газом, так и от «пропускной способности» каналов его доставки. Это особенно остро проявляется в галактиках раннего типа и, в частности, в E и S0 системах. Наблюдения в линии 21 см показали, что в большинстве E и S0 галактик доля нейтрального водорода по отно-

шению к полной массе (или светимости) мала, $M_{\text{HI}}/M_{\text{tot}} < 10^{-4}$ ($M_{\text{HI}}/L_* < 10^{-2}$) [1, 2]. (В ряде работ, например, [3], обсуждались возможные причины такого малого содержания газа в галактиках раннего морфологического типа). Однако обнаружены E-системы, в которых доля HI существенно выше, чем обычно: $M_{\text{HI}}/M_{\text{tot}} > 10^{-3}$ ($M_{\text{HI}}/L_* > 10^{-2}$) [4]. Это, например, NGC 4278 [5], NGC 3904, NGC 4636 [6], NGC 3226—3227 [7], NGC 1062 [8], NGC 1510 [9]. Исключением из правил является и известная близкая радиогалактика Сеп А (NGC 5128), в которой на фоне гигантской звездной E-системы видна мощная гозопылевая полоса, вытянутая вдоль малой оси галактики [10]. Известны и другие подобные E и S0 системы [11, 12]. Иногда этот газ собран в центральной области галактики, а иногда в протяженном внешнем диске.

Относительно E и S0 систем с повышенным содержанием газа можно заметить следующее:

1) Они никогда не являются быстродвижущимися членами богатых скоплений, так как при скоростях движения относительно межгалактической среды ~ 1000 км/с газ из таких галактик может быть выметен (например, [13]).

2) Почти всегда такие галактики являются членами группы или пары, в состав которой входит поздняя спираль, богатая газом. Например, на проекционном расстоянии 93 кпс от NGC 4278 находится NGC 4274, на 125 кпс от NGC 1052 расположена NGC 1042, а в 20 кпс от NGC 1510 видна галактика NGC 1512. Примерно в 1.2 Мпс от Сеп А — главной галактики небольшой группы наблюдается гигантская спиральная система NGC 5236 (M83) — член той же группы. Карта окрестностей NGC 5236 в 21 см показывает «язык» водорода, который вытянут в сторону Сеп А [14]. Похожая ситуация наблюдается и в радиогалактике NGC 1316 (Fog A) [15], в 1.3 Мпс от которой расположена гигантская спираль NGC 1365. (На некоторые из этих фактов уже обращалось внимание в литературе [16—18]).

3) В центральных областях таких галактик часто присутствуют компактные радиисточники с плоскими спектрами [8, 19]. Их размеры всего сотни парсек, а мощность радиоизлучения $\sim 10^{40 \pm 2}$ эрг/с. В работах [20, 21] показано, что для галактик, входящих в состав как E—E, так и S—S пар, вероятность иметь радиоизлучение растет по мере уменьшения расстояния между компонентами.

Все эти факты свидетельствуют, на наш взгляд, о том, что между долей газа в той или иной системе и степенью активности ее ядра существует прямая связь (см., например, [22, 23]). Эта связь затрагивает и процессы звездообразования в системе (например, [24]). Об этом же свиде-

тельствуют и результаты работы [25], в которой показано, что разброс цветов на двухцветной диаграмме $(U-B) - (B-V)$ гораздо больше для систем из каталога Арпа (среди которых много и взаимодействующих), чем для одиночных галактик тех же морфологических типов. Авторы объясняют этот факт в рамках гипотезы о продолжающихся вспышках звездообразования во взаимодействующих системах. К такому же выводу приводят и данные о цветах галактик с УФ-избытком [26], из которых около 40% входят в состав пар и групп [27, 28].

С рассматриваемой точки зрения особый интерес могут представлять галактики типа Iг II, типичным представителем которых является хорошо исследованная система M 82. В настоящее время известны около 30 галактик такого типа. Для них всех характерны иррегулярная структура, большое содержание газа и пыли, аномалии цветов. Все это, по всей вероятности, свидетельствует об особенностях процессов звездообразования в них. Галактики типа Iг II также часто входят в состав пар и групп [29]. Большой интерес для выявления природы объектов такого типа представляет работа по их поиску по Паломарским картам (например, [30]).

