

УДК 524.77-13

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК В ОБЛАСТИ СВЕРХСКОПЛЕНИЯ БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА

© 2009 Ф. Г. Копылова, А. И. Копылов

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 20 августа 2008 г.; принята в печать 25 сентября 2008 г.

Мы исследовали свойства скоплений галактик в области сверхскопления галактик Большая Медведица (БМ) с использованием наблюдательных данных из каталогов SDSS и 2MASS. Исследуемая область включает в себя сверхскопление (контраст плотности по галактикам равен 3, по скоплениям — 15) и скопления поля в объеме диаметром 150 Мпк вокруг сверхскопления. Суммарная динамическая масса 10 скоплений галактик в БМ равна  $2.25 \times 10^{15} M_{\odot}$ , масса 11 скоплений галактик в окрестности БМ равна  $1.70 \times 10^{15} M_{\odot}$ . В вириализованных областях скоплений доля галактик ранних типов среди галактик ярче чем  $M_K^* + 1$  составляет в среднем 70% и практически не зависит от массы скопления. Их доля и средние фотометрические параметры практически одинаковы как в скоплениях БМ, так и в скоплениях из его окрестностей. Такие характеристики скоплений галактик, как инфракрасные светимости до фиксированной звездной величины, отношение массы к светимости, количество галактик, коррелируют с массой скоплений практически таким же образом, как у других выборок скоплений галактик. Но у скоплений, принадлежащих БМ, разброс в два раза меньше, чем в поле, что может быть связано с общностью их происхождения и синхронизированной динамической эволюцией в сверхскоплении.

Ключевые слова: галактики, скопления галактик: сверхскопление *Ursa Major*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Скопления галактик, самые большие вириализованные системы, образуют структуры большего размера — сверхскопления. Сверхскопления содержат от двух до двадцати скоплений и групп, которые расположены либо в волокнах, либо в узлах пересечения волокон. Сверхскопления имеют большие размеры, поэтому для изучения их характеристик необходимо использовать большое количество наблюдательных данных — в первую очередь, лучевые скорости галактик. Например, по данным обзора 2dF, Эйнасто и др. [1], получили такое свойство сверхскоплений галактик: богатые скопления галактик, находящиеся в наиболее плотных областях богатых сверхскоплений, содержат больше галактик ранних типов. При этом ярчайшие галактики основных скоплений (яркие скопления, находящиеся вблизи пика плотности светимости) в богатых сверхскоплениях ярче, чем в бедных сверхскоплениях или в группах в поле. Исследование богатого сверхскопления Северная Корона ( $z \sim 0.07$ , [2]) показало, что в системе наблюдается избыток ярких галактик по сравнению с полем. Изучение свойств галактик в сверхскоплении Шепли дало следующие результаты [3]: по зависимости цвет-звездная величина ( $B - R$ ,  $R$ ) найдено, что в ядрах скоплений галактики ранних

типов на  $0^m.015$  краснее (старше), чем в менее плотных областях, а доля галактик поздних типов растет с уменьшением локальной плотности галактик и с увеличением звездной величины. Кроме того, составная функция светимости сверхскопления плохо описывается одной функцией Шехтера [4].

Целью данной работы является сравнение свойств скоплений галактик, а также средних характеристик их членов в пределах вириального радиуса, из двух выборок: 1) 12 скоплений, расположенных в сверхскоплении Большая Медведица, и 2) 12 изолированных скоплений поля, находящихся в ближайших окрестностях сверхскопления БМ в пределах радиуса 75 Мпк от центра системы. Работа выполнена нами с привлечением данных каталогов 2MASS (Two-Micron All-Sky Survey) и SDSS (Sloan Digital Sky Survey). Статья организована следующим образом. Во второй части описаны параметры скоплений галактик: дисперсия скоростей галактик, радиус вириальной области, масса. В третьей части вычислены и приведены полные светимости скоплений в фильтре  $K_s$  (далее просто  $K$ ), составная функция светимости скоплений системы, функции светимости галактик ранних и поздних типов и различные корреляции между полученными характеристиками скоплений галактик. В Заключении перечислены полученные

результаты. В работе мы использовали следующие космологические параметры:  $\Omega_m = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$ ,  $H_0 = 70$  км/с/Мпк.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОПЛЕНИЙ

Исследуемая нами выборка составлена из 12 скоплений галактик, принадлежащих сверхскоплению БМ (сверхскопление — эта область, в которой контраст плотности по галактикам примерно равен 3 [5]), и 12 скоплений галактик, расположенных в окрестности БМ с меньшим контрастом. Красные смещения скоплений заключены в диапазоне  $0.045 < z < 0.075$ . Для галактик мы использовали спектральные данные, представленные в каталоге SDSS (Data Release 5) и дополнили их данными из NED. В более ранних работах нами использовались Data Release 3 [6] и Data Release 4 [5], где по некоторым скоплениям (A1291, A1377, A1436, Apop4) данные были неполными. В этой работе мы уточнили все параметры скоплений галактик, взяв за основу каталог SDSS (в прежних работах мы ориентировались на каталог 2MASS).

### 2.1. Динамические характеристики скоплений галактик

Динамическая масса скоплений определялась нами по дисперсии лучевых скоростей галактик в предположении, что скопления находятся в вириальном равновесии и их массы растут линейно с радиусом. Согласно [7], радиус скопления, в пределах которого плотность превышает критическую в 200 раз, близок к вириальному и его можно оценить по формуле  $R_{200} = \sqrt{3}\sigma/(10H(z))$  Мпк. Масса в пределах  $R_{200}$  равна  $M_{200} = 3G^{-1}R_{200}\sigma_{200}^2$ . Таким образом, сначала мы оценили среднюю лучевую скорость скопления  $\langle cz \rangle$  и ее дисперсию  $\sigma$ , потом по дисперсии — радиус  $R_{200}$ . Галактики со скоростями больше  $2.5\sigma$  считались фоновыми. Итеративным способом мы нашли все параметры скопления в пределах данного радиуса.

Мы просуммировали полученные массы 10 скоплений галактик в БМ (кроме скоплений A1291B и Apop2 — об этих системах отдельно упомянуто ниже) и получили нижнюю оценку массы сверхскопления равную  $2.25 \times 10^{15} M_\odot$ . Масса 11 скоплений из окрестностей БМ (без A1279) равна  $1.70 \times 10^{15} M_\odot$ . В некоторых скоплениях галактик (A1270, RXCJ1010, RXJ1033) имеются субскопления как в пределах  $R_{200}$ , так и вблизи него, и поэтому полученные массы для них являются оценками снизу. В Таблице 1 представлены найденные параметры с ошибками, соответствующими ошибке определения  $\sigma$ . Центры скоплений галактик, как правило, совпадают

с ярчайшими галактиками скопления и близки к центрам рентгеновского излучения (если это излучение присутствует), кроме некоторых скоплений, рассмотренных ниже. В Таблице 1 также представлены рентгеновские светимости в полосе 0.1–2.4 keV из базы данных VAX [8]. Количество галактик  $N_z$  равно наблюдаемому числу галактик в скоплении в пределах  $R_{200}$ .

На рисунках с 1 по 22 представлены следующие характеристики скоплений: отклонение лучевых скоростей галактик от средней лучевой скорости скопления в пределах  $\pm 3000$  км/с; интегральное распределение числа галактик в зависимости от квадрата углового расстояния от центра скопления; расположение галактик на небе в пределах  $45'$  от центра скопления; распределение по лучевым скоростям галактик — членов скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ .

Сравнение наших значений дисперсии лучевых скоростей с полученными в работе [9] для 9 общих скоплений дает расхождения в пределах  $(-53 \text{ км/с}) < \Delta\sigma < (+55 \text{ км/с})$ . Для скоплений A1291B, RXCJ1053A и A1169 расхождения намного больше:  $(+170 \text{ км/с})$ ,  $(+158 \text{ км/с})$  и  $(-149 \text{ км/с})$ , соответственно, что, вероятно, связано с наличием в этих системах субскоплений и отличиями в методике определения центра скопления и выделения членов скоплений.

### 2.2. Комментарии к некоторым скоплениям

**A1270.** Скопление располагается в дальнем волокне системы БМ (см. Рис. 1 с в работе [5]). На Рис. 1 видно, что скопление выделилось из волокна, но в области с радиусом  $R_{200}$  еще имеются подсистемы. Поскольку в скоплении нет центральной ярчайшей галактики, центр скопления выбран нами посередине между двумя основными подсистемами.

**A1291A, B.** В скоплении A1291A (Рис. 2) имеется доминирующая галактика. Она принята за центр скопления, хотя центр рентгеновского излучения немного смещен относительно нее. Скопление A1291B значительно отклоняется от полученных далее зависимостей (раздел 5), а в распределении лучевых скоростей (Рис. 3) видны, по крайней мере, две подсистемы (правый нижний рисунок). Правдоподобное объяснение этому состоит в том, что скопление A1291B представляет собой проекцию нескольких групп галактик, образующих волокно, ориентированное вдоль луча зрения. В этом случае дисперсия скоростей галактик и масса скопления будут сильно завышены.

**A1436.** Скопление имеет вытянутую форму и резкие края. Возможно, оно наблюдается во время бурной динамической релаксации после слияния

Таблица 1. Динамические свойства скоплений

Скопление	$\alpha$ (J2000)	$\delta$	$cz_h$	$N_z$	$\sigma_c$	$R_{200}$	$M_{200}$	$L_{0.1-2.4\text{кэВ}}$
	hh mm ss dd mm ss	hh mm ss dd mm ss						
A1270	11 29 42.0	+54 05 56	20688	57	$553 \pm 73$	1.32	$2.82 \pm 1.06$	0.06:
A1291A	11 32 21.1	+55 58 03	15394	33	$391 \pm 68$	0.94	$1.01 \pm 0.54$	0.22
A1291B	11 32 02.4	+56 04 12	17357	37	$550 \pm 90$	1.32	$2.80 \pm 1.39$	-
A1318	11 36 03.5	+55 04 31	16914	40	$394 \pm 62$	0.95	$1.03 \pm 0.49$	0.04:
A1377	11 47 21.3	+55 43 49	15531	86	$632 \pm 68$	1.53	$4.28 \pm 1.38$	0.28
A1383	11 48 05.8	+54 38 47	17862	52	$464 \pm 64$	1.12	$1.69 \pm 0.74$	0.13:
A1436	12 00 08.8	+56 10 52	19499	89	$682 \pm 72$	1.64	$5.34 \pm 1.70$	0.52
Anon1	11 15 23.8	+54 26 39	20951	55	$608 \pm 82$	1.46	$3.78 \pm 1.53$	0.35
Anon2	11 19 46.0	+54 28 02	21147	14	$253 \pm 68$	0.61	$0.27 \pm 0.22$	-
Anon3	11 29 32.3	+55 25 20	20390	23	$375 \pm 78$	0.90	$0.88 \pm 0.56$	-
Anon4	11 39 08.5	+55 39 52	18303	25	$397 \pm 79$	0.95	$1.05 \pm 0.64$	-
Sh166	12 03 11.9	+54 50 50	15003	24	$327 \pm 67$	0.79	$0.59 \pm 0.38$	-
A1003	10 25 01.6	+47 50 28	18882	28	$562 \pm 106$	1.35	$2.98 \pm 1.95$	0.10
A1169	11 07 49.3	+43 55 00	17630	69	$582 \pm 70$	1.40	$3.32 \pm 1.20$	0.06:
A1279	11 31 39.3	+67 14 30	16285	6	$187 \pm 76$	0.45	$0.11 \pm 0.14$	-
A1452	12 03 28.4	+51 42 56	18542	20	$514 \pm 115$	1.23	$2.27 \pm 1.71$	-
A1461	12 04 24.7	+42 33 43	16177	13	$317 \pm 88$	0.77	$0.54 \pm 0.46$	-
A1507	12 14 48.6	+59 54 22	17978	38	$432 \pm 70$	1.04	$1.36 \pm 0.66$	0.07
A1534	12 24 42.8	+61 28 15	20967	18	$307 \pm 72$	0.74	$0.49 \pm 0.35$	-
RXCJ1010	10 10 16.1	+54 30 06	13736	34	$418 \pm 72$	1.01	$1.24 \pm 0.60$	0.02
RXJ1033	10 33 51.2	+57 03 21	13671	47	$413 \pm 60$	1.00	$1.19 \pm 0.52$	0.01
RXCJ1053A	10 54 11.2	+54 50 18	21551	49	$507 \pm 72$	1.21	$2.18 \pm 0.94$	0.53
RXCJ1053B	10 51 47.0	+55 23 00	22113	30	$420 \pm 77$	1.00	$1.23 \pm 0.42$	-
RXCJ1122	11 22 45.8	+67 09 55	16607	12	$223 \pm 64$	0.54	$0.19 \pm 0.16$	0.06

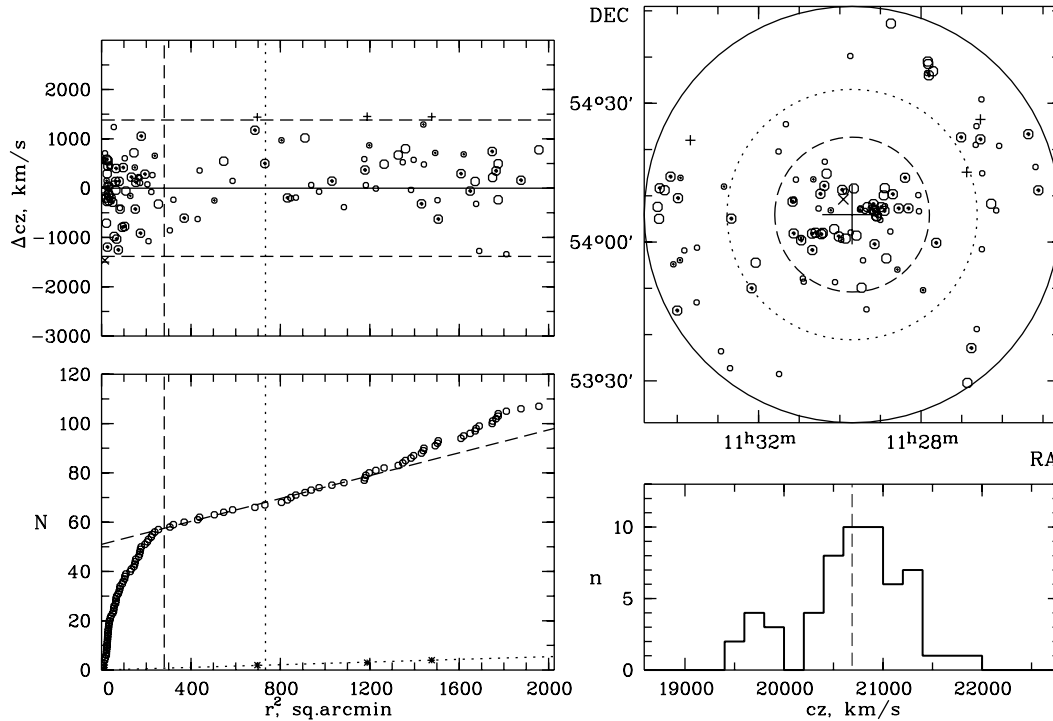
двух субскоплений вдоль волокна, когда большинство галактик уже сосредоточилось в пределах вириального радиуса, но ярчайшая галактика еще не заняла центр скопления. В качестве центра скопления мы взяли средние координаты двух ярчайших галактик.

