

УДК 524.77-3

СВОЙСТВА 34 МАССИВНЫХ ГРУПП ГАЛАКТИК В ДИАПАЗОНЕ $0.012 < z < 0.027$

© 2015 Ф. Г. Копылова*, А. И. Копылов

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 19 декабря 2014 года; принята в печать 18 марта 2015 года

С целью продления зависимости между инфракрасной светимостью групп и скоплений галактик и их динамической массой в область масс $1-5 \times 10^{13} M_{\odot}$ мы отобрали из работы Ramella et al. (2004) группы галактик в области $0.012 < z < 0.027$. По архивным данным SDSS, NED и 2MASX для этих 34 групп галактик нами определены динамические и фотометрические характеристики. В целом выборка имеет следующие медианные характеристики: $z = 0.0226$, $M_{200} = 0.58 \times 10^{14} M_{\odot}$, $L_K = 1.26 \times 10^{12} L_{\odot}$ и $N(M_K < -21^m) = 22$. Добавив эту выборку к выборке из 148 групп и скоплений галактик, составленной нами ранее, мы нашли следующие зависимости между динамической массой M_{200} , инфракрасной (ИК) светимостью и количеством галактик в пределах радиуса R_{200} : $L_K(M_K < -21^m) \propto M^{0.77}$, $N(M_K < -21^m) \propto M^{0.82}$ и $M/L_K \propto L_K^{0.22}$. Практически все члены изучаемой выборки показывают хорошее соответствие между динамической массой групп M_{200} и ИК-светимостью галактик, и в итоге — их звездной массой (только группа МКВ 12 отклоняется на всех зависимостях больше, чем на 2σ).

Ключевые слова: галактики: группы — галактики: скопления

1. ВВЕДЕНИЕ

Основными барионными компонентами групп и скоплений галактик являются звезды в галактиках и горячий газ, заполняющий пространство между галактиками. В их вириализованных областях находятся преимущественно галактики ранних типов со старым звездным населением, излучающим в основном в ИК-области, где эффекты экстинкции намного слабее, и K -поправка слабо зависит от хаббловского типа галактики и изменяется очень медленно с красным смещением (например, [1]). Таким образом, излучение галактик в инфракрасной области наилучшим образом соответствует массе их звезд. Из наблюдений получено, что зависимость между светимостью групп и скоплений галактик в ближней ИК-области и их массой имеет небольшой разброс и может использоваться для первичной оценки их массы [2–7].

Изучение этой зависимости в областях повышенной плотности галактик — сверхскоплений галактик Ursa Major, Leo и Hercules — показало, что и наклон, и разброс зависимости меняются от сверхскопления к сверхскоплению. В сверхскоплении Ursa Major разброс минимален и равен 0.08, а в его окрестности — 0.16 [8, 9], в сверхскоплениях Leo и Hercules — 0.12 [10, 11], в окрестности

системы Hercules — 0.30. Наклон соотношения также меняется от 0.63 в сверхскоплении Leo [10] и окрестности Ursa Major [8, 9] до 0.75 в центральных частях сверхскопления Ursa Major [8, 9] и 0.91 в богатом сверхскоплении Hercules [11]. Скорее всего, полученные различия характеристик сверхскоплений галактик, например, зависимость между ИК-светимостью и динамической массой, говорят об их разной эволюционной истории [12]. Область масс $1-5 \times 10^{13} M_{\odot}$ и меньше в зависимости описана плохо; например, в [11] не хватило данных о массивных и маломассивных группах галактик и маломассивных скоплениях галактик. Изучение этой области масс важно для изучения границы, где кончаются однородные по многим свойствам системы галактик.

Доля галактик со звездообразованием не меняется на $z = 0.04-0.08$ в скоплениях с дисперсией лучевых скоростей $\sigma > 500 \text{ км с}^{-1}$ или массой больше $2 \times 10^{14} M_{\odot}$ [13]. Нами получено, что отношение числа карликовых галактик к гигантским в скоплениях и группах имеет большой разброс при меньших массах и не зависит от массы [14]. В то же время наблюдается рост этого отношения с массой систем при аналогичной $\sigma > 500 \text{ км с}^{-1}$. Но в [15] получено, что в группах и скоплениях галактик до масс $M \sim 10^{13} M_{\odot}$ не заметны эффекты трансформации галактик, впервые попавших в них,