Мы уже отмечали, что E и S0 системы с повышенным содержанием газа избегают областей, занятых богатыми скоплениями. Это относится также к галактикам Маркаряна, к сейфертоподобным объектам и к галактикам с эмиссионными линиями в ядерной области (например, [23]). Это, по всей вероятности, связано с выметанием газа из указанных систем при их быстром движении через межгалактическую среду скоплений. Об этом же свидетельствуют факты меньшего содержания HI в быстрых галактиках центральных областей скоплений [31] и меньшего темпа звездообразования в них же [32].

Квезары также «избегают» богатых скоплений, в отличие от радиогалактик, которые часто отождествляются с гигантскими центральными галактиками в скоплениях [33, 34]. Однако в составе небольших групп галактик близкие квазары наблюдаются. Недавно, на проекционном расстоянии ~ 200 кпс от квазара 3C 273 ($z_{em} = 0.158$), была обнаружена гигантская спиральная система с почти тем же z_{em} [35]. Так что QSO обладают всеми теми же особенностями, какие характерны для галактик с активными ядрами, включая даже и спектральные особенности (например, [36]).

2. Итак, наблюдательные факты, на наш взгляд, убедительно свидетельствуют о том, что есть связь между принадлежностью галактики паре или группе и рядом ее характерных свойств (таких, например, как доля газа в системе, степень активности ядра, темп звездообразования). Даже обычно бедные газом галактики ранних типов, попадая в состав пар или групп, оказываются обогащенными газом или имеют другие особенности. Это было отмечено еще в 1964 г. [37] на основе факта, что в парах S—E

эллиптические галактики имеют меньшее, чем обычно, отношение массы к светимости.

Откуда берется газ в далекопроэволюционировавших галактиках ранних типов, где трудно ожидать большого количества первичного газа? На этот счет нет пока единого мнения. Одни (например, [38]) привлекают аккрецию межгалактических газовых облаков на галактику. Другие считают (см., например, обзоры [39, 40]), что может происходить и некоторое перераспределение вещества в самой галактике, в том числе и за счет сброса вещества массивными старыми звездами главной последовательности. Возможно и перетекание газа от более богатой соседней системы на компактный компаньон (например, [18]). Это должно наиболее отчетливо проявляться в тесных и взаимодействующих системах, когда одним из компаньонов является спиральная галактика позднего морфологического типа. Появились уже первые наблюдательные свидетельства в пользу возможного обмена веществом между галактиками. Например, в системе M 81—M 82 [41], NGC 1510—NGC 1512 [9]. Вопрос об обмене веществом между галактиками чрезвычайно важен*, однако пока эта проблема мало исследована как с наблюдательной, так и с теоретической точек зрения. (На важность процессов обмена веществом между взаимодействующими галактиками указывал также Б. А. Воронцов-Вельяминов [42]). Наиболее результативными здесь являются исследования поля скоростей газа в линии 21 см в окрестностях галактик, входящих в пары и группы. Это требует трудоемких и точных измерений**. Однако ко всей этой проблеме есть более грубый, но гораздо более простой подход. Он связан с измерением интегральных цветов галактик, которые в рамках определенных моделей зависят от особенностей звездообразования в них. (Правда, при этом надо помнить, что цвета галактик могут зависеть от ряда плохо учитываемых факторов, таких, например, как внутреннее поглощение на пыли, вид начальной функции масс формирующихся звезд или разница в возрасте галактик одинаковых морфологических типов).

Действительно, как показано в работах [25, 43], положение галактики на двухцветной диаграмме (U—B) — (B—V) связано с видом начальной функции масс и с зависимостью темпа звездообразования от времени. Цвета нормальных галактик разных морфологических типов согласуются с предположением об экспоненциальном уменьшении темпа со временем. Однако цвета пекулярных и взаимодействующих систем, а также галактик с УФ-избытком располагаются на 2-цветной диаграмме не там,

* Не лишне вспомнить, как изменяет всю наблюдательную картину перетекание вещества между компонентами в тесных звездных парах.