**Anon1 (RXCJ1115.5+5426) и Anon2.** Скопления располагаются в дальнем волокне БМ (см. Рис. 1 с в [5]). Anon1 (Рис. 8) — довольно богатое рентгеновское скопление с сD-галактикой в центре, возможно, являющейся не обособленным вириализованным объектом, а частью волокна, примыкающего к скоплению Anon1. Скопление

Anon2, находящееся в  $30'$  к востоку от Anon1 — группировка ярких галактик ранних типов, с низкой дисперсией лучевых скоростей. Поэтому Anon2 не согласуется с полученными нами зависимостями для нормальных скоплений (раздел 5).

**A1169.** Скопление (Рис. 13) сильно вытянуто в картинной плоскости с северо-востока на юго-запад. В качестве центра взят центроид по всем галактикам, хотя ярчайшая галактика находится в юго-западной компактной подгруппе галактик.

**A1279.** Очень бедное скопление (Рис. 14), в пределах  $R_{200}$  находится одна эллиптическая галактика и несколько галактик позднего типа. Доля



**Рис. 1.** Распределение галактик в A1270. На левом верхнем рисунке показано отклонение лучевых скоростей галактик от средней лучевой скорости скопления, определенной по галактикам в пределах радиуса  $R_{200}$ . Горизонтальные штриховые линии соответствуют отклонениям  $\pm 2.5\sigma$ , вертикальной штриховой линией отмечен радиус  $R_{200}$ , пунктирной — радиус Эйбелла (2.14 Мпк). Кружками большего размера отмечены галактики ярче чем  $M_K^* + 1 = -23^m.29$ , кружками с точкой внутри — галактики ранних типов, плюсами — галактики заднего фона, крестиками — галактики переднего фона. На левом нижнем рисунке дано интегральное распределение полного числа галактик в зависимости от квадрата углового расстояния от центра скопления. Кружки соответствуют галактикам, обозначенным кружками на левом верхнем рисунке, звездочки — галактикам фона. Штриховой и пунктирной линиями выделены участки линейного роста числа галактик скопления и фона. На правом верхнем рисунке показано распределение на небе в экваториальной системе координат галактик, которые представлены на верхнем левом рисунке (обозначения те же). Кругами выделены области с радиусом  $R_{200}$  (штрихи) и радиусом Эйбелла (пунктир). Область исследования ограничена кругом с радиусом равным  $45'$  (сплошная линия). Большим крестом отмечен центр скопления. На правом нижнем рисунке представлено распределение по лучевым скоростям галактик — членов скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ . Штриховая вертикальная линия соответствует средней лучевой скорости скопления. Структура и обозначения на рисунках 1-22 одинаковые.

галактик ранних типов самая низкая среди скоплений и равна 0.25 до предела, равного  $M_K^* + 1$ . A1279 по своим характеристикам должно классифицироваться как группа галактик.

**RXCJ1010.** Не до конца сформировавшееся скопление (Рис. 19). Центр соответствует центру рентгеновского излучения, который совпадает с ярчайшей галактикой. На Рис. 19 (правый верхний рисунок) видно, что на небольшом расстоянии от центра, примерно в  $9'$  и  $18'$ , имеются небольшие субскопления, которые состоят из галактик ранних типов.

**RXJ1033.** Координаты центра рентгеновского излучения примерно совпадают с координатами ярчайшей галактики. Но поскольку в  $15'$  находится другое субскопление (Рис. 20), состоящее в основном из галактик поздних типов и имеющее лучевую скорость, отличающуюся на  $300$  км/с от основного

скопления, мы в качестве центра взяли положение центроида по всем галактикам скопления.

**RXCJ1053A,B.** В  $33'$  к северо-западу от основного, обнаруженного в рентгене, скопления (Рис. 21) имеется другое скопление (обозначено нами как RXCJ1053B) со средней лучевой скоростью, отличающейся от скорости основного скопления примерно на  $600$  км/с.

**RXCJ1122.** Центр скопления (Рис. 22) взят посередине между двумя ярчайшими галактиками.

### 3. ПОЛНАЯ СВИТИМОСТЬ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК В ФИЛЬТРЕ $K$

Основными барионными компонентами скоплений галактик являются: звезды в галактиках и между ними и горячий газ, заполняющий пространство между галактиками и скоплениями. Их

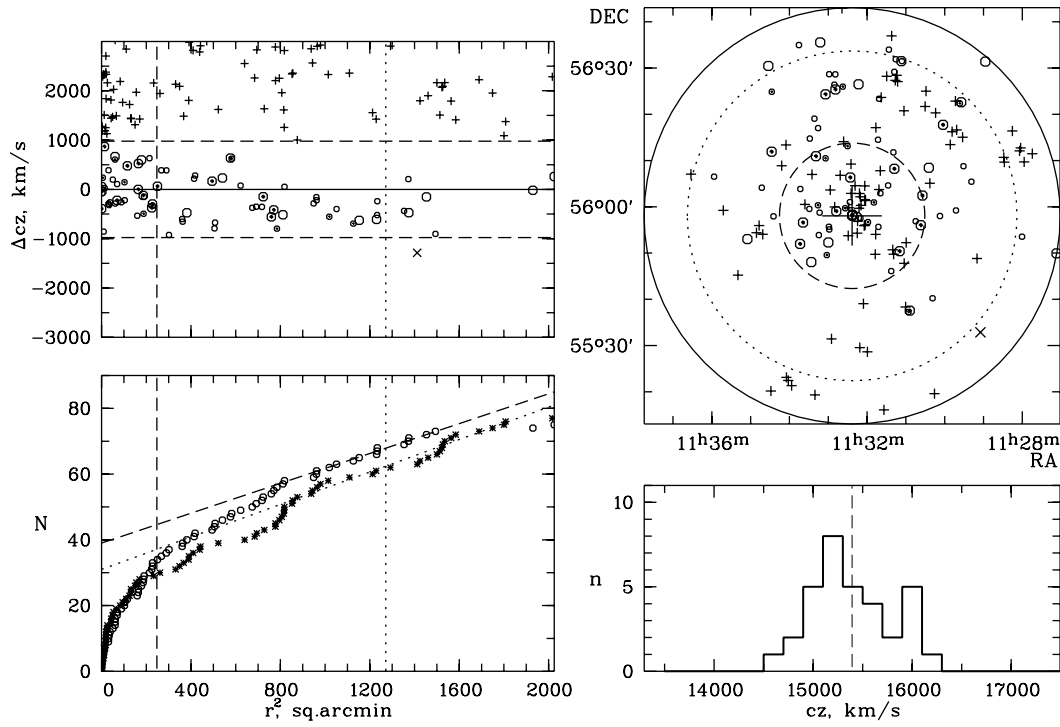


Рис. 2. Распределение галактик в A1291A.

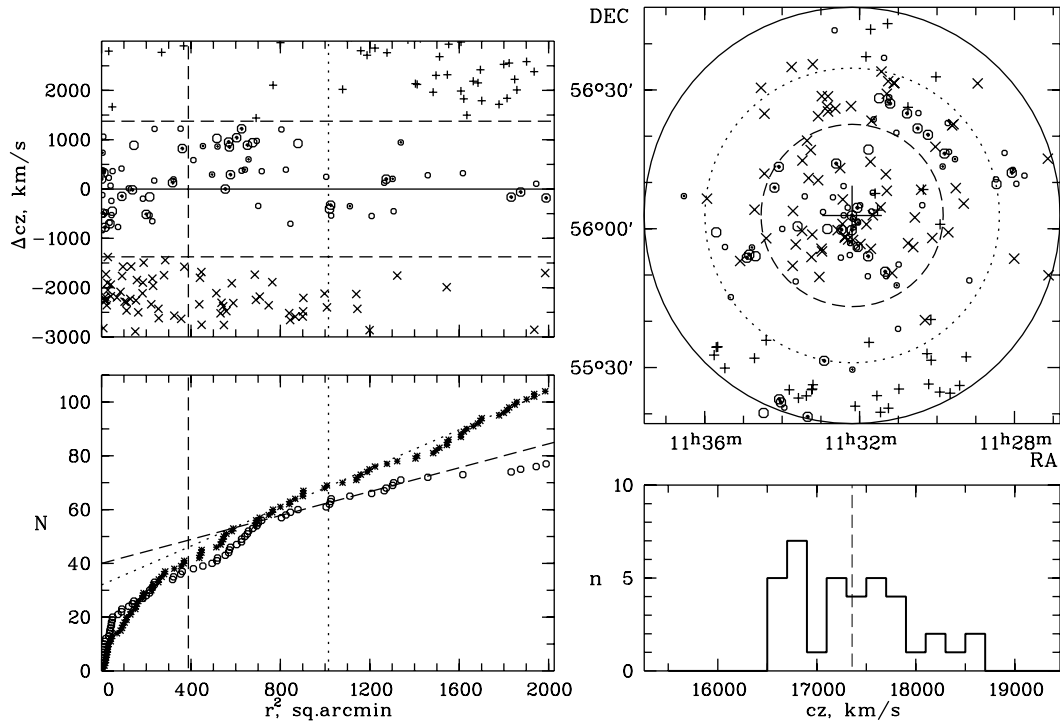


Рис. 3. Распределение галактик в A1291B.

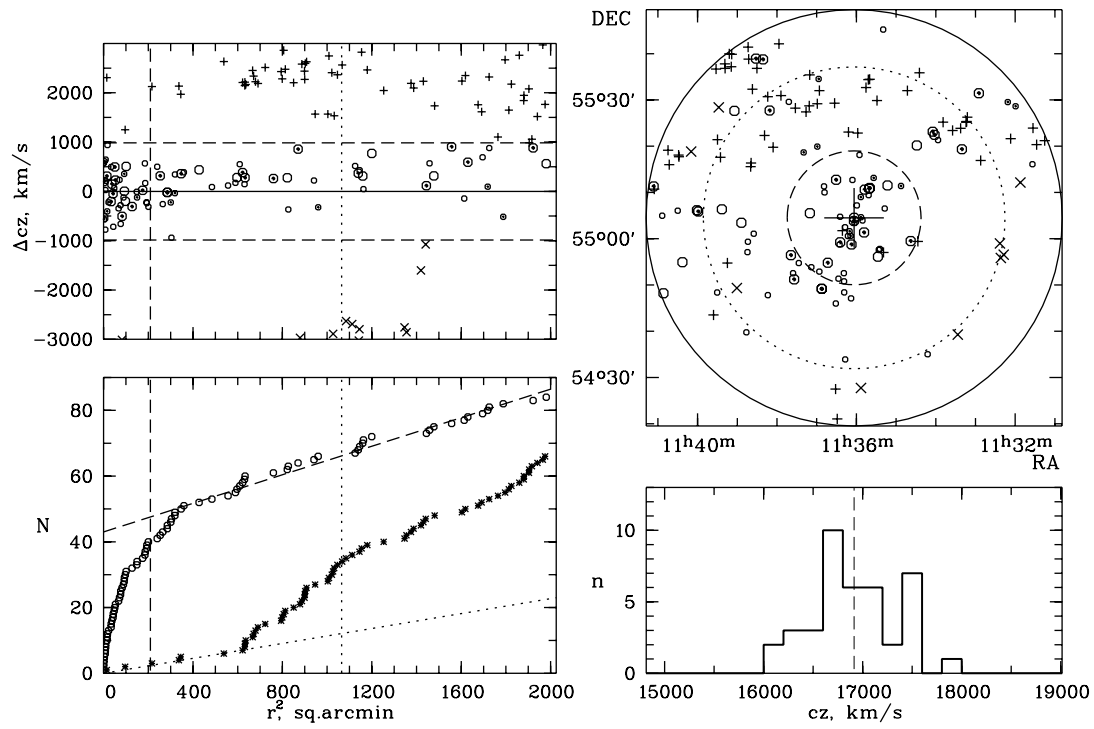


Рис. 4. Распределение галактик в A1318.

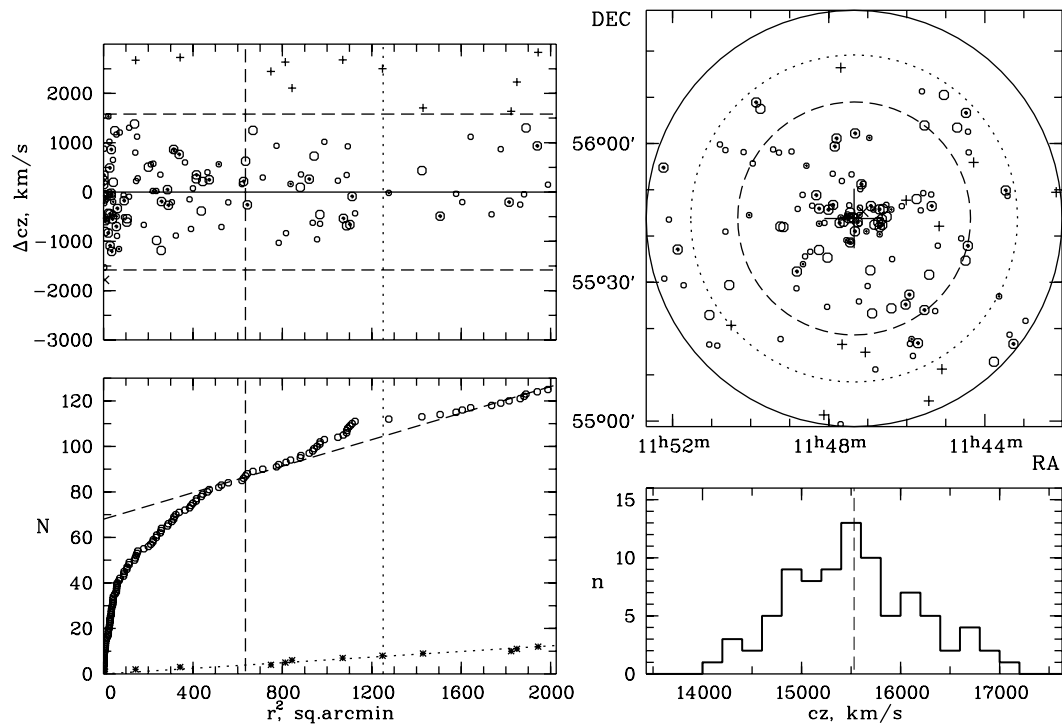


Рис. 5. Распределение галактик в A1377.