*E-mail: flera@sao.ru

Характеристики групп галактик

Group	BCG	N_z	z_h	σ_c , km c ⁻¹	R_{200} , Mpc	M_{200} , 10 ¹⁴ M_\odot	N_{-21}	$L_{K,200}$, 10 ¹² L_\odot	M/L_K , M_\odot/L_\odot
AWM 3	NGC 5629	32	0.014878	269	0.66	0.33 ± 0.18	11	0.48	69 ± 48
NGC 2563	NGC 2563	53	0.015701	369	0.91	0.86 ± 0.39	29	1.40	61 ± 29
SRGb 102 ¹	NGC 0533	34	0.018163	442	1.09	1.48 ± 0.76	22	1.83	83 ± 42
SRGb 102	NGC 0533	21	0.018411	404	0.99	1.13 ± 0.74	21	1.79	63 ± 42
SGRb 119	NGC 0741	39	0.018416	368	0.90	0.86 ± 0.41	22	1.27	68 ± 37
SRGb 063	NGC 0080	33	0.019098	296	0.73	0.44 ± 0.23	33	1.94	23 ± 12
MKW 12	NGC 5423	28	0.019761	192	0.47	0.12 ± 0.07	16	0.99	12 ± 8
MKW 04	NGC 4073	91	0.020208	515	1.26	2.34 ± 0.74	46	2.56	91 ± 31
MKW 01 ¹	NGC 3090	25	0.020791	346	0.85	0.71 ± 0.42	16	0.75	95 ± 57
MKW 01	NGC 3090	16	0.020775	323	0.79	0.58 ± 0.44	16	0.75	77 ± 63
NRGb 025	NGC 2783	35	0.022151	346	0.85	0.71 ± 0.38	15	1.10	64 ± 37
NRGb 184	UGC 7115	53	0.022199	334	0.82	0.64 ± 0.26	33	1.32	48 ± 21
SGRb 145	UGC 2005	42	0.022342	352	0.86	0.75 ± 0.34	26	1.12	67 ± 33
SS2b 312 ¹	IC 5357	26	0.022444	437	1.07	1.43 ± 0.84	22	1.21	118 ± 70
SS2b 312	IC 5357	21	0.022436	381	0.93	0.95 ± 0.62	21	1.17	81 ± 53
NRGb 057 ¹	NGC 2965	14	0.022182	274	0.67	0.35 ± 0.28	9	0.43	81 ± 68
NRGb 057	NGC 2965	7	0.022468	173	0.42	0.09 ± 0.10	7	0.39	23 ± 28
SGRb 149	NGC 1016	20	0.022581	322	0.79	0.57 ± 0.38	24	1.92	30 ± 20
NRGb 078	NGC 3158	38	0.022630	375	0.92	0.90 ± 0.44	24	1.78	50 ± 25
SRGb 062	NGC 0070	36	0.022645	415	1.02	1.22 ± 0.65	33	2.01	61 ± 34
AWM 2	NGC 4213	29	0.022761	293	0.72	0.43 ± 0.24	22	0.93	46 ± 28
NRGb 247	NGC 5171	51	0.023000	371	0.91	0.88 ± 0.37	38	1.50	59 ± 26
NRGb 032	NGC 2832	60	0.023044	331	0.81	0.62 ± 0.24	30	1.76	35 ± 14
NRGb 244	NGC 5129	34	0.023402	290	0.71	0.42 ± 0.22	20	1.28	33 ± 18
SRGb 155	NGC 1132	13	0.023507	210	0.52	0.16 ± 0.13	8	0.62	26 ± 23
SRGb 016	NGC 7436B	28	0.024720	383	0.94	0.96 ± 0.54	27	1.72	56 ± 32
NRGb 251	NGC 5223	28	0.024834	271	0.66	0.34 ± 0.19	19	1.54	22 ± 13
MKW 05	NGC 5400	20	0.024858	288	0.70	0.41 ± 0.27	13	0.69	60 ± 43
NGC 4325 ¹	NGC 4325	27	0.025528	320	0.78	0.56 ± 0.32	17	0.64	88 ± 52
NGC 4325	NGC 4325	15	0.025386	271	0.66	0.34 ± 0.26	15	0.61	56 ± 47
SRGb 009	NGC 7237	52	0.026102	376	0.92	0.91 ± 0.38	42	1.57	58 ± 25
NRGb 043	IC 2476	20	0.026198	243	0.59	0.24 ± 0.16	17	0.76	32 ± 23
NRGb 302	NGC 5627	33	0.026682	314	0.77	0.53 ± 0.28	25	1.38	38 ± 21
HCG 42	NGC 3091	16	0.012588	228	0.56	0.20 ± 0.15	11	0.62	32 ± 26
HCG 62	NGC 4759	38	0.014345	407	1.00	1.16 ± 0.56	31	2.05	56 ± 28
SS2b 144	NGC 3022	15	0.020959	276	0.68	0.36 ± 0.28	15	0.93	39 ± 31
SS2b 164	MCG-01-29	20	0.023813	334	0.82	0.64 ± 0.43	20	1.04	62 ± 43
SS2b 239	NGC 5306	12	0.024732	305	0.75	0.48 ± 0.42	14	1.16	41 ± 37
SGRb 158	IC 0186	12	0.026023	318	0.78	0.55 ± 0.48	23	1.26	44 ± 39

то есть системы галактик до этой массы являются однородными объектами по этому параметру.

Основной целью данной работы является изучение выборки групп галактик (выборка из работы [2]): определение их динамической массы и ИК-светимости по архивным наблюдательным данным каталогов SDSS (Sloan Digital Sky Survey Data Release 7 [16]) и 2MASS XSC (Two Micron All Sky Survey Extended Source Catalog [17]). Поскольку группы галактик, приведенные в [2] отобраны из разных источников, возникла необходимость заново определить их параметры однородным способом по другим наблюдательным данным. Кроме того, метод оценки ИК-светимости групп, используемый нами, отличается от способа, примененного этими авторами. Всего в нашей выборке ($z < 0.1$) 100 скоплений галактик с $\sigma > 400 \text{ км с}^{-1}$ и 48 групп галактик с меньшей дисперсией лучевых скоростей галактик. Результаты по 70 системам галактик опубликованы в [8–11].