** Спектрофотометрия в оптическом диапазоне тоже может дать интересные сведения, однако из-за больших ошибок в измерении ширины линий (а значит и скоростей газовых потоков) результаты не так убедительны.

где лежат нормальные галактики тех же морфологических типов. Для интерпретации этого факта ряд авторов [25, 26] на основании модельных расчетов предположили немонотонность во времени темпа звездообразования — было введено понятие «вспышек» звездообразования.

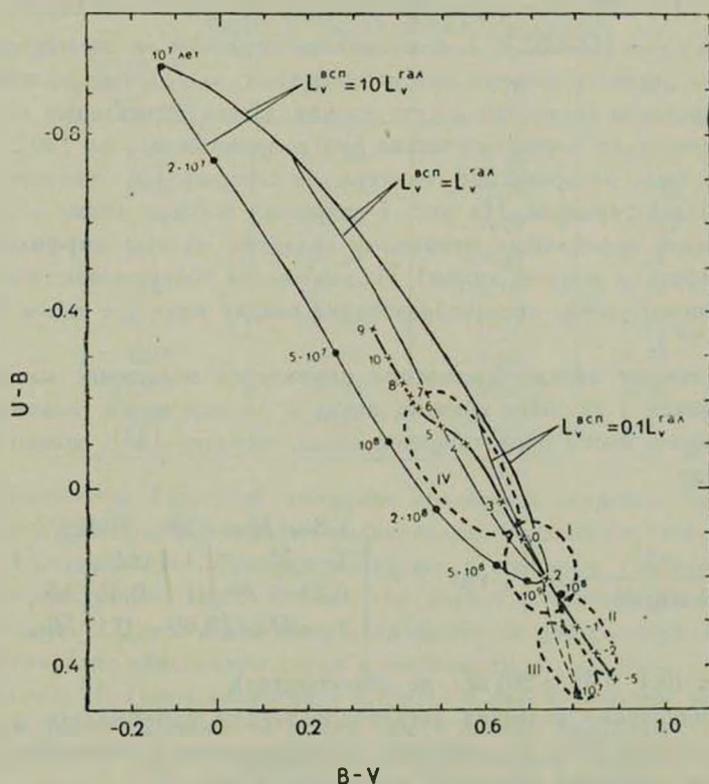


Рис. 1. Положение нормальных галактик (жирная линия) разных морфологических типов (цифры на жирной линии). Для типа Sab тонкими линиями показаны расчетные треки для «стандартных вспышек» звездообразования (пояснения см. в тексте).

Так как темп звездообразования зависит, как выясняется, не только от внутренних свойств галактик, но и от их окружения, то имеет смысл сравнить положения на 2-цветной диаграмме цветов одиночных галактик и входящих в состав пар и групп, особенно взаимодействующих. Мы уже отмечали, что наибольшее расхождение ожидается для случаев, когда E-галактика расположена близко от богатой газом гигантской S-галактики (см. также [17]).

3. В настоящей работе в качестве двойных и взаимодействующих галактик были выбраны системы из Каталога изолированных пар Карачен-

цева [44] и двух частей Атласа взаимодействующих галактик Воронцова-Вельяминова [45, 46]. Морфологический тип брался из 2-го Сводного каталога [47]. Данные об электрофотометрических показателях цвета $(B-V)$, $(U-B)$ отдельных галактик, входящих в состав систем, брались из работ [47—49]. Все цвета приводились по формулам работы [47] к виду $(B-V)_T^0$ и $(U-B)_T^0$, т. е. вводились поправки за поглощение в Галактике, за разность апертур при наблюдениях, за красные смещения и за наклон плоскости галактики к лучу зрения. Цвета нормальных галактик в зависимости от их морфологических типов принимались по [50].

