

наблюдения*), θ_0 — угол между направлениями \mathbf{n} и ω (отметим, что он не зависит от времени) и θ — угол между направлениями \mathbf{n} и \mathbf{g} . Для косинуса этого последнего угла можно выписать выражение

$$\cos \theta = \sin \theta_0 \sin \alpha \cos(\omega t + \varphi) + \cos \theta_0 \cos \alpha, \quad (16)$$

в котором φ — угол географической долготы точки наблюдения. Из (15) видно, что обе компоненты \mathbf{H}' зависят от положения точки наблюдения, причем вертикальная компонента имеет части, меняющиеся во времени как с суточным периодом, так и с периодом в половину суток, тогда как горизонтальная составляющая \mathbf{H}' имеет и переменную и постоянную части.

Подставляя численные значения всех необходимых параметров, можно оценить амплитуду «приливных» вариаций напряженности магнитного поля. Она оказывается порядка $10^{-7} \div 10^{-8}$ Э. Из этой оценки видно, что, хотя приливные эффекты оказывают влияние на магнитное поле, они не полностью определяют его вариации (см., напр., [3, 4]). Другие механизмы, могущие вызывать вариации полей, в особенности магнитного, пока еще не изучены в достаточной мере, хотя есть основания полагать, что некоторые из них также связаны с приливными воздействиями, в частности с влиянием этих воздействий на дифференциальные внутрипланетные движения, а также с влиянием приливных сил на пьезоэлектрическое перераспределение зарядов.

Заметим в заключение, что Солнце оказывает на Землю такое же по порядку величины приливное воздействие, как и Луна, так что нужно учитывать наложение полей, обусловленных обоими этими воздействиями. Кроме вариаций, связанных с суточным обращением Земли, имеются и еще более медленные изменения полей, обуславливаемые изменением угла θ_0 и расстояний R_0 от источников приливных воздействий до Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев В. И., Григорьева Е. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1991. 32, № 5. С. 68.
2. Григорьева Е. В. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 10. С. 24.
3. Краев А. П. Основы геоэлектрики. М.; Л., 1951.
4. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л., 1978.

Поступила в редакцию
24.02.94

*) В отличие от географического угла широты α отсчитывается от направления ω , а не от экваториальной плоскости.

АСТРОНОМИЯ

УДК 524.77

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРУПП ГАЛАКТИК. КОРРЕЛЯЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА

В. В. Демин

(ГАИШ)

На основе имеющихся в литературе наблюдательных данных изучаются фотометрические свойства близких групп галактик из списка Караченцева. Показано, что ярчайшие галактики этих систем имеют близкие значения интегральных показателей цвета $(U-V)_T^0$, и это свидетельствует о близости звездного состава компонентов в

каждой группе. На диаграммах цвет—цвет продемонстрировано, что эти цвета коррелируют для всей выборки членов групп в целом, причем хорошо видна «эволюционная ниша» для каждой системы. Это служит доводом в пользу единого процесса формирования и эволюции групп галактик и подтверждает их физическую связанность. Кратко обсуждается возможный эволюционный сценарий для малых систем в рамках модели с общим газово-звездным резервуаром.

1. Введение

Изучение малых систем галактик, изолированных, пар, триплетов и групп, начатое Холмбергом [1] в 1930-е гг., интенсивно продолжается и в настоящее время. В последнее десятилетие наблюдения различных выборок этих объектов велись в оптическом, радио- и рентгеновском диапазонах с целью выяснения их природы. Группы среди систем галактик занимают промежуточное положение между двойными галактиками и скоплениями галактик. Расстояния до многих из них невелики, что позволяет подробно изучать их внутреннюю структуру, а также структуру, состав и кинематику отдельных членов. Пространственное распределение близких групп галактик далеко не случайно, причем преимущественно они концентрируются на периферии богатых скоплений галактик.

В существующих каталогах групп галактик для выявления этих систем используют критерии, в основе которых лежит близость звездных величин и лучевых скоростей компонентов, а также изолированность всей группы относительно галактик окружения (см., напр., [2]). Применение различных ограничений позволило грубо разделить группы галактик на два довольно больших класса. Изучение распределения близких (< 20 Мпк) галактик показало, что большинство из них принадлежит к широким группам, средний диаметр которых составляет примерно 1,5 Мпк в диапазоне 0,3—2,5 Мпк. Среди групп встречаются также так называемые компактные — маленькие, относительно изолированные системы галактик с проекционным расстоянием, сравнимым с диаметрами самих галактик (средний размер компактных групп порядка 80 кпк).