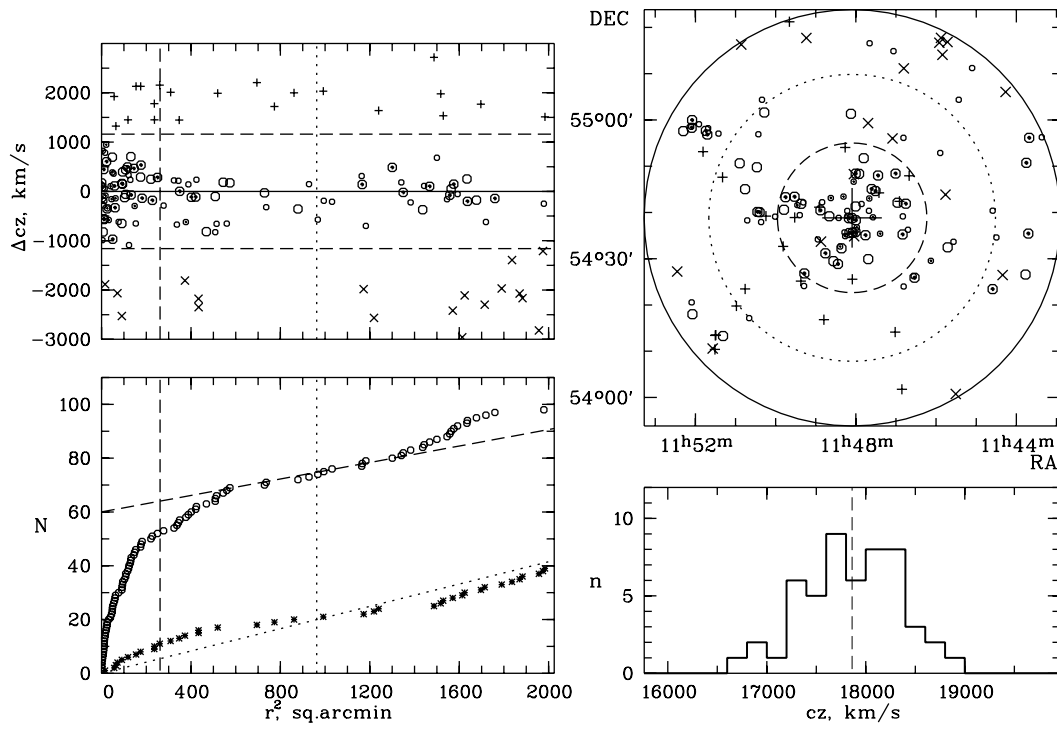


Рис. 6. Распределение галактик в A1383.

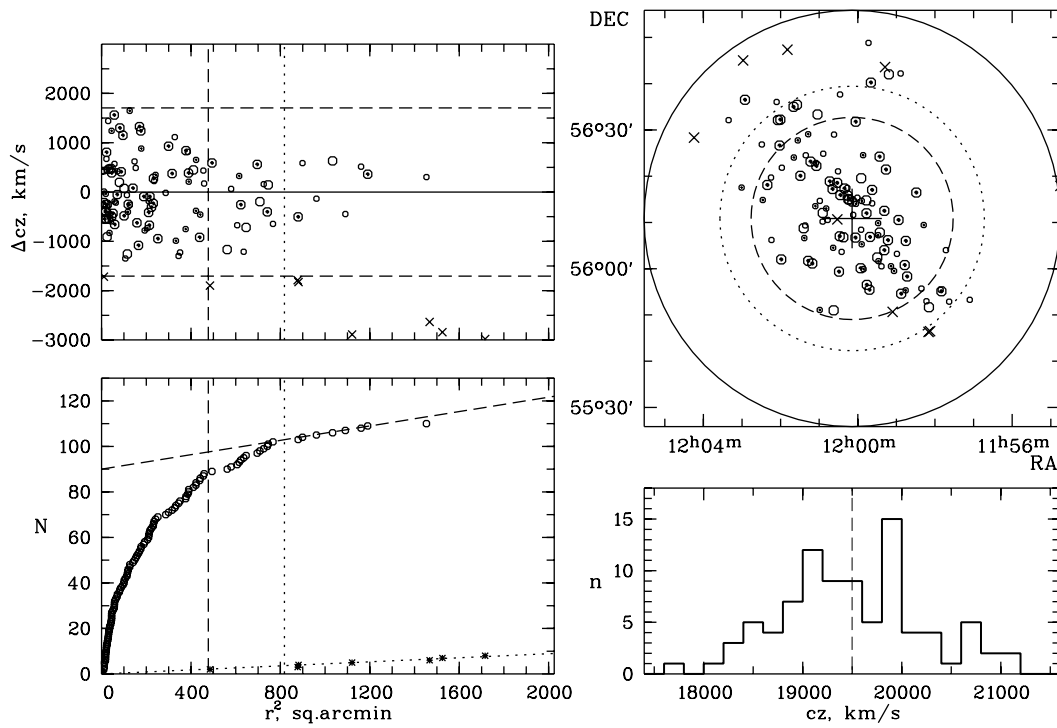


Рис. 7. Распределение галактик в A1436.

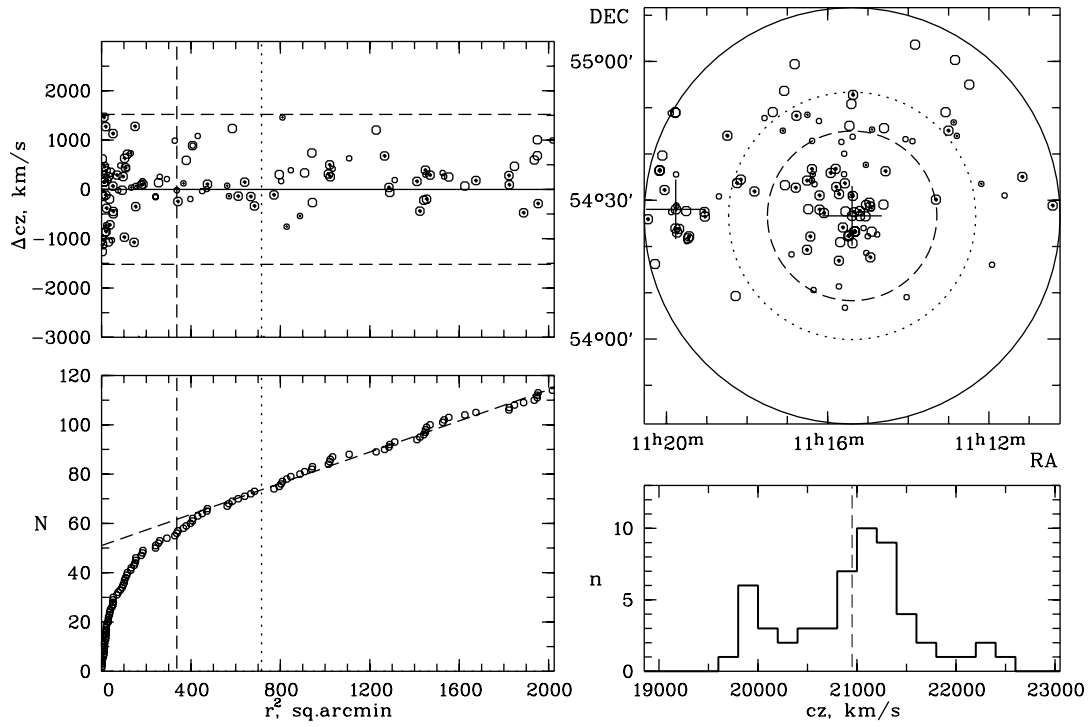


Рис. 8. Распределение галактик в Apn1 (Apn2 располагается слева от Apn1, его центр показан большим крестом).

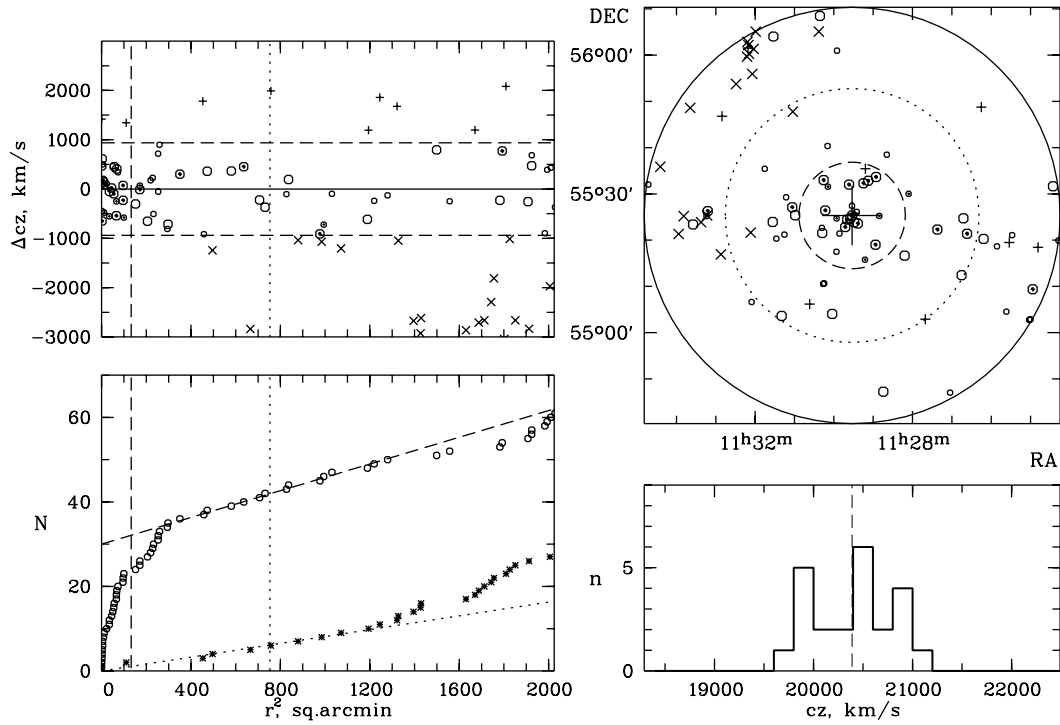


Рис. 9. Распределение галактик в Apn3.



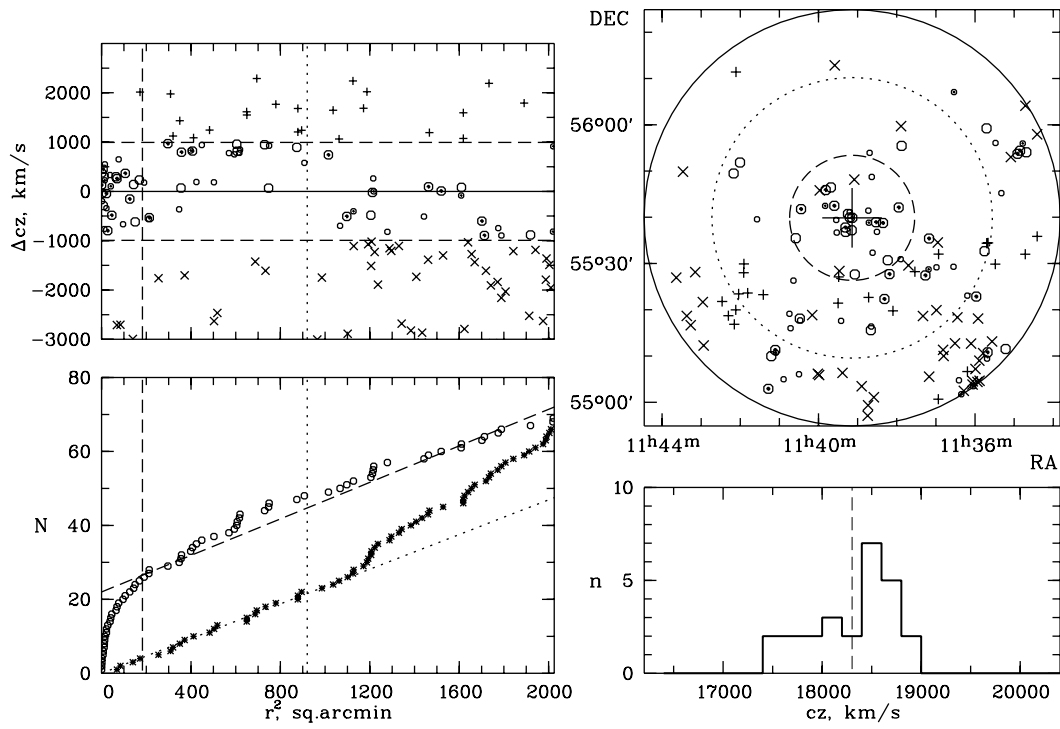


Рис. 10. Распределение галактик в Апоп4.