Статья организована следующим образом. Во разделе 2 определяются динамические характеристики групп галактик (средняя лучевая скорость, ее дисперсия, радиус R_{200} , масса M_{200}). В разделе 3 вычисляются ИК-светимости групп галактик, приводятся полученные зависимости между массой и светимостью и между соотношением масса–светимость и массой или светимостью, и дается сравнение с имеющимися зависимостями, ранее построенными по большой выборке систем галактик. В заключении приводятся полученные результаты. В работе мы использовали следующие космологические параметры: $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$, $H_0 = 70 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$.

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУПП ГАЛАКТИК

Из каталога групп галактик [2] мы отобрали 34 объекта с $0.012 < z < 0.027$. Практически все группы имеют фотометрические данные в каталоге SDSS (DR7 и частично DR8), кроме шести систем: HCG 42, HCG 62, SRGb 158, SS2b 144, SS2b 164, SS2b 239, которые приведены в конце таблицы. Спектральная информация взята в основном также из SDSS ($r_{\text{Pet}} < 17^{\text{m}}77$); если таковой не было, то были привлечены данные только NED (NASA/IPAC Extragalactic Database). Для шести отмеченных систем галактик в качестве членов отобраны только галактики, имеющие данные в каталоге 2MASX. При определении массы групп галактик мы применили тот же метод, который был использован нами в работах [8–11].

По одномерной дисперсии лучевых скоростей галактик вычисляется вириальная масса группы в

пределах эмпирического радиуса R_{200} в предположении $M(r) \propto r$. Радиус R_{200} близок (но меньше) к вириальному, и в его пределах плотность группы превышает критическую плотность Вселенной в 200 раз. R_{200} можно оценить по формуле $R_{200} = \sqrt{3}\sigma/10H(z)$ Мпк [18]. В предположении $M_{200} \simeq M_{\text{vir}}$ масса в пределах R_{200} составляет $M_{200} = 3G^{-1}R_{200}\sigma_{200}^2$. Сначала мы оценивали среднюю лучевую скорость скопления $\langle cz \rangle$ и ее дисперсию σ , потом по дисперсии — радиус R_{200} . Галактики со скоростями больше 2.7σ считались фоновыми. Итеративным способом мы нашли все параметры групп в пределах данного радиуса. Несколько групп галактик (MKW 1, NGC 4325, NRGb 057, SRGb 102, SS2b 312) показали зависимость дисперсии лучевых скоростей галактик от величины галактики: галактики слабее $M_K < -21^{\text{m}}$ имели большую дисперсию, которая заметно превышала общую массу M_{200} этих групп на 20%–70%. Для большинства систем этого не наблюдалось, и мы вычислили дисперсию лучевых скоростей для них по всем галактикам разных светимостей. Для вышеперечисленных групп галактик мы использовали галактики ярче $M_K < -21^{\text{m}}$, как и при подсчете ИК-светимости. Эти группы в таблице помечены индексом 1. Для них приведены оба варианта измерения параметров, причем в первой строке даны результаты, полученные по всем галактикам, во второй — только по галактикам с $M_K < -21^{\text{m}}$. Возможно, найденное нами свойство этих систем характеризует их эволюционный статус, который будет исследован позднее.

В таблице представлены найденные динамические параметры групп галактик для радиуса R_{200} с ошибками, соответствующими ошибке определения σ : имя группы из работы [2], имя ярчайшей галактики, количество галактик с измеренными лучевыми скоростями ($r_{\text{Pet}} < 17^{\text{m}}77$), гелиоцентрическая лучевая скорость, дисперсия лучевых скоростей с космологической поправкой $(1+z)^{-1}$, радиус R_{200} в мегапарсеках, масса M_{200} . Центры групп галактик совпадают с ярчайшими галактиками, кроме группы NRGb 004 без выделенной ярчайшей галактики. В качестве ее центра мы взяли центроид галактик, расположенных в пределах радиуса R_{200} .

Чтобы детальнее охарактеризовать структуру и кинематику каждой из групп, а также ее ближайших окрестностей, на рис. 1–34 представлены:

(1) отклонение лучевых скоростей галактик–членов групп и галактик, отнесенных к фону, от средней лучевой скорости группы в зависимости от квадрата радиуса (расстояния от центра скопления);