Как показали многочисленные исследования малых систем, признаки, положенные в основу классификации: их интегральный размер, кратность и компактность, а также плотность окружения — являются теми параметрами, которые существенно влияют на глобальные свойства членов этих систем и на процесс их эволюции.

Это подтверждается, в частности, исследованиями морфологического состава групп галактик. В работе [3] на основе статистического изучения групп южного неба получено соотношение между морфологическим типом галактики и плотностью ее окружения, что подтверждает обнаруженную ранее тенденцию к увеличению доли галактик ранних типов (E, S_0) и уменьшению доли спиралей поздних типов с ростом плотности окружения. Распространенность спиральных галактик ранних типов не зависит от плотности окружающей фона. В работе [4] установлено, что группы галактик содержат несколько больше спиралей, чем сравнимые выборки галактик поля, и, по-видимому, существует дефицит слабых галактик по сравнению с богатыми скоплениями или галактиками поля. Эти данные свидетельствуют, возможно, в пользу существования универсального соотношения «морфология—плотность» для групп галактик кратности больше 3 [5, 6] (зависимость Дресслера). Подтверждение соотношения «морфология—плотность» для компактных групп найдено в работе [7] только в том смысле, что группы, содержащие большую долю E/S_0 -галактик, более плотные, име-

ют более высокие светимости и более высокую дисперсию скоростей, чем группы с высокой долей спиралей.

Фотометрические исследования групп галактик также показывают значительные их отличия от одиночных, двойных и галактик скоплений. Например, в работе [8] на основе фотоэлектрических измерений установлено существование зависимости показателей цвета ($B-V$) и ($U-B$) от абсолютной величины галактики для компонентов раннего типа, принадлежащих группам галактик, и впоследствии подтверждено в целом ряде работ (см., напр., [9] и ссылки там). Это оказалось важным, так как для галактик пар, в частности, такая зависимость отсутствует [3].

Многочисленные спектроскопические наблюдения галактик групп (см., напр., [10]) показывают, что типичные скорости галактик в группах сравнимы со скоростями их внутренних движений. Это должно способствовать более сильным гравитационным взаимодействиям.

Изучение зависимости относительного числа галактик с признаками приливных взаимодействий от галактической плотности окрестностей показывает [11], что 30% галактик в группах и 16% систем в скоплениях имеют те или иные приливные искажения.

В данной работе обсуждаются фотометрические свойства группы галактик и их членов на основе одного типа найденной здесь для выборки этих систем корреляции — корреляции показателей цвета компонентов.

2. Наблюдательные данные

Для статистического анализа мы использовали список близких групп Караченцева [12], содержащий 63 группы (соответственно 334 галактики).

Лучевые скорости компонентов, их морфологические типы, интегральные звездные величины B_T^0 и показатели цвета $(B-V)_T^0$ и $(U-B)_T^0$ взяты из [13, 14] (в дальнейшем RC 2 и RC 3).

Некоторые параметры изучаемых групп галактик приведены в таблице, где в столбцах обозначены: 1 — номер группы по списку Караченцева, 2 — общее число галактик в группе с измеренными лучевыми скоростями, 3 — число E -галактик в группе, 4 — средняя лучевая скорость группы с учетом движения Солнца в км/с, 5 — дисперсия лучевых скоростей в группе, 6 — эффективный радиус системы в кпк, 7 — число галактик с измеренными показателями цвета $(U-V)_T^0$.

Средняя лучевая скорость выборки групп составляет примерно 2651 км/с, дисперсия скоростей — около 341 км/с. Средний линейный диаметр групп в выборке равен 292 ± 63 кпк.

Выборка содержит также 5 рассеянных групп (№ 5, 12, 16, 48, 50), которые имеют следующие особенности по сравнению с остальными. Сгущение галактик к геометрическому центру выражено очень слабо, на окружающем фоне такие образования выделяются лишь по близости значений лучевых скоростей их членов. Средняя лучевая скорость рассеянных групп равна 2350 км/с. Линейные размеры рассеянных групп (среднее значение составляет 1792 ± 304 кпк) сравнимы с размерами скоплений, тогда как населенность их (от 10 до 30 членов) и дисперсия лучевых скоростей (среднее значение 312 км/с) существенно меньше, чем в скоплениях. Члены таких физически слабо связанных (по предположению [12]) систем могут составлять существенную долю среди галактик, обычно называемых фоновыми или галактиками поля, и практически ничем не отличаются от них.