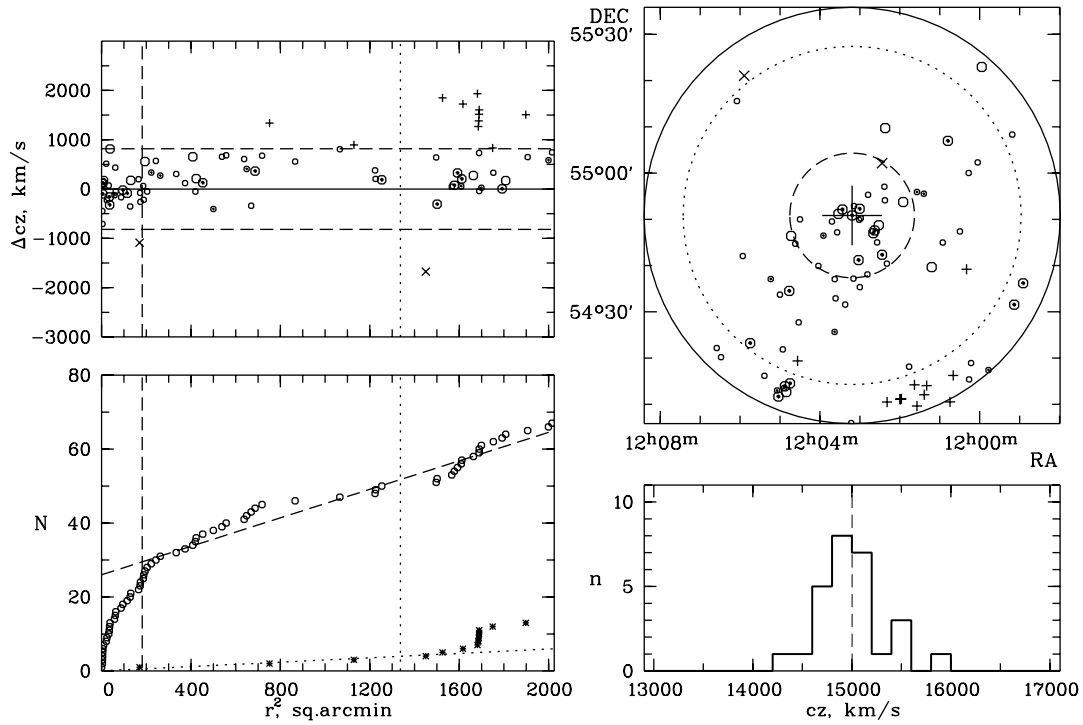


Рис. 11. Распределение галактик в Sh166.

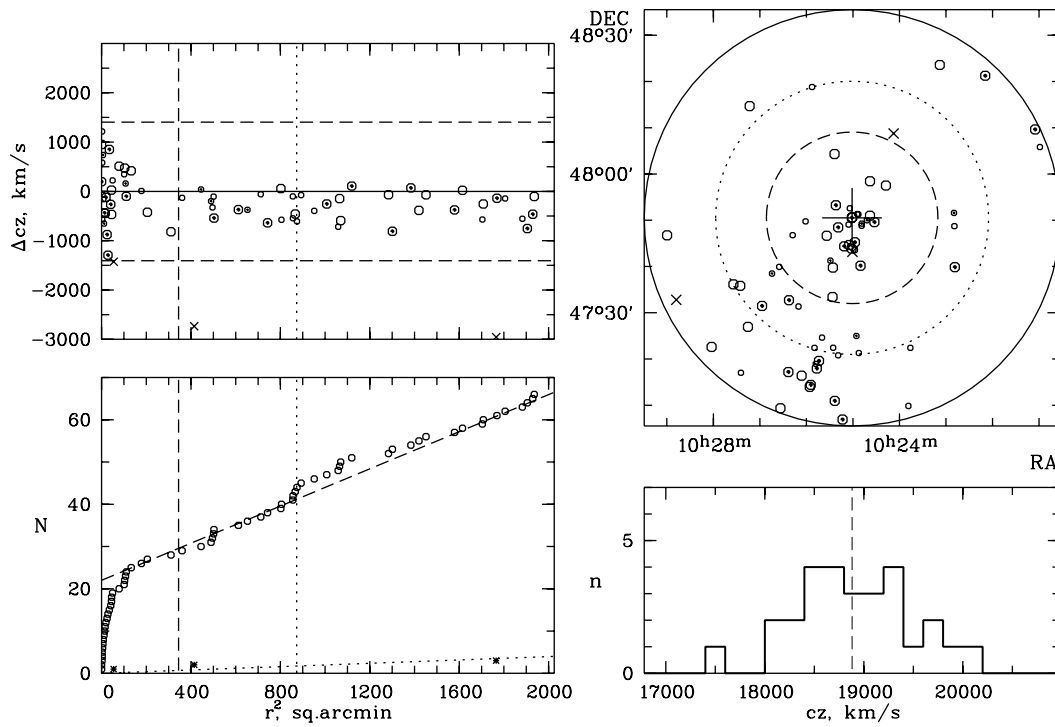


Рис. 12. Распределение галактик в A1003.

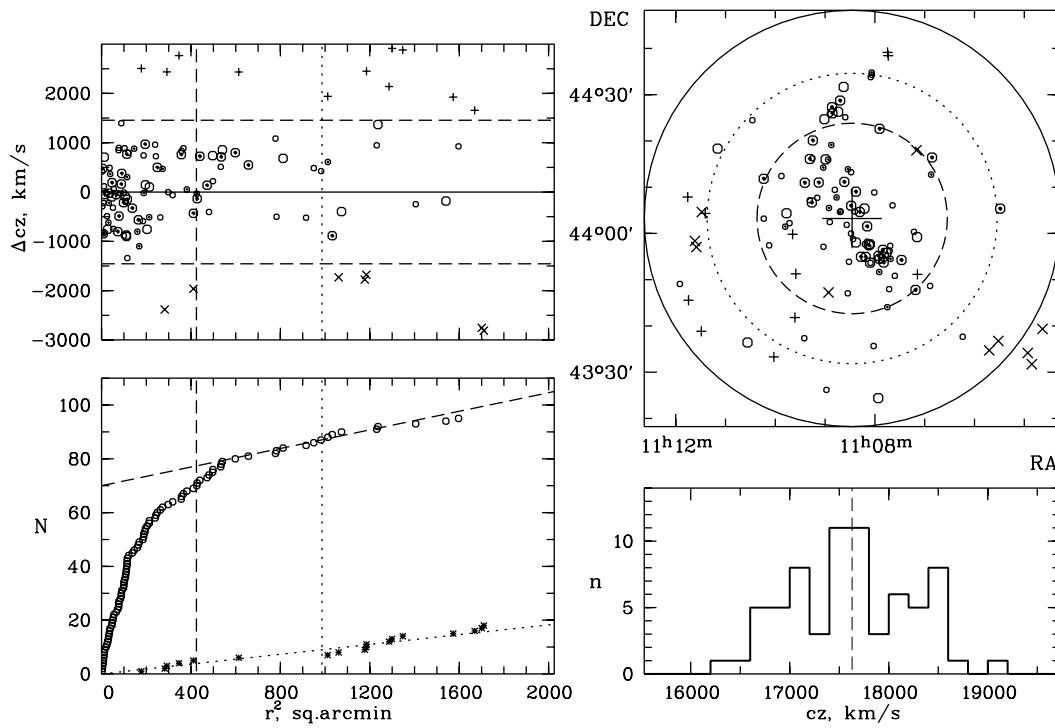


Рис. 13. Распределение галактик в A1169.

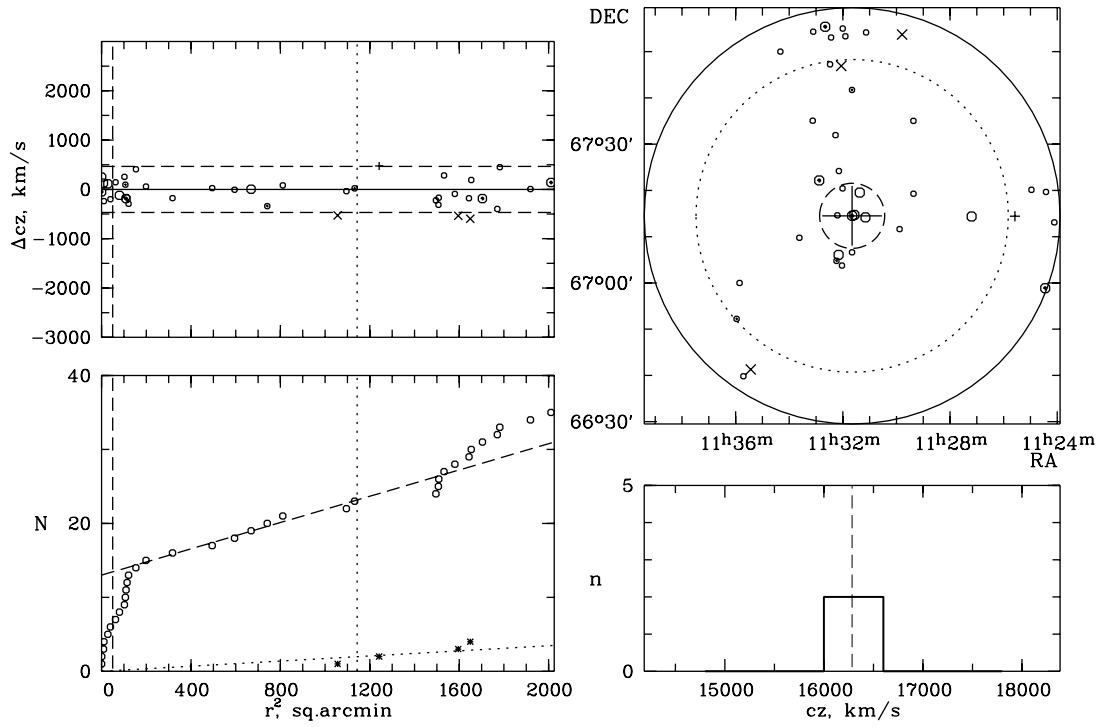


Рис. 14. Распределение галактик в A1279.

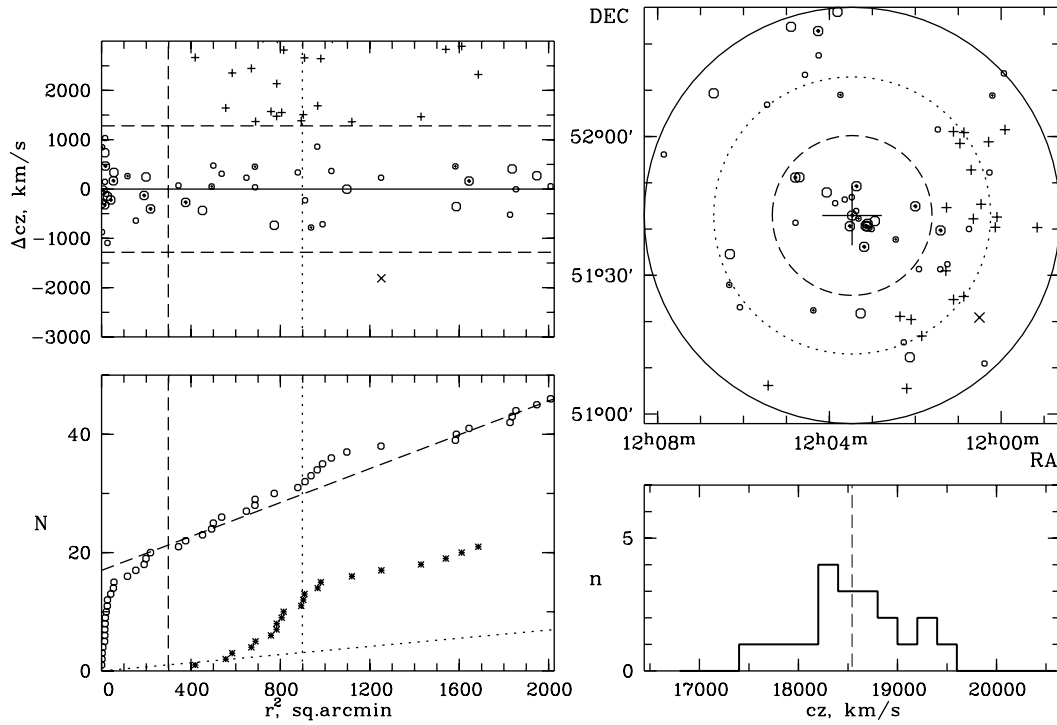


Рис. 15. Распределение галактик в A1452.

характеристики можно измерить в процессе наблюдений. На инфракрасное излучение (ИК) звезд не оказывают существенного влияния ни вспышки звездообразования в галактике, ни пыль, так как в центральных областях скоплений галактик расположены в основном галактики ранних типов со старым звездным населением. Поэтому ИК-излучение точнее отслеживает массу звездного населения скоплений галактик и часто для этого используется (см., например, [10–12]). Для определения полной светимости скоплений галактик в ИК-области в нашей более ранней работе [6] мы использовали результаты фотометрии, представленной в окончательной версии каталога 2MASS для протяженных объектов (XSC, [13]). Поскольку примерно половина галактик (на расстоянии, на котором находится система БМ ( $z \simeq 0.06$ )), обнаруженных спектрально в каталоге SDSS, не имела измерений в XSC, мы пользовались данными каталога точечных объектов PSC. Ошибки определения звездных величин ярких галактик в этом каталоге довольно большие, хотя для галактик порядка  $14^m$  (как правило, эти галактики отсутствуют в каталоге XSC) поправки составляют около  $0.2^m$ . На Рис. 23 показана для примера разность  $K(XSC) - K(PSC)$  для одних и тех же галактик, принадлежащих скоплению A1377.

В данной работе для определения  $K$ -величин мы применили другой метод, описанный в [14]. Для 99000 галактик SDSS (DR1) определена  $K(SDSS)$ -величина по показателю цвета  $u - r$ . Схема такая:  $K(SDSS) = r_{pet} - (r - K)$ , где  $r_{pet}$  — петросяновская звездная величина галактики в фильтре  $r$ , а  $r - K$  определяется по формуле:  $r - K = 1.115 + 0.94(u - r) - 0.165(u - r)^2 + 0.00851(u - r)^3 + 4.92z - 9.1z^2$  ( $z$  — красное смещение галактики). Кроме того, в цвет  $r - K$  введены поправки, которые равны  $0.496 - 0.154R_{50}^z$  для галактик поздних типов ( $u - r < 2.22$ ) и  $0.107 - 0.045R_{50}^z$  для галактик ранних типов ( $u - r \geq 2.22$ ); где  $R_{50}^z$  — радиус, ограничивающий область, которая излучает 50% петросяновского потока в фильтре  $z$ . Согласно работе Грэхэма [15], мы скорректировали звездные величины Петросяна до полной величины галактики по формуле:

$$r_{tot} = r_{pet} - 5.1 \times 10^{-4} \times \exp((R_{90}^r/R_{50}^r)^{1.451}),$$

где  $R_{90}^r$  и  $R_{50}^r$  радиусы областей, содержащих 90% и 50% потока Петросяна в фильтре  $r$ . На Рис. 24 приведена разница звездных величин вычисленных  $K(SDSS)$  и полных  $K(XSC)$ , полученных из изофотных величин, соответствующих поверхностной яркости  $\mu_K = 20^m/\square''$ , минус  $0.2^m$ , согласно рекомендации в [16]. Например, для 92 галактик

( $r_{pet} < 17.77^m$ ) скопления A1377 эта разница составила  $(0.12 \pm 0.02)^m$ , для остальных скоплений в пределах ошибок разница та же. При вычислениях  $K(SDSS)$  мы учли эту поправку. Кроме того, средняя ошибка изофотной величины галактики из каталога протяженных объектов для исследуемых скоплений равна  $0.1^m$ .