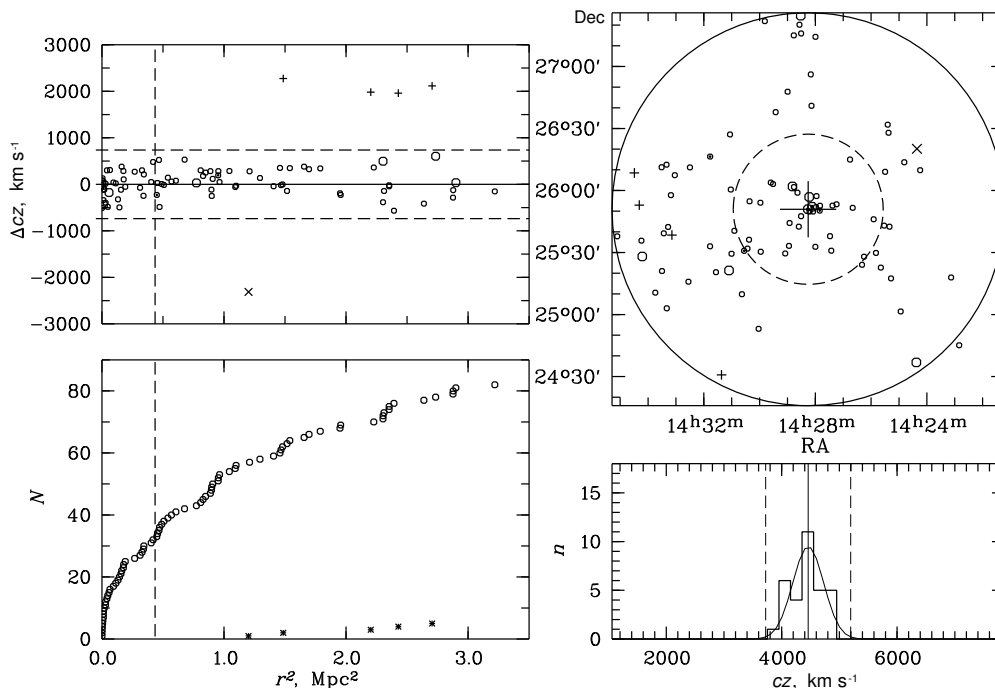


Рис. 1. Распределение галактик в AWM3. На левой верхней панели показано отклонение лучевых скоростей галактик от средней лучевой скорости группы, определенной по галактикам в пределах радиуса R_{200} . Горизонтальные штриховые линии соответствуют отклонениям $\pm 2.7\sigma$, вертикальной штриховой линией отмечен радиус R_{200} , пунктирной — радиус Эйбелла (2.14 Мпк). Кружками большего размера отмечены галактики ярче $M_K^* + 1 = -23^m 29$, кружками с точкой внутри — галактики ранних типов, плюсами — галактики заднего фона, крестиками — галактики переднего фона. На левой нижней панели дано интегральное распределение полного числа галактик в зависимости от квадрата расстояния от центра группы; кружки соответствуют галактикам, обозначенным кружками на левом верхнем рисунке, звездочки — галактикам фона. На правой верхней панели в экваториальной системе координат показано распределение на небе 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 $95'$ (сплошная линия). Большим крестом отмечен центр скопления. На правой нижней панели представлено распределение по лучевым скоростям всех галактик в пределах радиуса R_{200} (сплошной линией для членов скопления показана гауссиана, соответствующая дисперсии скоростей группы). Сплошная вертикальная линия указывает среднюю лучевую скорость группы, штриховые линии соответствуют отклонениям $\pm 2.7\sigma$. Структура и обозначения на рис. 1–34 одинаковые.

(2) интегральное распределение числа галактик в зависимости от квадрата радиуса для наглядного выявления плотного ядра группы, более разреженного гало и внешней области, где распределение выходит на линейную зависимость в выбранных координатах, т.е. наблюдается однородное в среднем распределение галактик окружения;

(3) расположение галактик в картинной плоскости в экваториальных координатах;

(4) гистограмма распределения лучевых скоростей всех галактик в пределах радиуса R_{200} (для нее показана функция Гаусса, соответствующая дисперсии лучевых скоростей группы из таблицы).

Галактики ранних типов отобраны по характе-

ризующим их параметрам SDSS в фильтре r : $\text{fracDeV} \geq 0.8$, где fracDeV характеризует вклад балджа в профиль поверхностной яркости галактики; $c = r_{90}/r_{50} \geq 2.6$, где c — индекс концентрации, равен отношению радиусов, ограничивающих 90% и 50% потоков Петросяна [16]. Кроме того, мы сделали ограничения по цвету ($u - r$): $\Delta(u - r) > -0.2$. На рисунках эти галактики помечены кружками с точкой.

Определенные дисперсии лучевых скоростей и массы групп галактик мы сравнили с данными, приведенными в работе [2]. Сравнение показало, что для большинства групп галактик результаты хорошо согласуются друг с другом, кроме двух систем: SRGb 155 и NRGb 025, для которых в [2] были приведены ошибочные параметры. В сред-