Всего было отобрано 208 галактик, из которых 126 отмечены в МКГ как взаимодействующие. На рис. 1 сплошная жирная линия — это положение цветов нормальных одиночных галактик разных морфологических типов (цифры на жирной линии). Их положение соответствует постепенному уменьшению темпа звездообразования сверху вниз (от типов $4 \div 10$ до типов $6 \div 1^*$).

Под темпом звездообразования понимается отношение массы вновь образующихся в единицу времени звезд к полной массе галактики. При этом функцию массы образующихся звезд, согласно [25], можно представить в виде

$$\frac{dN}{d \lg M} \sim M^{-x}, \text{ где } x = \begin{cases} 1.3 \rightarrow M = (30 \div 2) M_{\odot}, \\ 1 \rightarrow M = (2 \div 1) M_{\odot}, \\ 0.25 \rightarrow M = (1 \div 0.45) M_{\odot}, \\ 1 \rightarrow M = (0.45 \div 0.1) M_{\odot}. \end{cases}$$

(звезды с $(0.1 > M > 30) M_{\odot}$ не образуются).

«Стандартная» вспышка звездообразования принималась в соответствии с работой [25]. Ее цветовые характеристики и отношение массы к светимости в видимом диапазоне приводятся в табл. 1.

Для галактик разных морфологических типов были проведены расчеты треков на 2-цветной диаграмме, которые отражают изменения их нормальных цветов со временем, протекшим после «стандартных» вспышек звездообразования с амплитудами: $L_V^{\text{всп.}} = 0.1; 1$ и $10 L_V^{\text{н.г.}}$ (см. рис. 1, где представлен расчет, выполненный для галактик типа Sab). Из дальнейшего будет видно, что вспышки с амплитудой $10 L_V^{\text{н.г.}}$ (для галактики с $M/L = 10 M_{\odot}$ такая амплитуда соответствует образованию во „вспышке“ 2% звезд (по массе) от общего количества звезд в галактике) достаточно, чтобы объяснить реально наблюдаемые отличия цветов. Для галактик разных морфологических типов рассчиты-

* Типы с номерами от $T = 10$ до 0 соответствуют галактикам Irl, Sm, Sdm, Sd, Sc, Sbc, Sb, Sba, Sa, So/a, Ir II, а с номерами от $T < -1$ до -6 соответствуют эллиптическим и линзовидным системам.

вался также и трек „антивспышки“, соответствующей прекращению звездообразования на 10^7 лет (см. рис. 1).

Таблица 1

ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ «СТАНДАРТНОЙ»*
ВСПЫШКИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

Время после начала вспышки (10^9 лет)	B-V	U-B	M/Lv
0.01	-0.29	-1.00	0.022
0.02	-0.08	-0.79	0.036
0.05	+0.19	-0.37	0.057
0.1	+0.26	-0.19	0.11
0.2	+0.37	-0.02	0.16
0.5	+0.51	+0.17	0.33
1.0	+0.62	+0.22	0.69
2.0	+0.73	+0.29	0.95
5.0	+0.86	+0.42	1.9

Сравнение на 2-цветной диаграмме положений областей, занятых одиночными и взаимодействующими галактиками, показывает, что можно выделить 4 области (рис. 1), куда попадают, в основном, галактики, входящие в состав групп и пар**. Эти области имеют следующие свойства:

Область I. Цвета в ней мало отличаются от цветов нормальных одиночных галактик одинаковых типов и светимости.

Область II. Цвета галактик в группах и парах смещены вниз по линии нормальных галактик по отношению к цветам одиночных галактик.

Область III. Цвета взаимодействующих систем смещены вниз и левее нормальной последовательности цветов.

Область IV. Цвета взаимодействующих галактик расположены выше нормы для одиночных галактик тех же морфологических типов.

Такое расположение на 2-цветной диаграмме цветов взаимодействующих систем, с точки зрения изменения со временем темпа звездообразования, можно интерпретировать следующим образом:

Область I — темп звездообразования в исследуемых системах изменяется со временем так же, как и в одиночных галактиках.

* Предположения [25] для расчета цветов «стандартной» вспышки: 1) Вспышка длится 10^7 лет; в течение этого времени темп звездообразования постоянен. 2) Химический состав звезд берется: $X = 0.708$; $Y = 0.272$; $Z = 0.020$.