Полнота нашей выборки определяется полнотой спектральных данных каталога SDSS. При соблюдении условий  $r_{pet} < 17.77^m$  и  $\mu_r < 24.5^m/\square''$ , (петросяновская звездная величина галактики в фильтре  $r$ , исправленная за поглощение в Галактике, и петросяновская средняя поверхностная яркость, соответствующая эффективному радиусу) полнота SDSS данных оценивается в 99% [17], а для ярких галактик — в 95%. Мы добавили из NED отсутствующие в SDSS измерения лучевых скоростей ярких галактик (от 1 до 5 для разных скоплений).

Светимость скопления  $L_{200,K}$  равна сумме светимостей галактик в фильтре  $K$ , расположенных в пределах радиуса  $R_{200}$ , до фиксированной абсолютной величины. В качестве этого предела, как и в работе [10], мы приняли величину  $-21^m$ . Сначала мы перевели наблюдаемые звездные величины галактик в абсолютные по формуле:  $M_K = K - 25 - 5 \log_{10}(D_l/1 \text{ Мпк}) - A_K - K(z)$ , где  $D_l$  — расстояние до галактики для вычисления светимости,  $A_K$  — поглощение в Галактике,  $K(z) = -6 \log(1 + z)$  —  $K$ -поправка, согласно [16]. Поправку за эволюцию светимости мы не учитывали, поскольку диапазон изменения красных смещений в нашей выборке небольшой — от 0.045 до 0.075. Поглощение в Галактике, полученное нами из NED, для изучаемых скоплений галактик меньше  $0.01^m$ . Каталог 2MASS (XSC) не является глубоким обзором (фотометрический предел с полнотой выше 90% равен  $13.5^m$  в фильтре  $K$  [13]). Мы дополнили этот каталог галактиками каталога SDSS со звездной величиной  $r_{pet} < 17.77^m$ . Учитывая, что цвет  $r - K$  галактик ранних типов, составляющих в пределах  $R_{200}$  большинство, равен в среднем  $2.8^m$ , предел нашей выборки галактик с индивидуальными оценками величин в полосе  $K$  примерно равен  $15^m$ .

Определение полной светимости скопления галактик с помощью функции светимости (ФС) в пределах выбранного радиуса состоит из двух этапов [11]: сначала ФС нормируется на наблюдаемое число галактик, затем экстраполируется в область слабых звездных величин до выбранного предела. При этом обычно используются либо параметры функции Шехтера ( $M_K^*$  — характеристическая величина и наклон  $\alpha$ ) для галактик поля, либо они

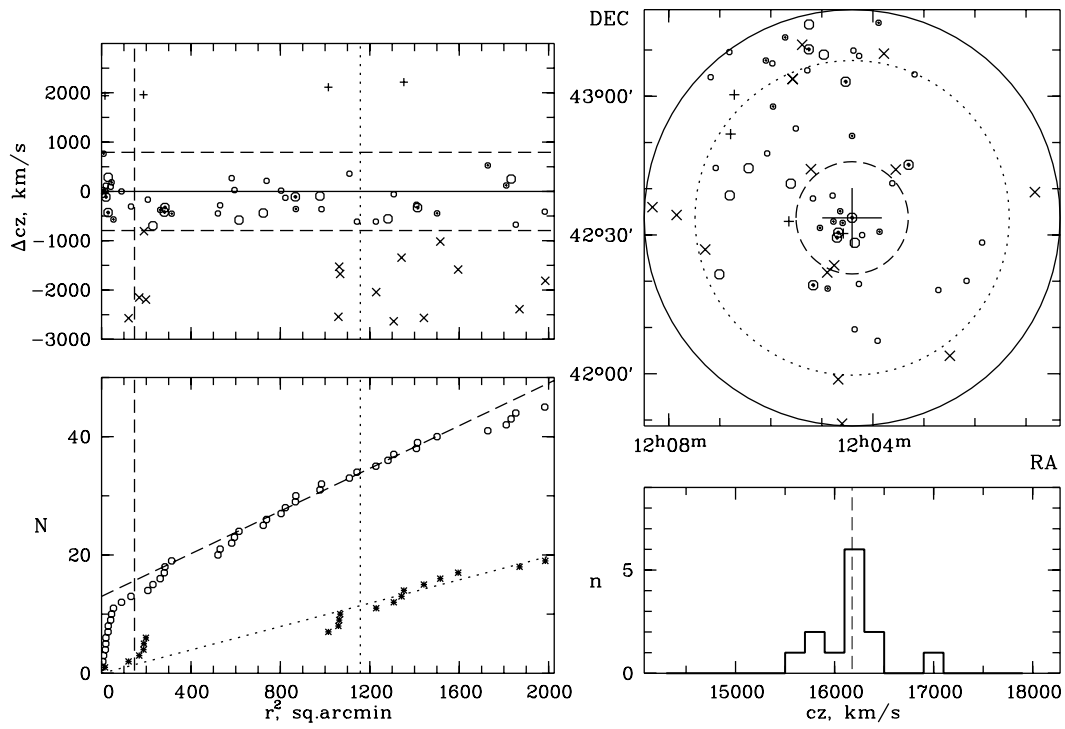


Рис. 16. Распределение галактик в A1461.

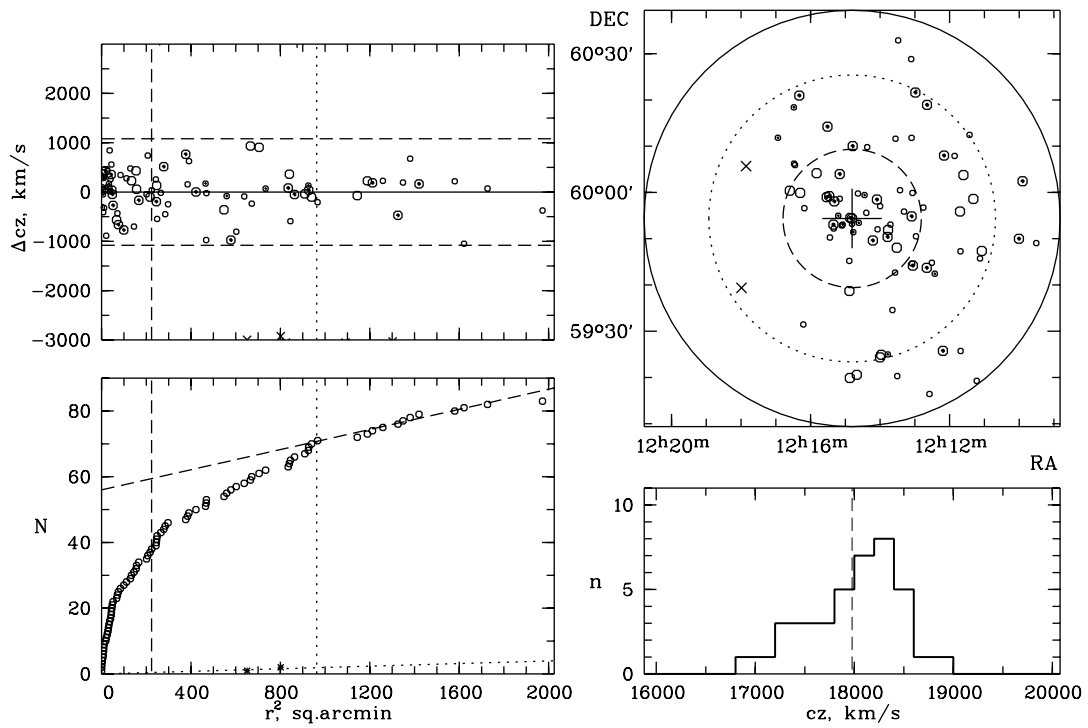


Рис. 17. Распределение галактик в A1507.

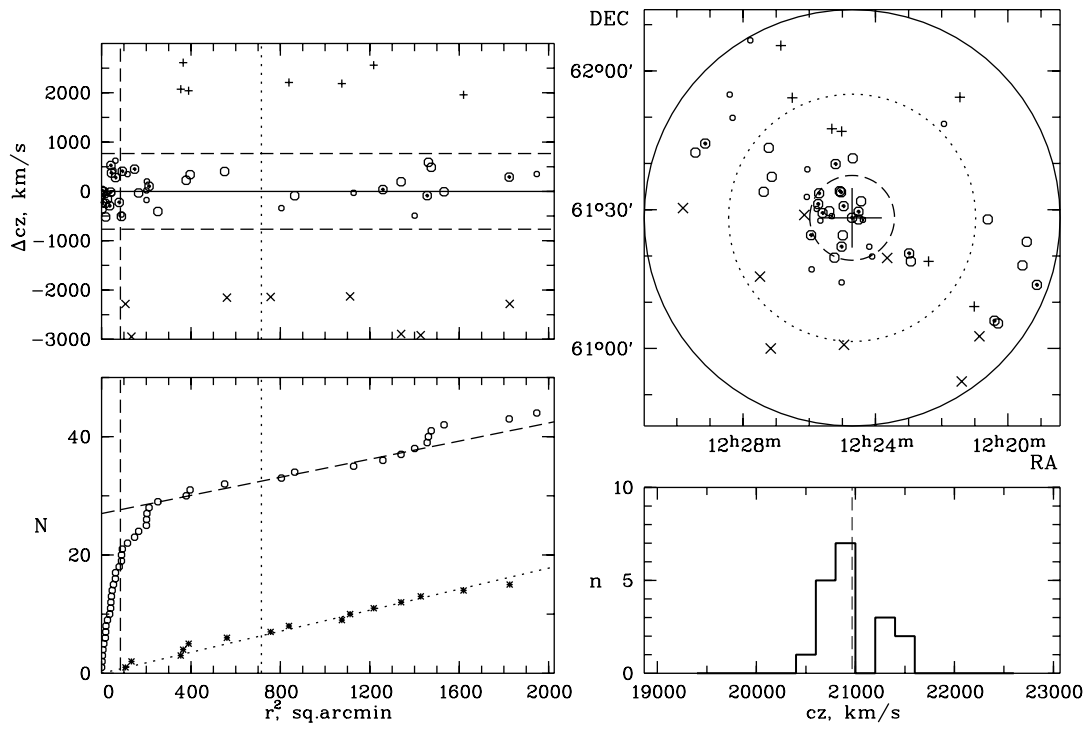


Рис. 18. Распределение галактик в A1534.

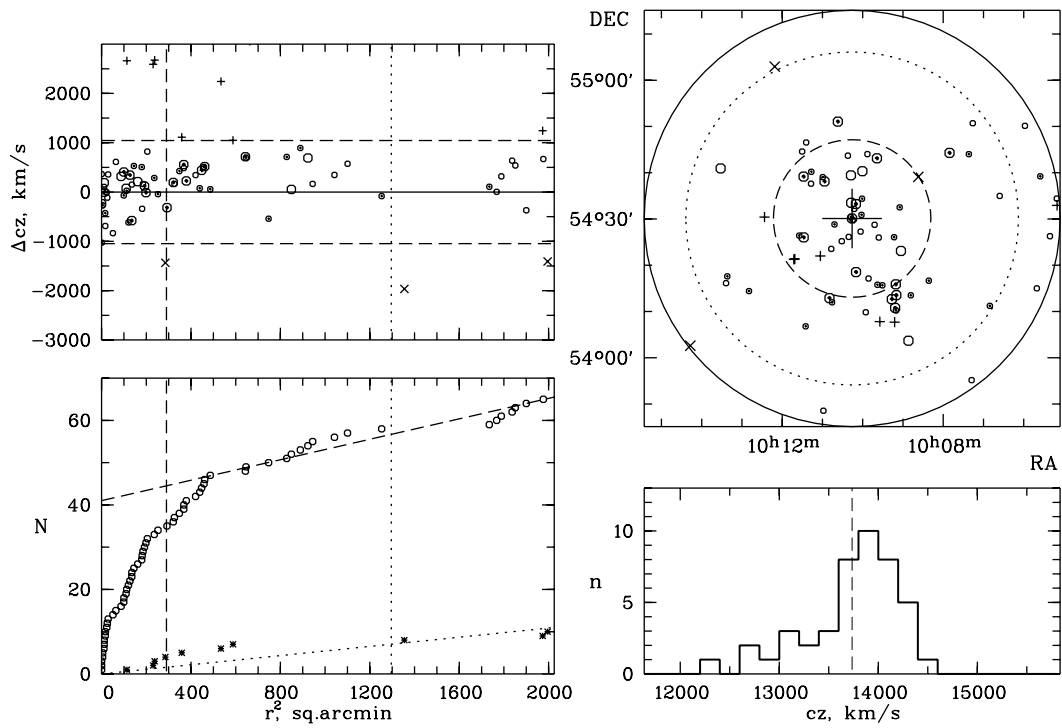


Рис. 19. Распределение галактик в RXCJ1010.

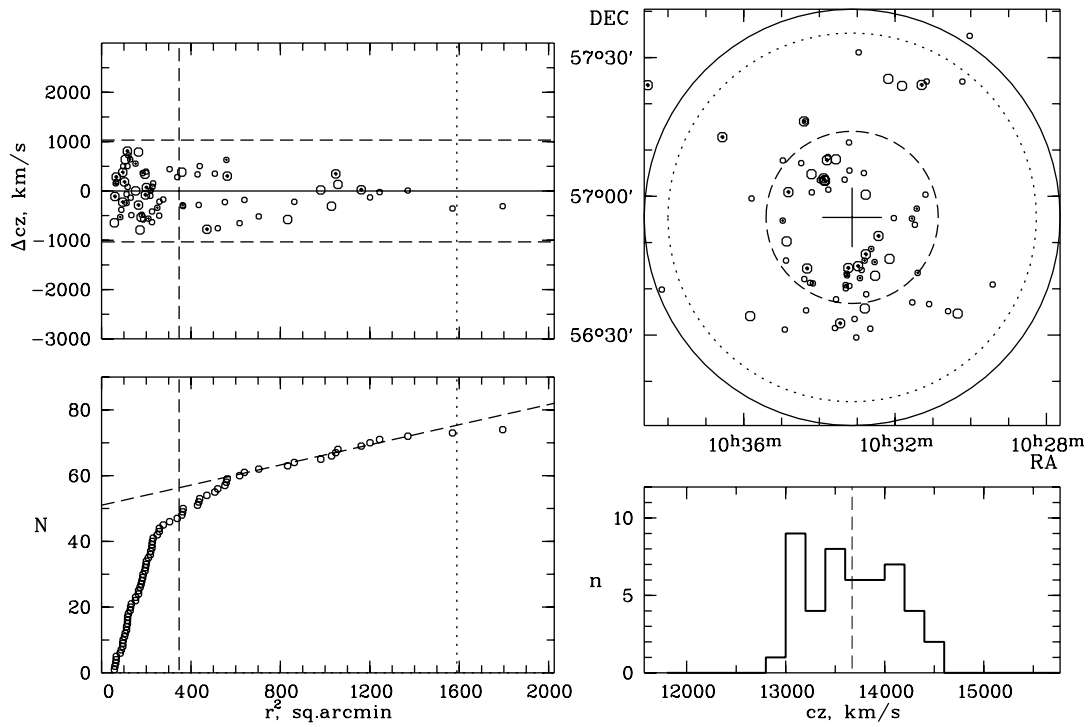


Рис. 20. Распределение галактик в RXJ1033.