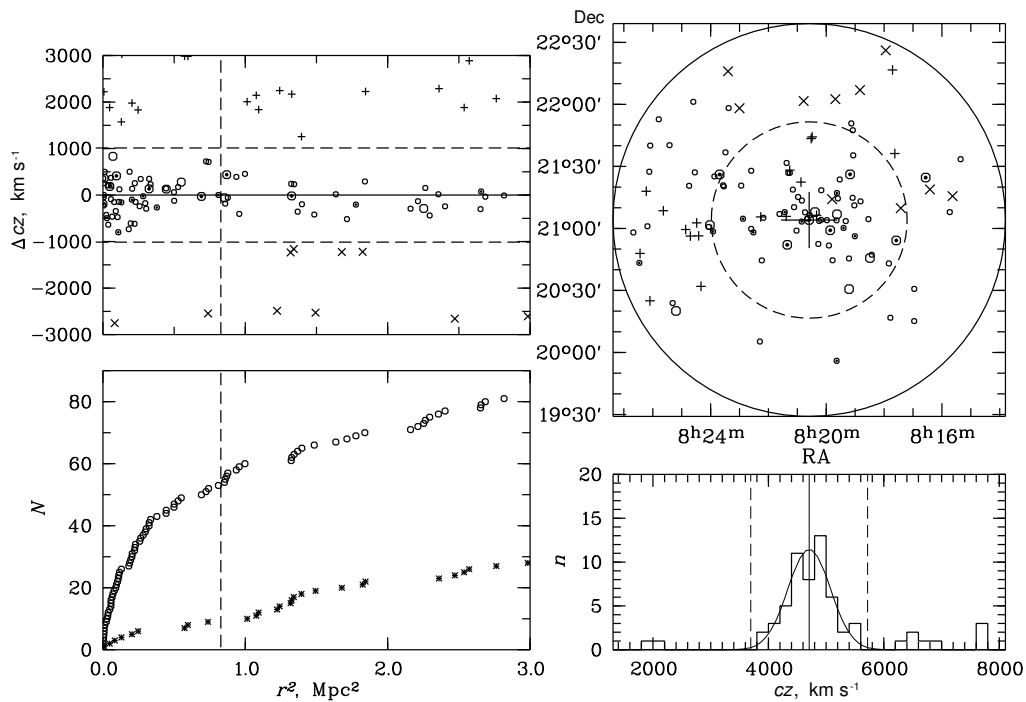


Рис. 2. Распределение галактик в NGC 2563.

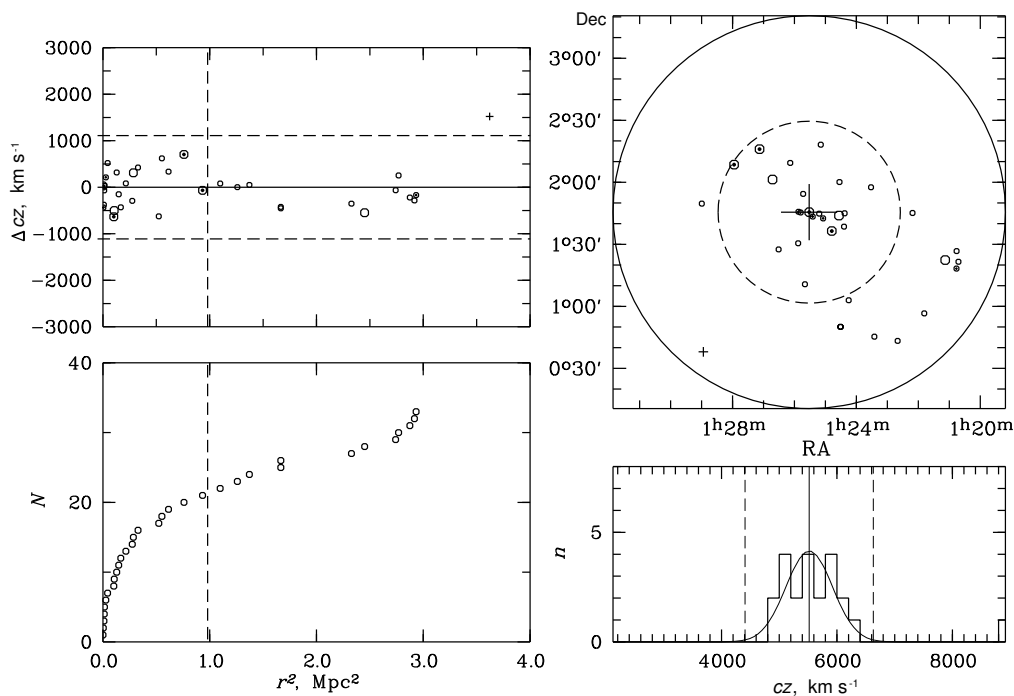


Рис. 3. Распределение галактик в SRGb 102.