№	n_V	n_E	V_0	σ_V	R	n_{U-V}	№	n_V	n_E	V_0	σ_V	R	n_{U-V}
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	5	3	-16	36	0,03	3	33	3	3	852	367	0,02	2
2	6	0	142	319	0,64	3	34	4	3	1817	339	0,57	1
3	5	4	6779	710	0,06	0	35	3	0	1160	291	0,12	0
4	6	5	4615	676	0,13	3	36	3	0	4997	281	0,08	0
5	11	5	1906	171	2,20	5	37	3	0	3261	170	0,06	3
6	4	3	1989	130	0,59	4	38	5	2	844	260	0,12	5
7	9	9	5274	673	0,08	4	39	5	3	2168	371	0,31	3
8	4	1	2416	289	0,36	4	40	3	2	2307	229	0,10	1
9	3	3	5039	624	0,13	1	41	4	3	1953	130	0,73	0
10	4	1	1548	572	0,68	4	42	10	9	788	1299	0,20	4
11	5	1	1439	140	0,96	4	43	4	3	1246	513	0,09	3
12	16	7	1594	346	2,28	4	44	3	3	1335	182	0,07	3
13	14	11	1490	493	0,50	4	45	5	4	966	587	0,09	4
14	4	3	4021	249	0,17	3	46	7	1	497	156	0,50	2
15	7	2	999	327	0,28	5	47	5	2	319	109	0,90	3
16	7	2	2412	222	2,56	2	48	19	10	2241	378	4,71	3
17	6	3	4096	208	0,03	0	49	3	1	2445	296	0,45	3
18	3	0	1484	229	0,59	0	50	8	1	3597	443	2,32	4
19	4	0	1802	256	0,04	0	51	4	1	2578	270	0,21	2
20	4	2	6449	281	0,03	0	52	3	2	1594	139	0,12	3
21	8	2	1497	187	0,85	1	53	9	7	1788	589	0,67	4
22	5	0	183	232	0,07	1	54	3	1	920	248	0,34	2
23	4	4	6590	662	0,27	1	55	3	3	9163	15248	0,02	0
24	8	2	1235	244	0,18	3	56	3	2	9645	33	0,08	0
25	4	1	1290	220	0,06	3	57	3	1	3662	447	0,06	3
26	3	1	1256	177	0,44	1	58	4	2	4646	378	0,10	2
27	8	4	820	402	0,21	5	59	4	2	4306	331	0,16	2
28	3	2	862	424	0,04	2	60	4	2	6730	727	0,04	3
29	3	0	1647	76	0,11	3	61	6	2	1534	220	0,58	5
30	3	2	8685	222	0,04	0	62	3	2	2332	426	0,02	0
31	5	0	592	170	0,22	3	63	3	0	4539	50	0,08	1
32	3	0	654	100	0,11	2							

Выборка групп Караченцева содержит 22 триплета, 14 квартетов, 10 квинтетов и 17 групп с числом членов больше 5.

Закончив, таким образом, характеристику наблюдательного материала, перейдем к его статистическому анализу.

3. Корреляции интегральных цветов компонентов

На рис. 1 показана диаграмма цвет—цвет для цвета $(U-V)_T^0$ галактик в группах, где по оси ординат отложен цвет ярчайшего члена, а по оси абсцисс — показатели цвета остальных компаньонов. Крестиками на диаграмме обозначены компоненты рассеянных групп. Если не рассматривать рассеянные группы, то в этом случае коэффициент корреляции равен $k_1=0,68\pm 0,06$ ($N_1=72$).

На рис. 2 и 3 приведены аналогичные диаграммы для показателей цвета $(U-V)_T^0$, где по осям ординат отложены цвета соответственно второго и третьего по яркости компонентов групп, а по осям абсцисс — показатели цвета остальных компаньонов. Без учета рассеянных групп коэффициенты корреляции соответственно равны $k_2=0,66\pm 0,08$ ($N_2=49$) и $k_3=0,63\pm 0,11$ ($N_3=31$). Корреляцию значительно ухудшает выборка компонентов рассеянных групп, и дисперсия

цвета членов систем этого типа значительно больше вдоль оси абсцисс, чем у остальных близких групп.