** Области, конечно, выбраны достаточно условно. Для более точного отнесения систем к той или иной области требуется более тщательный учет внутреннего поглощения и притяжения данных многоцветной фотометрии.

Область II — исследуемые системы имеют замедленный темп звездообразования.

Область III — системы, в которых некоторое время назад произошла задержка в звездообразовании длительностью в несколько единиц на 10^7 лет («антивспышка»).

Область IV — системы, в которых некоторое время назад ($10^7 \div \div 10^9$ лет) произошла «вспышка» звездообразования длительностью в несколько единиц на 10^7 лет.

В табл. 2 приведены численные данные из анализа нашей выборки. Какие выводы можно сделать на основании имеющихся данных по распределению на 2-цветной диаграмме галактик, входящих в состав пар и групп?

Во-первых, видно, что при переходе от галактик ранних морфологических типов к поздним доля галактик в области II уменьшается, а доля галактик в области IV увеличивается. Причем это относится как к системам со взаимодействием, так и без видимых признаков такового.

Во-вторых, в область цветов III наиболее часто попадают спиральные галактики ранних морфологических типов (Sab, Iг II), хотя эти типы галактик встречаются и в других областях.

В-третьих, от 15 до 65% галактик разных морфологических типов не меняют своего цвета, несмотря на вхождение в пару или группу.

Не безынтересен вопрос о зависимости цветовых особенностей той или иной галактики от морфологического типа компаньонов, степени компактности пары и соотношения между светимостями членов. (Данные на этот счет приведены в табл. 2). Из имеющихся в нашем распоряжении данных можно сделать некоторые выводы.

1) Цвета E и S0 галактик, имеющих более яркого S-компаньона, в 25% случаев попадают в область IV (строка 3 в табл. 2). По всей вероятности, в этом случае мы имеем дело со «вспышкой» звездообразования в E или S0 галактике. Такая «вспышка» может быть индуцирована веществом, перетекающим от богатой газом S-галактики.

2) Спиральные и Iг I-галактики, попадающие в область цветов IV, в 30—40% случаев имеют своим компаньоном S-галактику равной или меньшей светимости (строки 7 и 11 в табл. 2). В этом случае нельзя исключить, что на темп звездообразования могут оказывать влияние такие, к примеру, эффекты, как возбуждение волн плотности при сближениях галактик, приливные возмущения, слипание газовых комплексов при их движении в поле тяготения системы (например, [51]).

3) Системы типа Iг II с более ярким S-компаньоном в 40% случаев попадают по цветам в область IV (строка 14 в табл. 2). Это также свидетельствует о процессах бурного звездообразования, носящего, по всей вероятности, индуцированный характер.

Таблица 2

№	Тип основ- ной галак- тики	Группа по цвету	Кол-во N	Кол-во %	Тип компань- онов*	Кол-во n	$\left\langle \frac{l}{R_1 + R_2} \right\rangle^{**}$	$\langle \Delta m \rangle^{***}$	Преиму- щесв. груп- п на комп.
1	E, S0	I	43	66	S	18	1.6	0.5	I
					E	25	0.9	0	I
					S	2	1.0	0	I
2	E, S0	II	6	9	E	4	0.7	0.3	I, II
					S	15	1.6	-0.7	III
3	E, S0	IV	16	25	E	1	1.3	-1	II
					S	22	1.8	0	IV
4	S0/a, Sa, Sab, Sb	I	30	41	S	24	1.7	0	I
					E	6	1.2	-0.1	IV
5	S0/a, Sa, Sab, Sb	II	6	8	S	4	2.2	0.8	III, IV
					E	2	1.5	-1	II, I
6	S0/a, Sa, Sab, Sb	III	14	19	S	7	2.2	0.1	III
					E	7	1.1	0.5	I, IV
7	S0/a, Sa, Sab, Sb	IV	23	32	S	22	1.8	0	IV
					E	1	0.5	1	I
8	Sbc, Sc, Scd, Sd, Sdm, Sm, Ir I	I	28	44	S	25	1.6	0.2	I, IV
					E	3	1.6	-1	I, IV
9	Sbc, Sc, Scd, Sd, Sdm, Sm, Ir I	II	7	11	S	6	1.8	0.3	I, II, IV
					E	1	0.9	1	I
10	Sbc, Sc, Scd, Sd, Sdm, Sm, Ir I	III	4	6	S	0	-	-	-
					E	4	1.4	0.5	IV
11	Sbc, Sc, Scd, Sd, Sdm, Sm, Ir I	IV	24	38	S	20	1.4	0	IV
					E	4	1.4	0.3	IV, I
12	Ir II	I	1	14	S	1	3.2	-1	III
13	Ir II	III	3	43	S	3	1.7	-1	III
14	Ir II	IV	3	43	S	3	1.5	-1	IV