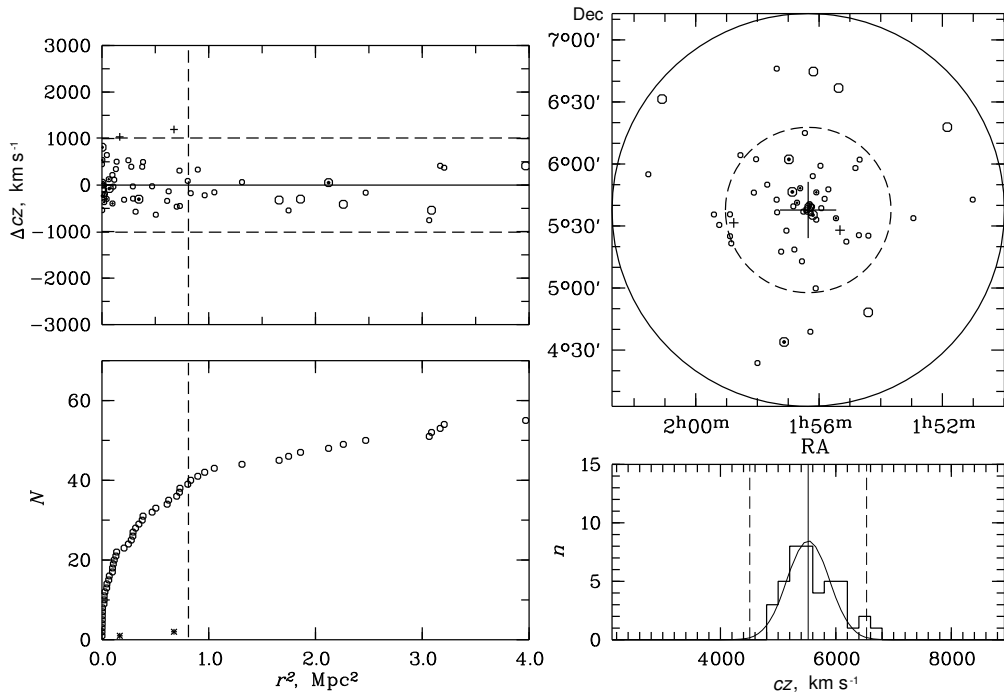


Рис. 4. Распределение галактик в SRGb 119.

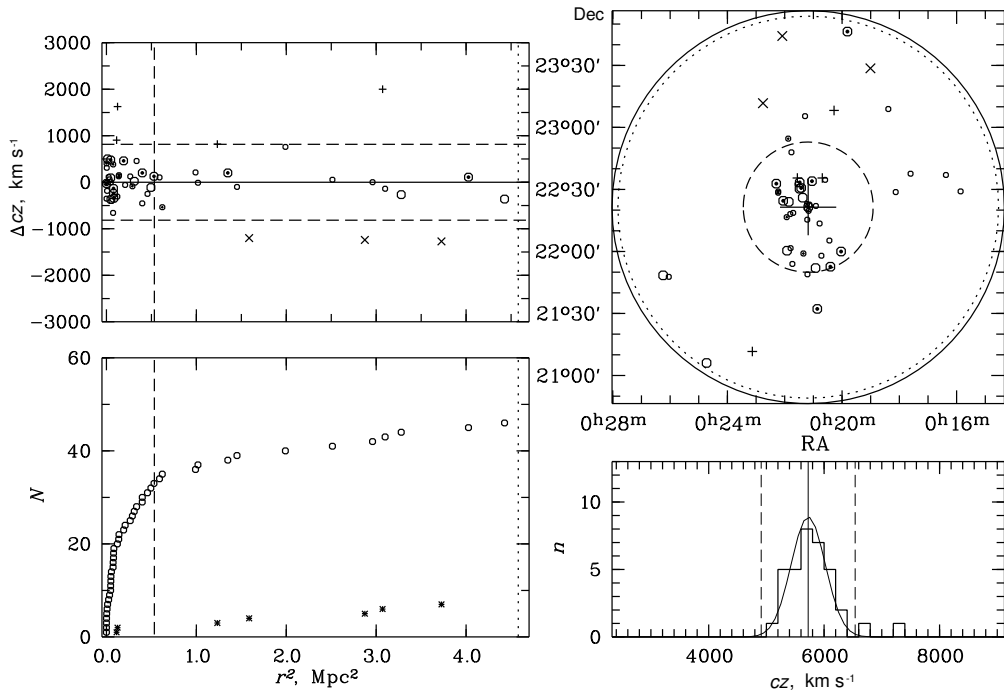


Рис. 5. Распределение галактик в SRGb 063.

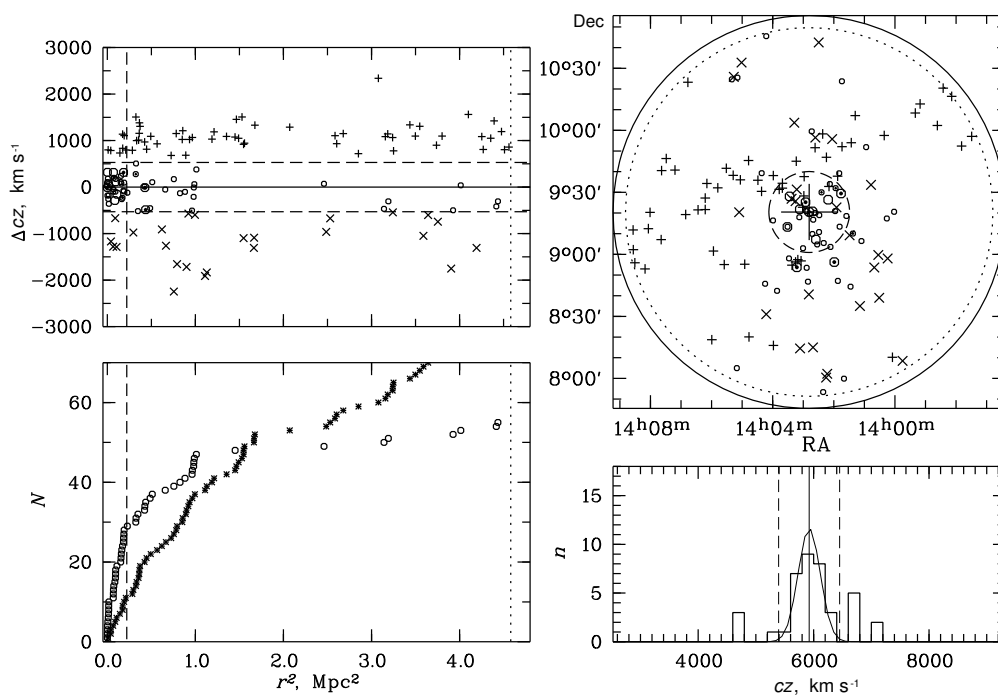


Рис. 6. Распределение галактик в МКВ 12.