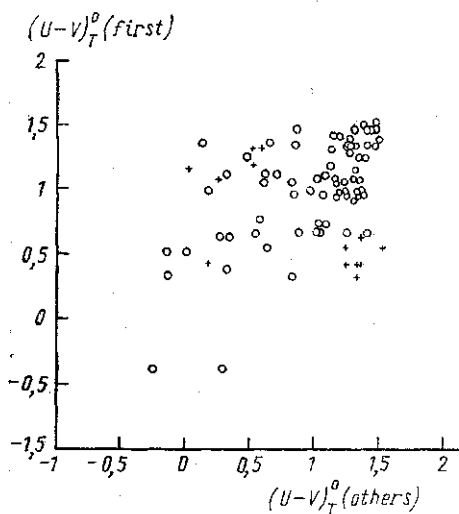


Рис. 1

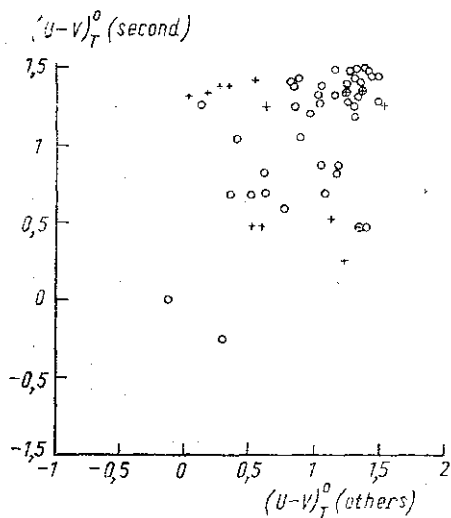


Рис. 2

Как видно из диаграмм, интегральный цвет ярчайших компонентов групп жестко связан с цветом других членов системы. На всех трех диаграммах показатели цвета галактик каждой группы расположены на прямых, параллельных оси абсцисс. Дисперсия цвета вдоль этой оси определяется разбросом цвета в пределах каждой группы. Вдоль оси ординат разброс цвета на диаграммах характеризует дисперсию интегральных показателей цвета всей выборки галактик групп. Известно, что цвет $(U-V)_T^0$ для галактик всех типов меняется в диапазоне от 0,1 до 1,6. Изменение в цвете происходит главным образом благодаря увеличению дефицита звезд молодого населения, когда мы движемся вдоль морфологической последовательности галактик. Более «красная» часть последовательности населена центральными балджами спиральных галактик и $E/S0$ -галактиками с увеличивающимися светимостями в направлении красных показателей цвета. Тем удивительнее, что цвета галактик в пределах группы находятся в достаточно узком диапазоне.

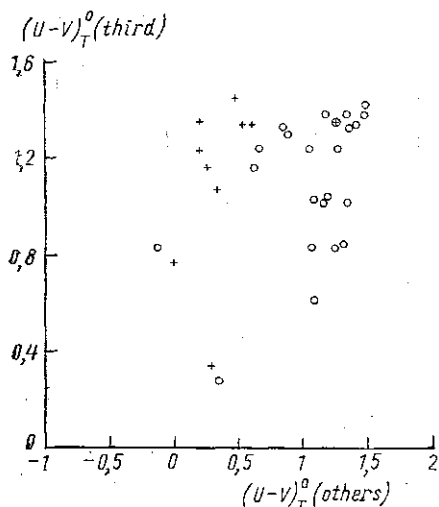


Рис. 3

Изучение морфологического состава данной выборки объектов показывает, что основной вклад в эту корреляцию вносят галактики поздних морфологических типов, причем известно, и мы еще раз обращаем на это внимание, что для этих объектов в UBV -системе отсутствует зависимость цвет—светимость. Таким образом, дан-

ный эффект не может быть результатом применения критерия отбора *галактик групп, связанного со светимостями галактик данной выборки*. В пользу этого говорит также упомянутая выше корреляция морфологических типов компонентов.

Обнаруженный реальный физический эффект свидетельствует о том, что, во-первых, галактики в пределах каждой группы имеют близкий состав звездного населения, который мог сформироваться только в процессе совместного и длительного развития компонентов, а во-вторых, группы галактик разного размера, состава и различной кратности принадлежат к одному классу объектов, имеющих единый механизм образования и одинаковую эволюцию. Из диаграмм видно, что каждая группа галактик находится на определенном этапе своего развития, который характеризуется близостью звездного населения всех компаньонов.