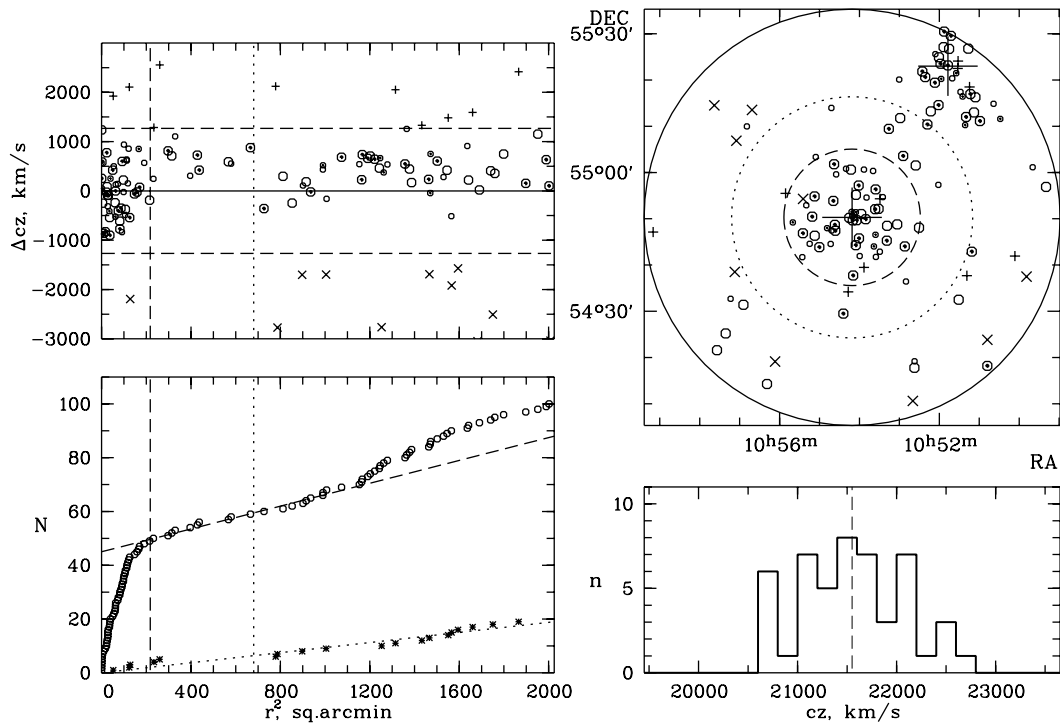


Рис. 21. Распределение галактик в RXSJ1053A (RXSJ1053B располагается в верхнем правом углу, его центр отмечен большим крестом).

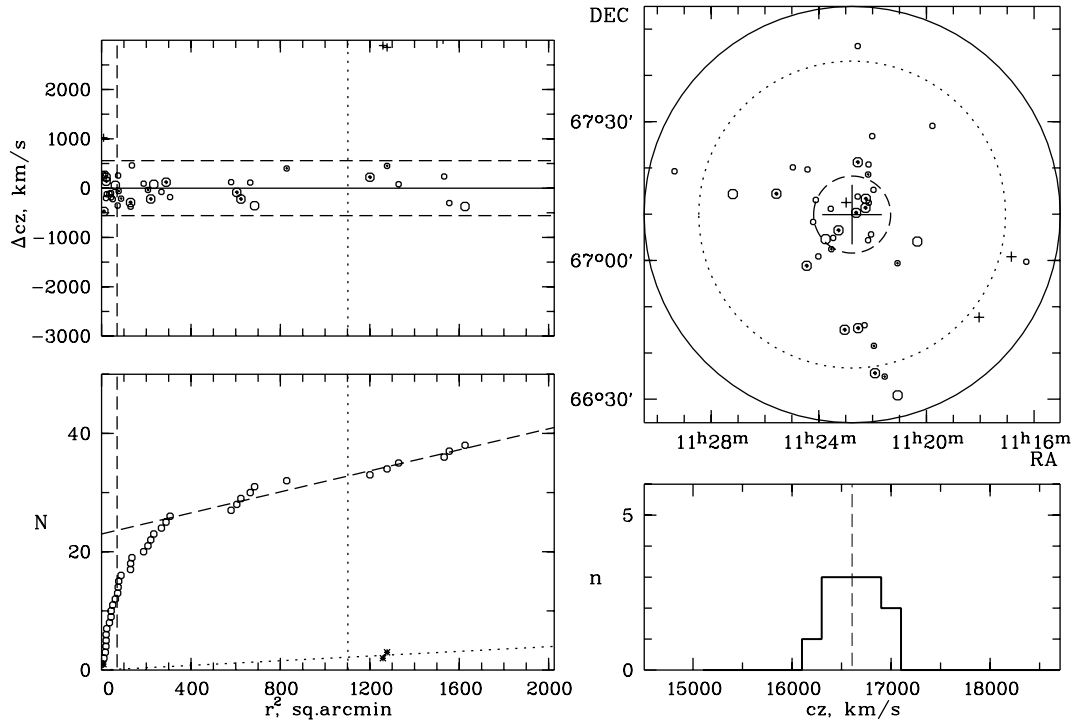


Рис. 22. Распределение галактик в RXCJ1122.

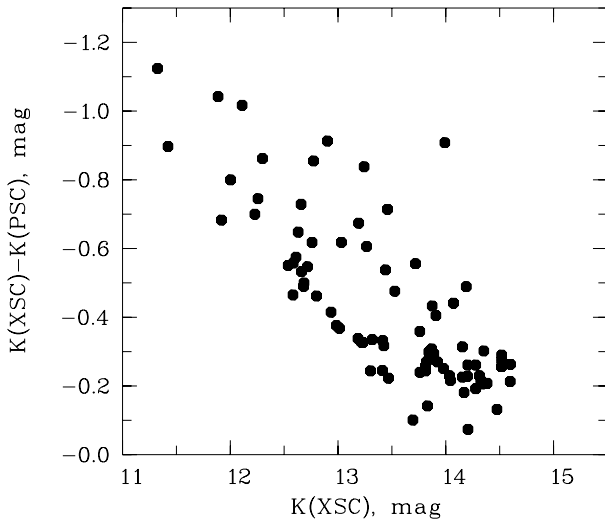


Рис. 23. Сравнение звездных величин в фильтре  $K$  для галактик по данным каталога протяженных объектов 2MASS XSC (звездная величина в пределах изотопы с поверхностной яркостью  $\mu_K = 20^m / \square''$ ) и каталога точечных объектов 2MASS PSC (звездная величина в стандартной апертуре) скопления A1377.

определяются для составной ФС исследуемой выборки. Чтобы оценить насколько при этом отличаются полученные светимости скоплений галактик,

сначала мы воспользовались параметрами функции светимости Шехтера для галактик поля, полученными в работе [16], которые часто используются другими авторами  $(M_K^*, \alpha) = (-24.14^m, -1.09)$ . Мы определили нормировку для каждого скопления:

$$\phi^* = N_{obs} / \int_{L_{K,lim}/L_K^*}^{+\infty} t^\alpha e^{-t} dt,$$

где  $t = L/L_K^*$ . Затем, просуммировав светимости галактик до предела  $15^m$ , и, используя полученную нормировку, мы проэкстраполировали ФС в область слабых величин до предела, равного  $-21^m$ , который соответствует светимости  $L_{K,min}$ :

$$L_K = \sum_{i=1}^{N_{наб}} L_{K,i} + \phi^* L_K^* \int_{L_{K,min}/L_K^*}^{L_{K,lim}/L_K^*} t^{\alpha+1} e^{-t} dt.$$

Такая процедура приводит к увеличению светимости скопления в среднем на 5%.

Во втором варианте определения полной светимости скоплений галактик мы нашли параметры функции Шехтера составной функции светимости для нашей выборки. С этой целью для каждого скопления были сделаны подсчеты галактик в интервалах, равных  $0.5^m$ . Затем построены составные функции светимости для вириализованных областей скоплений БМ и для скоплений, находящихся в менее плотном ближайшем окружении,



по методу, описанному в [18]. Полученные составные ФС были аппроксимированы нелинейным методом наименьших квадратов функцией Шехтера [19] с параметрами  $M_K^* = -24.33^m \pm 0.04$ ,  $\alpha = -0.82 \pm 0.02$  для БМ и  $M_K^* = -24.20^m \pm 0.13$ ,  $\alpha = -0.92 \pm 0.09$  для скоплений из окружения (в области слабых звездных величин мы взяли последнюю точку на  $-23.0^m$ , чтобы избежать неполноты данных для более далеких скоплений). Ошибки определены как  $\sqrt{dN}$ , где  $dN$  — число галактик в интервале  $dM$ . Исключение первой по светимости точки из аппроксимации не меняет значимо эти параметры. На Рис. 25 приведены обе функции светимости. Поскольку их параметры практически не отличаются, мы построили составную функцию светимости всех скоплений и найденные параметры функции Шехтера ( $M_K^* = -24.29^m \pm 0.05$ ,  $\alpha = -0.85 \pm 0.03$ ) использовали для вычисления полной светимости скоплений, которые приведены в (Табл. 2). Полученные таким образом полные светимости скоплений галактик больше, чем в первом варианте в среднем на 3%, что влечет такое же изменение отношения массы к светимости. Параметры индивидуальных функций светимости скоплений галактик не отличаются более чем на  $3\sigma$  от полученных значений.

По сравнению с данными других авторов в вириализованных областях скоплений галактик в области БМ параметр  $M_K^*$  на  $0.15^m$  меньше, чем для галактик поля [16]. В вириализованных областях 9 близких богатых ( $495 \text{ км/с} < \sigma < 1042 \text{ км/с}$ ) скоплений галактик с высокой рентгеновской светимостью,  $M_K^*$  меньше на  $0.62^m$  [12] и слабых галактик намного больше ( $\alpha = -1.35$ ). В работе [12] использовались полные экстраполированные звездные величины.

#### 4. СВОЙСТВА ГАЛАКТИК РАННИХ ТИПОВ В ВИРИАЛИЗОВАННЫХ ОБЛАСТЯХ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

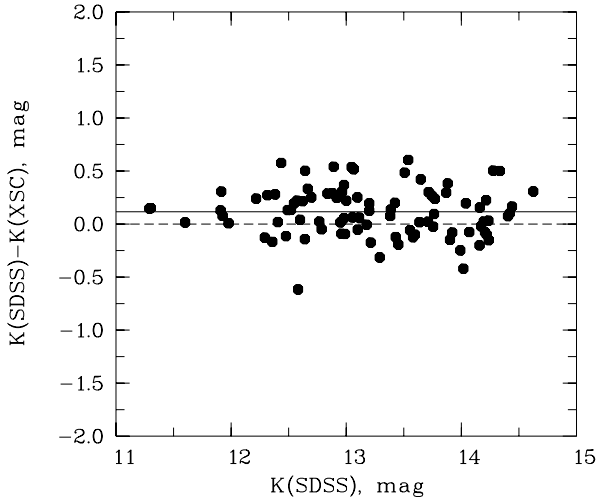
Известно, что доля галактик ранних типов в скоплениях растет с увеличением локальной плотности галактик [20, 21], а также одновременно растет светимость их сфероидальных компонент [20]. В данной работе мы исследовали свойства галактик ранних типов, расположенных в сверхскоплениях БМ и в его ближайших окрестностях. Галактики ранних типов отобраны по следующим критериям (SDSS — фильтр  $r$ ):  $frac{DeV} \geq 0.8$  (параметр характеризует вклад профиля Вокулера в профиль поверхностной яркости галактики),  $R_{90}^r/R_{50}^r \geq 2.6$  (индекс концентрации равен отношению радиусов, ограничивающих 90% и 50% потоков Петросяна). Мы построили составные функции светимости в фильтре  $K$  отдельно для галактик ранних и поздних

**Таблица 2.** Свойства скоплений в ближней ИК области

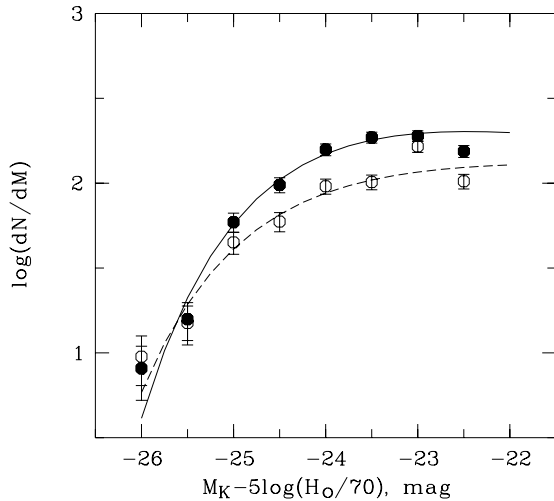
Скопление	$L_{K,200}$ $10^{12} L_{\odot}$	$M/L_K$ $M_{\odot}/L_{\odot}$	$N(-21^m)$	$f_E(N_E)$
A1270	$5.12 \pm 0.16$	$55 \pm 18$	92	0.63(22)
A1291A	$1.82 \pm 0.10$	$55 \pm 30$	41	0.85(11)
A1291B	$1.78 \pm 0.12$	$158 \pm 80$	50	0.69(9)
A1318	$2.90 \pm 0.17$	$36 \pm 17$	53	0.78(11)
A1377	$6.52 \pm 0.15$	$66 \pm 21$	103	0.65(26)
A1383	$3.76 \pm 0.13$	$45 \pm 16$	72	0.67(20)
A1436	$6.74 \pm 0.16$	$79 \pm 23$	130	0.82(37)
Aпoп1	$4.57 \pm 0.14$	$83 \pm 28$	84	0.71(27)
Aпoп2	$1.96 \pm 0.16$	$14 \pm 8$	23	0.91(10)
Aпoп3	$1.88 \pm 0.16$	$47 \pm 23$	35	0.78(11)
Aпoп4	$2.36 \pm 0.14$	$44 \pm 20$	33	0.50(8)
Sh166	$1.35 \pm 0.09$	$44 \pm 23$	36	0.70(7)
A1003	$2.82 \pm 0.16$	$106 \pm 55$	41	0.47(8)
A1169	$4.25 \pm 0.11$	$78 \pm 27$	89	0.68(19)
A1279	$0.64 \pm 0.14$	$17 \pm 16$	8	0.25(1)
A1452	$2.08 \pm 0.09$	$109 \pm 64$	29	0.67(8)
A1461	$0.82 \pm 0.10$	$66 \pm 49$	15	0.75(3)
A1507	$2.63 \pm 0.14$	$52 \pm 21$	50	0.71(12)
A1534	$2.29 \pm 0.14$	$21 \pm 12$	29	0.69(9)
RXCJ1010	$2.00 \pm 0.16$	$62 \pm 23$	39	0.64(7)
RXJ1033	$2.69 \pm 0.18$	$45 \pm 18$	52	0.56(9)
RXCJ1053A	$3.94 \pm 0.11$	$55 \pm 21$	80	0.68(19)
RXCJ1053B	$2.59 \pm 0.08$	$47 \pm 35$	46	0.58(11)
RXCJ1122	$0.79 \pm 0.13$	$24 \pm 18$	16	0.80(4)