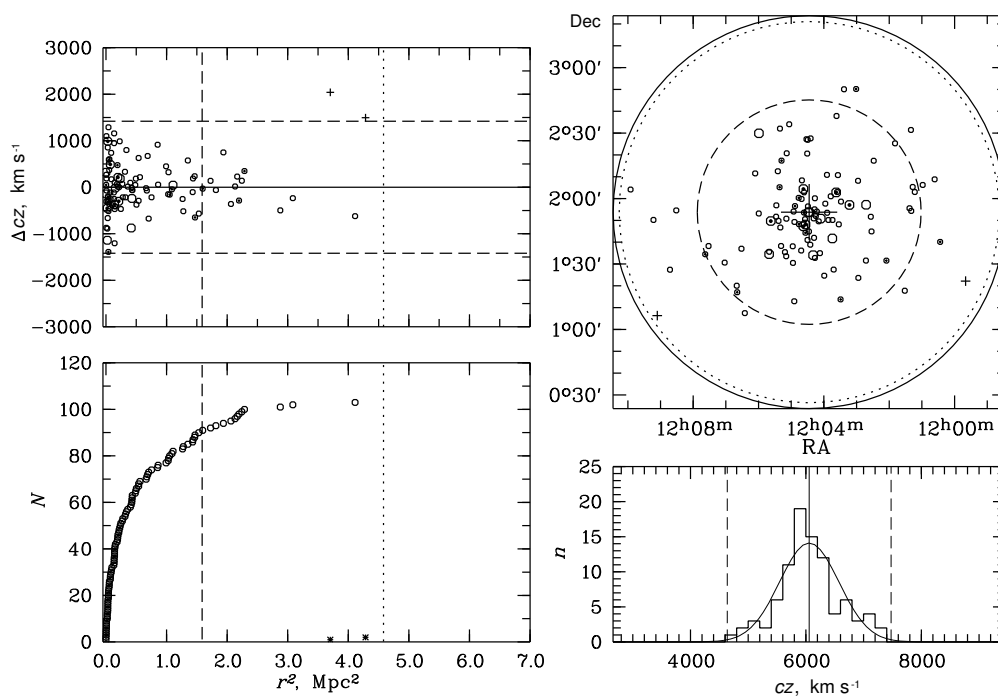


Рис. 7. Распределение галактик в МКВ 04.

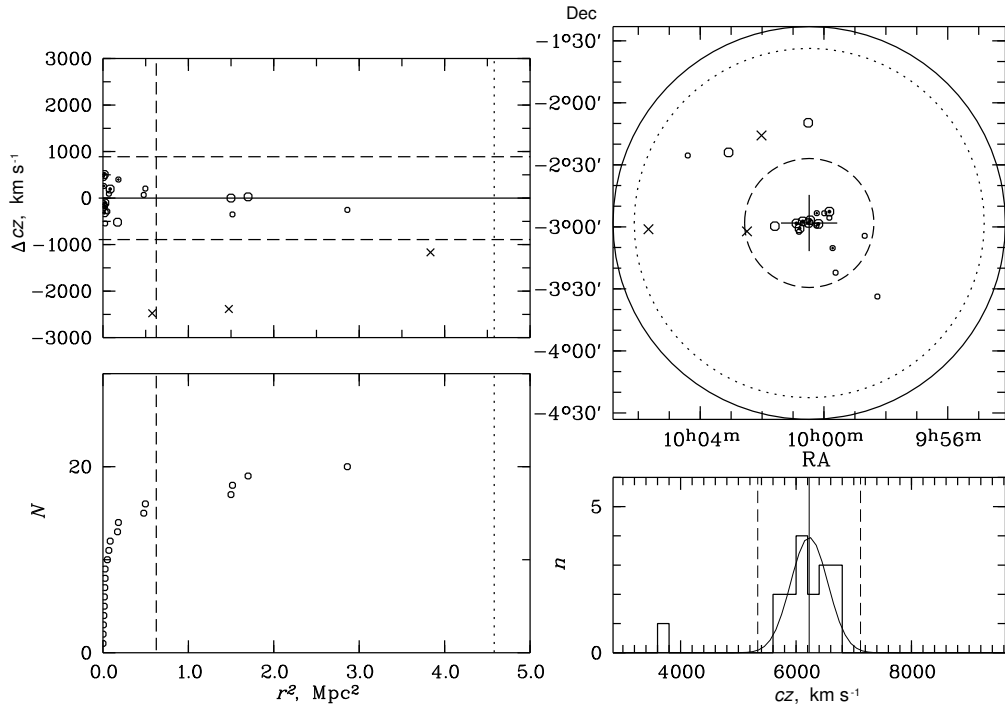


Рис. 8. Распределение галактик в МКW 01.