4) В спиральных, как при S, так и при E-компаньонах, равной или меньшей светимости может происходить и «антивспышка» (строки 6, 10 в табл. 2). Этот феномен, в принципе, можно было бы объяснить эффектами увеличения дисперсии скоростей газа при сближении галактик (например, [52]). «Антивспышка» может также являться следствием разогрева газа в процессе предшествующей «вспышки» звездообразования или стадии активности в ядре (см., например, [53]).

* В группе за компаньона принималась ближайшая галактика.

** Средняя относительная компактность пары $\langle l / (R_1 + R_2) \rangle$, где l — расстояние между центрами галактик, R_1 и R_2 — фотометрические радиусы до $25 m/\square''$ для галактики и компаньона соответственно.

*** $\langle \Delta m \rangle$ — средняя относительная яркость компаньона: „0“ — $|\Delta m| < 0.5$, „+1“ — компаньон слабее на $|\Delta m| > 0.5$; „-1“ — компаньон ярче на $|\Delta m| > 0.5$.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить за полезные дискуссии проф. Б. А. Воронцова-Вельяминова и А. В. Засова, а также В. П. Архипову за предоставление неопубликованных данных.

Институт космических исследований

АН СССР

Государственный астрономический

институт им. П. К. Штернберга

INDUCED STAR FORMATION AND COLOURS OF BINARY AND INTERACTING GALAXIES

M. A. SMIRNOV, B. V. KOMBERG

The colours of 208 galaxies in pairs and groups are compared (on colour-colour diagram) with those of single galaxies of the same morphological type. Different colours of galaxies in pairs and groups (see table 2 and figure) can be explained if one assumes that in some of them the star formation is slowed down, while in others it is speeded up. The latter is the most conspicuous in E, S0, and Ir II galaxies when they are accompanied by brighter spirals.

We have drawn attention to the relation of richness in gas to the rate of star formation in galaxies and to the activity level of their nuclei. This relation is particularly conspicuous in the galaxies of early morphological types (E, S0, Sa) and in systems of the type Ir II where the relative abundance of gas is significantly above the normal. It is noted that such galaxies as well as galaxies with UV excess, Seyfert-like objects, emission-line galaxies and quasars — avoid regions occupied with rich clusters and frequently occur in pairs and small groups.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. A. Huchtmeier, G. A. Tamman, H. J. Wendker, *Astron. Astrophys.*, 42, 205, 1975.
2. G. R. Knapp, F. J. Kerr, *A. J.*, 79, 667, 1974.
3. P. Hickson, D. O. Richstone, E. L. Turner, *Ap. J.*, 213, 323, 1977.
4. L. Bottinelli, L. Gouguenheim, *Astron. Astrophys.*, 76, 176, 1979.
5. J. S. Gallagher, G. Knapp, *Ap. J.*, 215, 463, 1977.
6. L. Bottinelli, L. Gouguenheim, *Astron. Astrophys.*, 60, L23, 1977.
7. G. R. Knapp, F. J. Kerr, B. A. Williams, *Ap. J.*, 222, 800, 1978.
8. R. A. Fosbury, U. Mebold, W. M. Cross, M. A. Dopita, *M. N.*, 183, 549, 1978.
9. T. D. Kinman, *A. J.*, 83, 764, 1978.
10. J. A. Graham, *Ap. J.*, 222, 60, 1979.
11. F. Bertola, G. Galletta, *Ap. J.*, 226, L115, 1978.
12. C. C. Kotanyi, R. D. Ekers, *Astron. Astrophys.*, 73, 1, 1979.