типов (Рис. 26 и 27) вириализованных областей скоплений галактик. Нами получены следующие параметры функции Шехтера:

- а) для галактик ранних типов системы БМ  $M_K^* = -24.54^m \pm 0.18$ ,  $\alpha = -0.61 \pm 0.09$  и галактик из окрестностей БМ  $M_K^* = -24.48^m \pm 0.07$ ,  $\alpha = -0.65 \pm 0.04$ ;
- б) для галактик поздних типов системы БМ  $M_K^* = -24.06^m \pm 0.06$ ,  $\alpha = -1.22 \pm 0.06$  и галактик из окрестностей БМ  $M_K^* = -24.05^m \pm 0.18$ ,  $\alpha = -1.23 \pm 0.18$ .



**Рис. 24.** Сравнение звездных величин в фильтре  $K$ , вычисленных по цвету  $u - r$  из каталога SDSS, с величинами в пределах изофоты  $\mu_K = 20^m/\square''$  из каталога 2MASS XCS для галактик скопления A1377. Сплошной линией показана средняя разница звездных величин.



**Рис. 25.** Составные функции светимости скоплений галактик БМ (заполненные кружки) и скоплений галактик поля (пустые кружки). Соответствующие функции Шехтера показаны сплошной и штриховой линиями.

Количество галактик ранних типов в 10 скоплениях БМ на 40% больше, чем в 11 скоплениях из ближайших окрестностей, а количество галактик поздних типов на 15% больше до выбранного предела ( $-21^m$ ). Мы сравнили полученные величины  $M_K^*$  для галактик ранних типов в области БМ ( $-24.54^m$ ,  $-24.48^m$ ) с аналогичными значениями в поле [16] ( $-24.28^m$ ). Такое же сравнение величин  $M_K^*$  сделали для галактик поздних типов в обла-

сти БМ ( $-24.06^m$ ,  $-24.05^m$ ) и для галактик поля ( $-23.73^m$ ) из той же работы. Мы получили, что в вириализованных областях скоплений галактик в области БМ величина  $M_K^*$  для галактик как ранних, так и поздних типов меньше, чем в поле, в среднем на  $0.23^m$  и  $0.32^m$  соответственно. Кроме того, число галактик ранних типов в скоплениях в исследуемой области с уменьшением светимости галактик падает ( $\alpha > -1$ ), а число галактик поздних типов растет ( $\alpha < -1$ ).

Мы определили долю галактик ранних типов (отношение числа галактик ранних типов к общему числу) в пределах исследуемого радиуса  $R_{200}$  до фиксированной звездной величины, соответствующей  $M_K^* + 1$ , где  $M_K^*$  равна собственной характеристической величине выборки скоплений, равной ( $-24.29^m$ ). Мы получили, что в среднем доля ярких галактик ранних типов для системы БМ равна  $0.71 \pm 0.03$  (без A1291B и Anon2), а для окрестностей  $0.66 \pm 0.03$  (без A1279). На Рис. 28 показана доля ярких галактик ранних типов в зависимости от массы скопления. Как видно на рисунке, для диапазона масс скоплений  $10^{13} M_\odot < M < 5.0 \times 10^{14} M_\odot$  доля галактик ранних типов практически не меняется с массой скопления. Подобный результат для скоплений галактик найден, например, в работах [22] и [23]. В то же время Мартинез и др. [24], а также Вейнман и др. [25] для групп галактик нашли, что доля таких галактик уменьшается с уменьшением массы групп. Среди исследованных нами скоплений галактик выделяются скопления A1279 и Anon2, которые содержат экстремальное количество галактик ранних типов и отмечены плюсами на Рис. 28.

Мы определили средние параметры ярких галактик ранних типов (до фиксированной звездной величины  $M_K^* + 1$ ), абсолютную звездную величину в фильтре  $K$ , цвета  $g - r$  и  $u - r$ , эффективный радиус балджа в фильтре  $r$ , отношение осей  $b/a$ , вклад балджа Вокулера в профиль поверхностной яркости и индекс концентрации, равный отношению радиусов галактики, которые ограничивают 50% и 90% потоков Петросяна. Полученные данные для сверхскопления БМ, его ближайших окрестностей и трех выборок скоплений галактик представлены в Табл. 3. Выборки скоплений составлены из изучаемых систем, которые разделены по массе:

- (I)  $M > 3 \times 10^{14} M_\odot$ ;
- (II)  $1 \times 10^{14} M_\odot < M < 3 \times 10^{14} M_\odot$ ;
- (III)  $M < 1 \times 10^{14} M_\odot$ .

В выборку I входят наиболее массивные скопления: A1003, A1169, A1377, A1436, Aпоп1, во II — A1270, A1291A, A1318, A1383, A1452, A1507, Aпоп4, RXCJ1010, RXJ1033, RXCJ1053A, RXCJ1053B, в III — A1461, A1534, Aпоп3, Sh166, RXCJ1122. Анализ данных Таблицы 3 позволяет нам сделать вывод, что галактики ранних типов (галактики с доминированием балджа) практически одинаковы во всех выборках. Имеется слабая тенденция уярчения их в ИК-области с одной стороны в скоплениях поля вокруг БМ и с другой стороны в менее массивных скоплениях (с меньшей дисперсией скоростей).

### 5. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОЛНОЙ К-СВЕТИМОСТЬЮ И МАССОЙ СКОПЛЕНИЙ

Измерения К-светимости скоплений галактик и групп галактик (в основном, вириализованных областей) [6, 10–12] показали, что отношение массы к светимости и светимость скоплений увеличиваются с ростом массы системы (массы темного гало). В данной работе мы определили соотношения между этими параметрами для конкретной области: сверхскопления БМ и ее ближайших окрестностей. Как уже отмечалось ранее, полные светимости скоплений галактик определены нами с параметрами функции Шехтера общей составной функции светимости  $(-24.29^m, -0.85)$ . Соотношения между массой скопления и светимостью в К-полосе в логарифмической форме для сверхскопления БМ и поля около него имеют вид:

$$\log L_{K,200} = 0.75(\pm 0.10) \log M_{200} + 1.80(\pm 1.22),$$

$$\log L_{K,200} = 0.63(\pm 0.18) \log M_{200} + 3.50(\pm 2.36)$$

и показаны на Рис. 29. Полученные соотношения представляют собой среднее между прямой и обратной регрессиями, когда независимые переменные меняются местами. Среднее квадратичное рассеяние в соотношениях равно 0.08 для системы БМ и 0.16 для поля. Разброс в сверхскоплении примерно в 2 раза меньше, чем в поле. Можно заметить, что наклон зависимости между  $M_{200}$  и  $L_{K,200}$  для скоплений галактик БМ в пределах ошибок совпадает с наклоном для скоплений галактик поля. Светимости скоплений галактик определены в проекции, в цилиндрах, депроекция может уменьшить их примерно на 20% (в зависимости от расположения скопления). Поскольку волокнистые структуры в сверхскоплении расположены в картинной плоскости (Рис. 2 из работы [6]), поправки к светимости будут минимальными. Сравнение с результатами других авторов показало, что, несмотря на различие применяемых методик, полученные нами результаты согласуются с их результатами:  $L_K \propto M^{0.72 \pm 0.04}$  [10] и  $L_K \propto M^{0.64 \pm 0.06}$  [11].

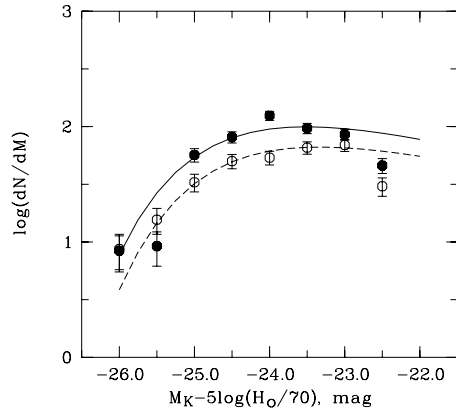


Рис. 26. Составные функции светимости галактик ранних типов. Обозначения те же, что на Рис. 25.

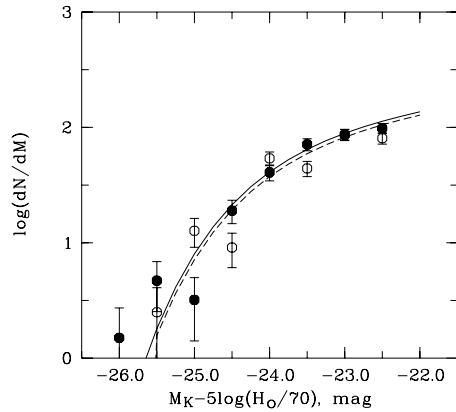


Рис. 27. Составные функции светимости галактик поздних типов. Обозначения те же, что на Рис. 25.

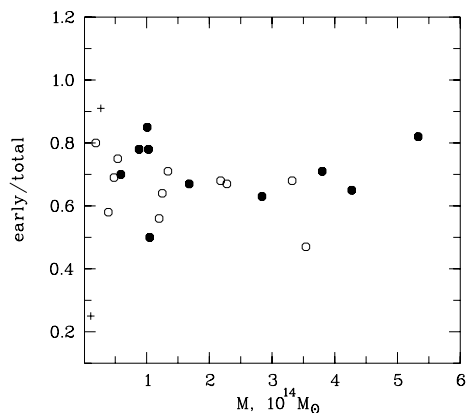


Рис. 28. Доля галактик ранних типов среди галактик ярче  $M_K^* + 1$  звездной величины в зависимости от массы скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ . Заполненными кружками отмечены скопления из БМ, пустыми — из его окрестностей. Скопления с минимальной (A1279) и максимальной (Aпоп2) долей галактик ранних типов отмечены плюсами.

Таблица 3. Средние параметры и их дисперсия галактик ранних типов ( $M_K < -23.29^m$ )

	$N_c$	$N_g$	$M_K$ <i>mag</i>	$g - r$ <i>mag</i>	$u - r$ <i>mag</i>	$r_e$ кпк	$b/a$	$fracDeV$	$R_{90}^r/R_{50}^r$
БМ	10	180	-24.19(0.59)	0.85(0.04)	2.71(0.16)	4.12(1.62)	0.69(0.18)	0.97(0.06)	3.05(0.24)
поле	11	109	-24.32(0.68)	0.86(0.04)	2.73(0.12)	4.41(2.17)	0.69(0.19)	0.97(0.05)	3.02(0.22)
I	5	117	-24.20(0.60)	0.85(0.04)	2.70(0.14)	4.41(1.64)	0.70(0.18)	0.97(0.06)	3.02(0.23)
II	11	138	-24.25(0.65)	0.86(0.04)	2.72(0.15)	4.06(1.94)	0.67(0.18)	0.97(0.05)	3.05(0.24)
III	5	34	-24.32(0.64)	0.86(0.04)	2.75(0.14)	4.60(1.95)	0.72(0.20)	0.97(0.05)	3.09(0.23)

Корреляция массы и светимости скоплений галактик позволяет оценить массу отдельных скоплений по их светимости в фильтре К. Разброс на этой зависимости представляет особый интерес. Предполагается (см., например, работу [11]), что наиболее вероятной причиной разброса является отклонение динамического состояния скопления от вириального равновесия. В нашей выборке наибольшее отклонение от среднего показывают скопления Ано2 и А1291В из БМ и еще А1279, очень бедное скопление из окрестностей БМ. В определении регрессионных зависимостей они не учитывались. Скопления А1003, А1452 и А1461 из окрестностей БМ также отклоняются от средней зависимости из-за завышенной массы (дисперсии), видимо, соответствующей неравновесному состоянию, а скопление А1534 — из-за заниженной массы. Фактически, соотношение между массой и полной светимостью позволяет выявить необычные состояния скоплений галактик, у которых дисперсия лучевых скоростей либо слишком высока (соответственно и масса высока), либо слишком мала при довольно высокой светимости. Полученный нами небольшой разброс скоплений галактик, принадлежащих сверхскоплению БМ (наиболее плотной части системы скоплений), в отличие от других аналогичных исследований разных выборок скоплений, не образующих сверхскопление, возможно, указывает на синхронность их эволюции в одной системе (БМ). Соотношения между  $M_{200}/L_{K,200}$  и  $M_{200}$  в логарифмической форме для сверхскопления БМ и для поля около БМ получены таким же способом, как и соотношения между  $L_{K,200}$  и  $M_{200}$  и имеют вид:

$$\log M_{200}/L_{K,200} = 0.36(\pm 0.15) \log M_{200} - 3.49(\pm 0.96),$$

$$\log M_{200}/L_{K,200} = 0.60(\pm 0.18) \log M_{200} - 6.75(\pm 1.01)$$

и показаны на Рис. 30. Разброс соотношений такой же, как между массой и светимостью. Интересно отметить, что наклон этих соотношений примерно на треть больше, чем  $M/L \propto M^{0.25}$  и  $M/L \propto M^{0.37}$  вычисленными из зависимостей между  $L_{K,200}$

и  $M_{200}$ , приведенными выше. Кроме того, наклон зависимости  $M/L_K$  от  $M$  для скоплений из окрестностей БМ несколько круче, чем для скоплений БМ и равен приведенной ниже зависимости для групп галактик. Для других выборок скоплений галактик разными авторами получены следующие результаты:  $M/L_K \propto M^{0.26 \pm 0.04}$  [10] и  $M/L_K \propto M^{0.31 \pm 0.09}$  [12], но  $M/L_K \propto M^{0.56 \pm 0.05}$  [11] для групп галактик. Средняя величина отношения  $M/L$  для БМ в пределах  $R_{200}$  равна  $55 \pm 5 M_{\odot}/L_{\odot}$ , а для скоплений поля около БМ  $60 \pm 8 M_{\odot}/L_{\odot}$ . Для сравнения среднее значение  $M/L$  для богатых скоплений галактик в пределах  $R_{200}$  (массы оценены методом каустик в сферах, а светимости — в цилиндрах, как у нас) из [12]  $49 \pm 5 M_{\odot}/L_{\odot}$ , что в пределах ошибок совпадает с нашим. Существование полученных соотношений  $L-M$  и  $M/L-M$  указывает на то, что процессы образования звезд или галактик в скоплениях и группах регулярны, но, возможно, эффективность образования звезд в пределах вириализованных областей скоплений является уменьшающейся функцией массы скопления (см., например, работу [10]), на что указывает наклон меньше 1 на Рис. 29. При этом неучтенный вклад излучения от звезд, расположенных между галактиками и скоплениями, является увеличивающейся функцией массы и может составлять 5–50% (см., например, работу [12]).