На основе имеющихся данных по исследованиям групп галактик можно попытаться объяснить обнаруженную корреляцию интегральных показателей цвета компонентов этих систем.

4. Обсуждение результатов

Рассмотрим ряд факторов, оказывающих влияние на эволюцию членов групп, и некоторые обнаруженные наблюдательные свойства галактик систем этого типа с точки зрения полученной в данной работе зависимости.

Известно, что существенный вклад в эволюцию звездного населения галактик вносит их взаимодействие с межгалактической средой системы. В группах галактик дисперсия скоростей слишком мала, чтобы на процесс их эволюции оказывал значительное влияние механизм выметания межзвездного газа таранным давлением при воздействии межгалактического газа группы. Горячая среда в группах галактик тем не менее присутствует, и возможно ее влияние на межзвездный газ галактики посредством его прогрева рентгеновским излучением. Как показали исследования в рентгеновском диапазоне спектра, горячий межгалактический газ зарегистрирован примерно в 30% наблюдавшихся групп галактик [15], и в таких группах, возможно, этот механизм и работает. Но на вышеприведенных диаграммах цвет—цвет такие системы не выделяются ни на общей зависимости, ни дисперсией скоростей вдоль оси абсцисс.

Как отмечалось выше, морфологический состав групп и близость морфологических типов галактик в пределах группы не оказывают существенного влияния на корреляцию показателей цвета компонентов. Тем не менее для общей картины эволюции этих систем важны зависимости морфологии компаньонов в этих системах от интегральных параметров групп. Изучение групп галактик различных типов (бедных или богатых по числу членов, широких или компактных по пространственному распределению) показывает, что с ростом степени компактности уменьшается доля спиральных галактик по сравнению с объектами ранних типов [16], а в бедных группах галактик доминируют галактики ранних морфологических типов, эллиптические и линзовидные [15], причем размеры групп в среднем возрастают с увеличением весов *E*- и *S0*-галактик по отношению к спиральям [17]. Кроме того, в последней работе отмечено, что попарное расстояние в группах между галактиками ранних типов значительно меньше среднего взаимного расстояния между спиральями.

Многочисленные работы по изучению групп галактик показали, что в зависимости от морфологического состава, богатства и компактности систем большое влияние на их эволюцию оказывают процессы парных взаимодействий типа галактика—галактика. Фотометрические наблюдения галактик в группах на примере объектов из атласа Арпа [18] показывают, что взаимодействия вызывают значительное «поглощение» интегральных показателей цвета галактики, а избытки цвета галактик свидетельствуют о сильном излучении пыли в областях активного звездообразования. Обычно такие наблюдения характеризуют объекты, испытывающие вспышки звездообразования, и авторы объясняют их возможностью перетекания вещества с соседнего компонента при взаимодействиях галактик. В [19, 20] был предложен механизм эволюции двойных систем, объясняющий существование корреляции этого типа, где преобладающее влияние на развитие компонентов оказывают процессы обмена веществом между последними, причем на начальных этапах эволюции доминирует обмен газовыми массами, а на последующих — еще и звездами.

Модели динамической эволюции групп галактик (см., напр., [21]) в рамках гравитационной задачи N -тел с учетом газовой составляющей подтверждают эту точку зрения. При парных столкновениях галактик газ в силу неупругости взаимодействия может задерживаться в одной из галактик или выметаться из обеих галактик и образовывать отдельное газовое облако. Неупругие столкновения газа приводят к общей потере кинетической энергии и могут способствовать образованию тесных пар, повторным вспышкам звездообразования в компонентах и даже слиянию галактик. Несмотря на это, захват одной галактикой газа другой происходит в моделях гораздо чаще, чем слияние галактик. Тем более что в группах галактики имеют небольшие относительные скорости (как показано в [22], средняя дисперсия скоростей в группах составляет величину порядка 100 км/с).

Таким образом, процессы взаимодействия галактик, по-видимому, играют значительную роль в эволюции групп галактик.

Изучение распределения ярчайших членов групп по абсолютным величинам и сравнение его с аналогичным распределением для членов скоплений [23, 24] показало, что с большой степенью вероятности, в отличие от центральных галактик скоплений, такие объекты в группах не составляют отдельного класса, т. е. не отличаются по структурным и физическим свойствам от остальных членов групп. Этот вывод убедительно подтверждается в данной работе: ярчайшие члены групп не отличаются от преобладающего типа галактического населения групп и по фотометрическим признакам.