13. G. R. Gtsler, *Astron. Astrophys.*, 51, 137, 1976.
14. D. H. Rogstad, I. A. Lockhart, M. C. H. Wright, *Ap. J.*, 193, 309, 1974.
15. F. Schweizer, *Ap. J.*, (in press).
16. S. M. Faber, J. S. Gallagher, *Ap. J.*, 204, 365, 1976.
17. Л. П. Метук, И. И. Проник, *Астрон. ж.*, 55, 249, 1978.
18. Б. В. Комберг, Препринт ИКИ, № 539, 1979.
19. J. J. Condon, L. L. Dressel, *Ap. J.*, 221, 456, 1978.
20. J. T. Stocke, W. G. Tifft, *Astron. Astrophys.*, 83, 322, 1978.
21. J. T. Stocke, W. G. Tifft, *Astron. Astrophys.*, 83, 348, 1978.
22. Б. В. Комберг, Препринт ИКИ, № 274, 1976.
23. G. R. Gtsler, M. N., 183, 633, 1978.
24. S. van den Bergh, *Ap. J.*, 206, 883, 1976.
25. R. B. Larson, B. M. Tinsley, *Ap. J.*, 219, 46, 1978.
26. J. P. Huchra, *Ap. J.*, 217, 928, 1977.
27. J. Heidmann, A. T. Kalloghlian, *Астрофизика*, 9, 71, 1973.
28. C. Casini, J. Heidmann, *Astron. Astrophys.*, Suppl. ser., 24, 473, 1976.
29. G. A. Cottrell, M. N., 184, 259, 1978.
30. С. Г. Искударян, *ДАН Арм. ССР*, 17, (2), 93, 1978.
31. N. Krumm, E. E. Salpeter, *Ap. J.*, 227, 776, 1979.
32. S. van den Bergh, *Ap. J.*, 198, L1, 1975.
33. D. H. Roberts, S. L. O'Dell, G. R. Burbidge, *Ap. J.*, 216, 227, 1977.
34. M. S. Longair, M. Seldner, M. N., 189, 433, 1979.
35. A. Stockton, *Nature*, 274, 342, 1978.
36. Б. В. Комберг, Препринт ИКИ, № 445, 1978.
37. R. A. Fish, *Ap. J.*, 139, 284, 1964.
38. R. Hunt, M. N., 173, 465, 1975.
39. W. G. Matthews, J. C. Baker, *Ap. J.*, 170, 241, 1971.
40. G. R. Gtsler, *Ap. J.*, 228, 385, 1979.
41. S. T. Gottesman, L. Weliachew, *Ap. J.*, 211, 47, 1977.
42. Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Астрон. ж.*, 31, 161, 1954; *Письма АЖ*, 3, 251, 1977.
43. L. Searle, W. L. W. Sargent, W. G. Bagnulo, *Ap. J.*, 179, 427, 1973.
44. И. Д. Караченцев, *Сообщ. САО*, вып. 7, 1972.
45. Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Атлас взаимодействующих галактик*, М., 1959.
46. B. A. Vorontsov-Velyaminov, *Astron. Astrophys.*, Suppl. ser., 28, 1, 1977.
47. G. & A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Austin, 1976.
48. А. Н. Томов, *Астрон. ж.*, 55, 944, 1978.
49. J. P. Huchra, *Ap. J.*, Suppl. ser., 36, 171, 1977.
50. А. В. Засов, В. В. Демин, *Астрон. ж.*, 57, 600, 1980.
51. B. M. Tinsley, R. B. Larson, M. N., 186, 503, 1979.
52. N. Limber, *Ap. J.*, 142, 1346, 1965.
53. А. А. Сучков, *Астрон. циркул.*, № 1013, 1979.