### 5.1. Количество галактик в скоплениях

Скопления галактик представляют собой массивные гало темной материи, в которых в местах наибольшей концентрации расположена барионная материя в форме газа и галактик. Количество галактик в скоплении в пределах определенного радиуса и до фиксированной звездной величины (the halo occupation number) — основная характеристика, которая позволяет сравнивать результаты модельных расчетов и наблюдений. Для подсчета количества галактик в скоплении в пределах  $R_{200}$

мы взяли параметры функции Шехтера для составной функции светимости ( $-24.29^m$ ,  $-0.85$ ), экстраполировали эту функцию до фиксированного предела, равного  $-21^m$ , при этом нормировка равна наблюдаемому числу галактик до предела  $15^m$ . Соотношения между  $N_{200}$  и  $M_{200}$  в логарифмической форме для сверхскопления БМ и для скоплений поля около БМ получены таким же способом, как и предыдущие соотношения. Они представлены на Рис. 31 и имеют вид:

$$\log N_{200} = 0.67(\pm 0.10) \log M_{200} - 7.75(\pm 0.65),$$

$$\log N_{200} = 0.67(\pm 0.21) \log M_{200} - 7.80(\pm 1.21).$$

Разброс такой же, как и в предыдущих соотношениях — для скоплений БМ в 2 раза больше, чем для скоплений из ближайших окрестностей. Наклон соотношения между  $N$  и  $M$  одинаков, что согласуется с результатами одних и несколько отличается от результатов других исследований (возможна, сказываются методы оценки ошибок). Например, для выборки богатых скоплений галактик получены следующие соотношения:  $N \propto M^{0.70 \pm 0.09}$  [12] для  $R_{200}$  и  $N \propto M^{0.84 \pm 0.04}$  [10] для  $R_{500}$ , для групп галактик в пределах  $R_{200}$   $N \propto M^{0.56 \pm 0.05}$  [11]. С теоретической точки зрения наклон должен быть меньше 1 (он должен быть в пределах 0.56–0.74), т.е. в более массивных гало эффективность образования галактик ниже и/или процессы разрушения галактик эффективнее (например, см. работу [12] и ссылки в ней). Полученные характеристики скоплений галактик представлены в Табл. 2. Количество галактик в скоплении  $N(-21)$  равно числу галактик до предела  $-21^m$ . Ошибка величины  $L_K$  определена поочередным исключением светимости каждой галактики из полной светимости скопления и дальнейшим усреднением полученных отклонений. Доля галактик ранних типов до предела  $M_K^* + 1$  обозначена  $f_E$ , а число таких галактик  $N_E$  дано в скобках.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Сверхскопление галактик Большая Медведица представляет собой слоистую систему, состоящую из трех больших волокнистых структур (Рис. 1 а-с из работы [5]) со средними красными смещениями 0.051, 0.061 и 0.071. В системе всего три достаточно богатых скопления — А1377, А1436, Апоп1 — как по числу галактик в пределах вириального радиуса, так и по светимости в рентгеновском диапазоне (Табл. 1). Несмотря на это, БМ представляет особый интерес для исследований, поскольку система расположена достаточно изолированно (Рис. 1а-с из работы [5]), вблизи нет богатых рентгеновских скоплений галактик, других сверхскоплений, т.е. она находится в области

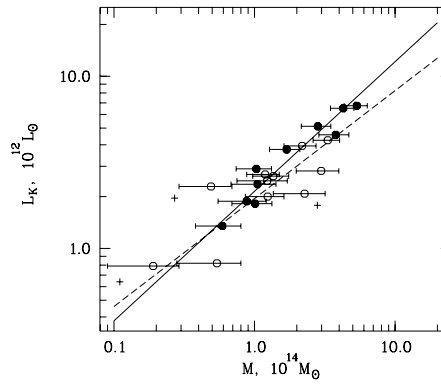


Рис. 29. Полная светимость галактик ( $M_K^* < -21^m$ ) в зависимости от массы скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ . Заполненными кружками показаны скопления БМ, пустыми — поля. Плюсами отмечены скопления А1279, Апоп2, А1291В не учтенные при определении регрессионных соотношений, показанных сплошной линией для скоплений БМ и прерывистой — для скоплений поля.

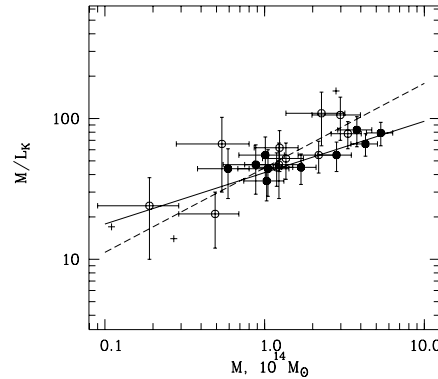


Рис. 30. Отношение масса-светимость ( $M_K^* < -21^m$ ) в зависимости от массы скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ . Обозначения те же, что на Рис. 29.

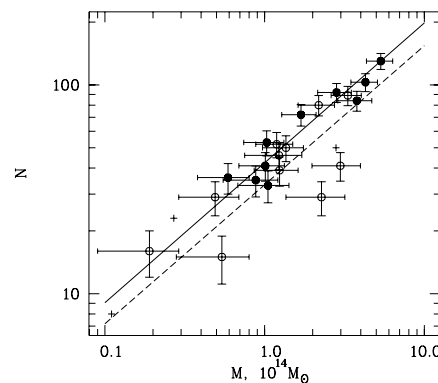


Рис. 31. Количество галактик в скоплении ( $M_K^* < -21^m$ ) в зависимости от массы скопления в пределах радиуса  $R_{200}$ . Обозначения те же, что на Рис. 29.

Вселенной с низкой средней плотностью скоплений галактик [26]. Можно сказать, что сверхскопление находится в области пониженной плотности. Это, скорее всего, оказывает влияние на всю систему скоплений в целом. Предполагается, что в областях повышенной плотности галактик, таких, как сверхскопления, динамическая эволюция начинается очень рано и продолжается до настоящего времени (см., например, работу [27]). В настоящей работе мы исследовали и сравнили некоторые свойства вириализованных областей скоплений галактик, расположенных в области сверхскопления БМ, как в центральной его части с контрастом плотности по галактикам, равным трем, так и на периферии с радиусом 75 Мпк. В исследовании использованы данные каталогов SDSS и 2MASS. Полученные нами результаты для двух выборок скоплений представлены в сравнении ниже.

1. Функции Шехтера для составных функций светимости вириализованных областей скоплений галактик в БМ и ее окрестностях имеют схожие параметры ( $M_K^*$ ,  $\alpha$ ), причем  $M_K^*$  общей ФС меньше, чем в поле [16] на  $0.15^m$ .

2. Функции Шехтера для составных функций светимости галактик ранних и поздних типов в вириализованных областях скоплений галактик в БМ и ее окрестности также имеет схожие параметры ( $M_K^*$ ,  $\alpha$ ), и их  $M_K^*$  меньше, чем в поле [16]. Галактик ранних типов в БМ на 40% больше, чем в скоплениях из окрестностей. Количество спиральных галактик в БМ больше на 15%, причем число таких галактик растет ( $\alpha > 1$ ) с ослаблением звездной величины галактик, а число ярких галактик ранних типов уменьшается ( $\alpha < 1$ ).

3. Доля галактик ранних типов до предела  $M_K^* + 1$ , равного  $-23^m.29$ , в скоплениях БМ и ее окрестности составляет порядка 70%. Для диапазона масс скоплений  $10^{13} M_\odot < M < 5.0 \times 10^{14} M_\odot$  эта доля не увеличивается с ростом массы скоплений. Средние параметры галактик ранних типов практически одинаковы в скоплениях центральной плотной области БМ, ее ближайших окрестностей, а также в бедных и богатых скоплениях.

4. Основные параметры скоплений галактик в пределах радиуса  $R_{200}$  в области сверхскопления БМ ( $L_{K,200}$ ,  $M_{200}/L_{K,200}$ ,  $N_{200}$ ) растут с массой системы. Формы зависимостей между ними в пределах ошибок соответствуют зависимостям, полученным для других выборок скоплений галактик, составленных без учета принадлежности к сверхскоплениям. Для скоплений, расположенных в наиболее плотной области и выделенных как сверхскопление БМ, на всех зависимостях наблюдается в 2 раза меньший разброс, чем для скопления поля в окрестности радиусом 75 Мпк.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку этой работы (грант 07-02-01417а). Работа выполнена с использованием баз данных: NASA/IPAC Extragalactic Database (NED, <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>), Sloan Digital Sky Survey (SDSS, <http://www.sdss.org/>), Two Micron All Sky Survey (2MASS, <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/>), X-Rays Clusters Database (BAX, <http://bax.ast.obs-mip.fr/>).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Einasto, J. Einasto, E. Tago, et al., *Astronom. and Astrophys.* **464**, 815 (2007).
2. T. A. Small, L. W. Sargent, and D. Hamilton, *Astrophys. J.* **487**, 512 (1997).
3. C. P. Haines, P. Merluzzi, A. Mercurio, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **371**, 55 (2006).
4. A. Mercurio, P. Merluzzi, C. P. Haines, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **368**, 109 (2006).
5. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astron. Lett.* **33**, 211 (2007).
6. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astron. Lett.* **32**, 84 (2006).
7. M. R. Carlberg, H. K. C. Yee, E. Ellingson, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **485**, L13 (1997).
8. R. Sadat, A. Blanchard, J.-P. Kneib, et al., *Astronom. and Astrophys.* **424**, 1097 (2004).
9. J. A. L. Aqueri, R. Sanshez-Janssen and C. Munos-Tun, *Astronom. and Astrophys.* **471**, 17 (2007).
10. Y.-T. Lin, J. J. Mohr, and S. A. Stanford, *Astrophys. J.* **610**, 745 (2004).
11. M. Ramella, W. Boschin, M. Geller, et al., *Astronom. J.* **128**, 2022 (2004).
12. K. Rines, M. J. Geller, A. Diaferio, et al., *Astronom. J.* **128**, 1078 (2004).
13. T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri, et al., *Astronom. J.* **119**, 2498 (2000).
14. M. Obric, . Ivezic, P. N. Best, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **370**, 1677 (2000).
15. A. W. Graham, S. P. Driver, V. Petrosian, et al., *Astronom. J.* **130**, 1535 (2005).
16. C. S. Kochanek, M. A. Pahre, E. E. Falco, et al., *Astrophys. J.* **560**, 566 (2001).
17. M. A. Strauss, D. H. Weinberg, R. H. Lupton, et al., *Astronom. J.* **124**, 1810 (2002).
18. M. Colless, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **237**, 799 (1989).
19. P. Schechter, *Astrophys. J.* **203**, 297 (1976).
20. A. Dressler, *Astrophys. J.* **236**, 351 (1980).
21. T. Goto, C. Yamauchi, Y. Fujita, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **346**, 601 (2003).
22. M. L. Balogh, I. K. Baldry, R. Nicol, et al., *Astrophys. J.* **615**, L101 (2004).
23. M. Tanaka, T. Goto, S. Okamura, et al., *Astronom. J.* **128**, 2677 (2004).

24. H. J. Martinez, A. Zandivarez, M. Domingues, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **333**, L31 (2002).
25. S. M. Weinmann, F. C. van den Bosch, X. Yang, and H. J. Mo, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **366**, 2 (2006).
26. A. V. Tikhonov, A. I. Kopylov, S. Gottlober, and G. Yepes, *astro-ph/0805.2270*.
27. J. Einasto, E. Tago, M. Einasto, et al., *Astronom. and Astrophys.* **439**, 45 (2005).

## ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF CLUSTERS OF GALAXIES IN THE REGION OF THE URSA MAJOR SUPERCLUSTER

F. G. Kopylova, A. I. Kopylov

We analyze the properties of the clusters of galaxies in the region of the Ursa Major (UMa) supercluster using observational data from SDSS and 2MASS catalogs. The region studied includes a supercluster (with a galaxy and cluster overdensity of 3 and 15, respectively) and field clusters inside the 150-Mpc diameter surrounding region. The total dynamical mass of 10 clusters of galaxies in UMa is equal to  $2.25 \times 10^{15} M_{\odot}$ , and the mass of 11 clusters of galaxies in the UMa neighborhood is equal to  $1.70 \times 10^{15} M_{\odot}$ . The fraction of early-type galaxies brighter than  $M_K^* + 1$  in the virialized regions of clusters is, on the average, equal to 70%, and it is virtually independent on the mass of the cluster. The fraction of these galaxies and their average photometric parameters are almost the same both for UMa clusters and for the clusters located in its surroundings. Parameters of the clusters of galaxies, such as infrared luminosities up to a fixed magnitude, the mass-to-luminosity ratio, and the number of galaxies have almost the same correlations with the cluster mass as in other samples of galaxies clusters. However, the scatter of these parameters for UMa member clusters is twice smaller than the corresponding scatter for field clusters, possibly, due to the common origin of UMa clusters and synchronized dynamical evolution of clusters in the supercluster.

Key words: *galaxies, clusters of galaxies: supercluster Ursa Major*