Все рассмотренные выше свойства групп галактик свидетельствуют о том, что группа является единым конгломератом однотипных объектов, свойства которых тесным образом связаны как со свойствами каждого из членов системы, так и с типом и свойствами системы в целом. С этой точки зрения заманчивым представляется объяснение полученных в данной работе корреляционных зависимостей для групп галактик и вышеперечисленных свойств этих систем в рамках единого сценария их эволюции. При этом доминирующую роль в эволюции галактик в группах играют обмен газом и звездами между галактиками, а также между галактиками и межгалактической средой системы, в которую поступают газ и звезды, теряемые компаньонами в результате их взаимодействий друг с другом, и внутренние механизмы (вспышки звездообразования, вспышки сверхновых в галактиках, испарение звезд из галактик и т. д.). Механизмами, служащими дви-

жущей силой эволюции этих систем, являются: потеря массы галактиками, аккреция вещества на компоненты групп [25], отдаленные парные столкновения между членами групп [26] и обмен веществом при тесных взаимодействиях.

Основным фактором, определяющим эволюционные свойства галактик в группах, является перераспределение вещества между членами одной системы (в том числе и первичного газа, оставшегося в группе после ее формирования). Основными поставщиками межзвездного газа в межгалактическую среду группы являются карликовые галактики. Это подтверждается большим процентом обнаруженных карликов низкой поверхностной яркости в группе M81 и других группах.

Такую модель эволюции в малых группах можно было бы назвать моделью системы с общим газово-звездным резервуаром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Holmberg E.//Ann. Lund. Obs. 1937. N 6. P. 173.
2. Geller M. J., Huchra J. P.//Astrophys. J. Suppl. Ser. 1983. 52. P. 61.
3. Maia M. A. G., da Costa L. Nicolaci//Astrophys. J. 1990. 352. P. 457.
4. Hickson P.//Astrophys. J. 1982. 255. P. 382.
5. Postman M., Geller M. J.//Astrophys. J. 1984. 281. P. 95.
6. Тихонов Н. А. Компактные группы галактик: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л., 1987.
7. Hickson P., Kindler E., Huchra J. P.//Astrophys. J. 1988. 331. P. 64.
8. Lasker B. M.//Astron. J. 1970. 75. P. 21.
9. Демин В. В.//Астрон. журн. 1984. 6. P. 1063.
10. Hickson P.//Paired and Interacting Galaxies: Int. Astron. Un. Coll., 124/Ed. J. W. Sulentic, W. C. Keel, M. Telesco. Tuscaloosa Univ. of Alabama, Dec. 4—7, 1989. 1990. P. 124.
11. Fried J. W.//Astron. and Astrophys. 1988. 189. P. 42.
12. Караченцев И. Д.//Пробл. космич. физики. 1970. 5. С. 201.
13. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. J. The Second Reference Catalogue of Bright Galaxies. Austin, 1976.
14. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. G. et al. The Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. Springer-Verlag, 1990.
15. Biermann P., Kronberg P. P.//Clusters and Groups of Galaxies: Int. Meet. Trieste, Sept. 13—16, 1983. Dordrecht, 1984. P. 395.
16. Hickson P., Ninkov Z., Huchra J. P. et al.//Ibid. P. 367.
17. Mezzetti M., Pisoni A., Giurichin G. et al.//Astron. and Astrophys. 1985. 143. P. 188.
18. Joseph R. D., Meikle W. P. S., Robertson N. A. et al.//Occas. Repts. Roy. Obs. Edinburgh, 1984. N 13. P. 177.
19. Демин В. В., Сажин М. В.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1985. 26, № 2. С. 100.
20. Демин В. В., Сажин М. В.//Там же. № 3. С. 74.
21. Schmutzler T., Biermann P.//Astron. and Astrophys. 1985. 149. P. 383.
22. Tully R. B.//Astrophys. J. 1987. 321. P. 280.
23. Bhavsar S. P., Barrow Z. D.//Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1985. 213. P. 857.
24. Kollatschny W., Fricke K. J., Fritze V. et al.//Mitt. Astron. Ges. 1986. N 65. P. 246.
25. Robertis M. de, Henriksen R. N.//J. Roy. Astron. Soc. 1980. 74. P. 189.
26. Icke V.//Astron. and Astrophys. 1985. 144. P. 115.

Поступила в редакцию
27.04.94