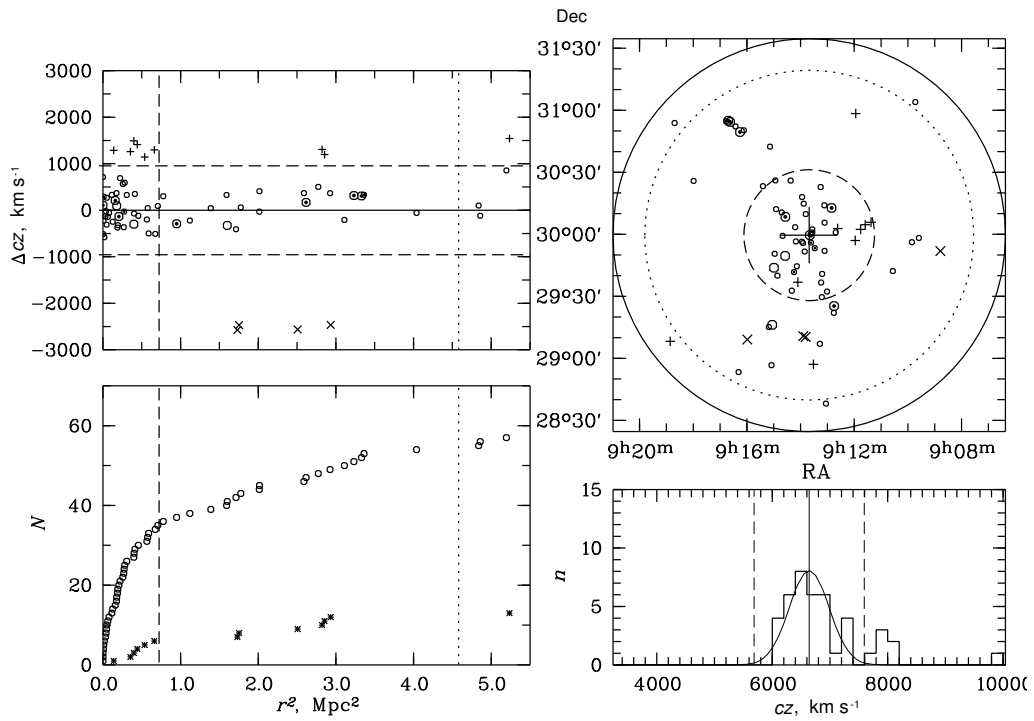


Рис. 9. Распределение галактик в NRGb 025.

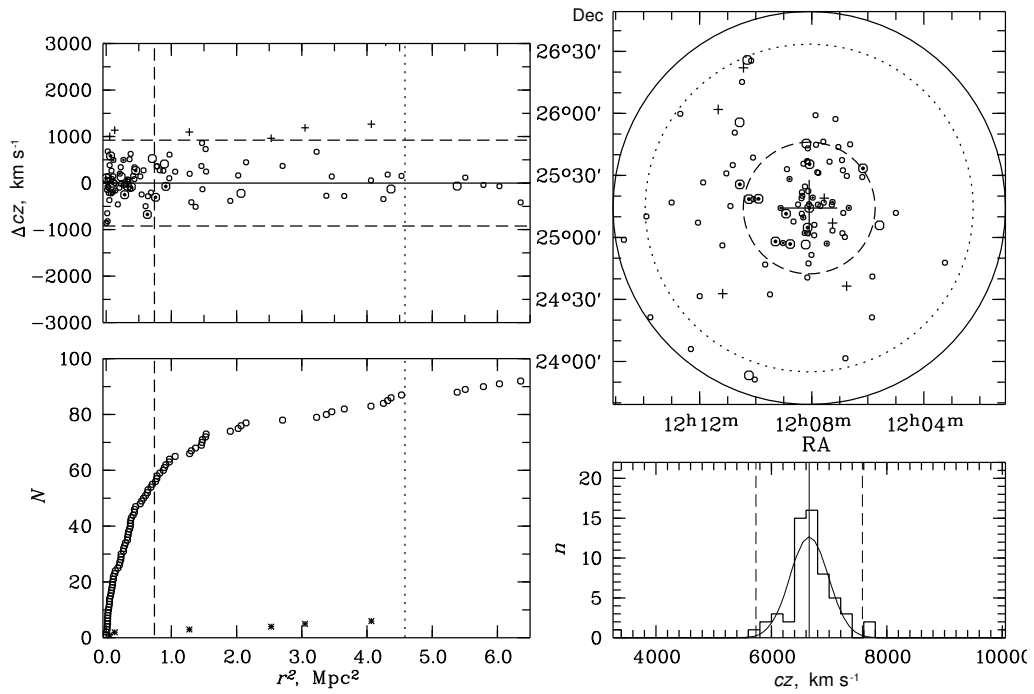


Рис. 10. Распределение галактик в NRGb 184.

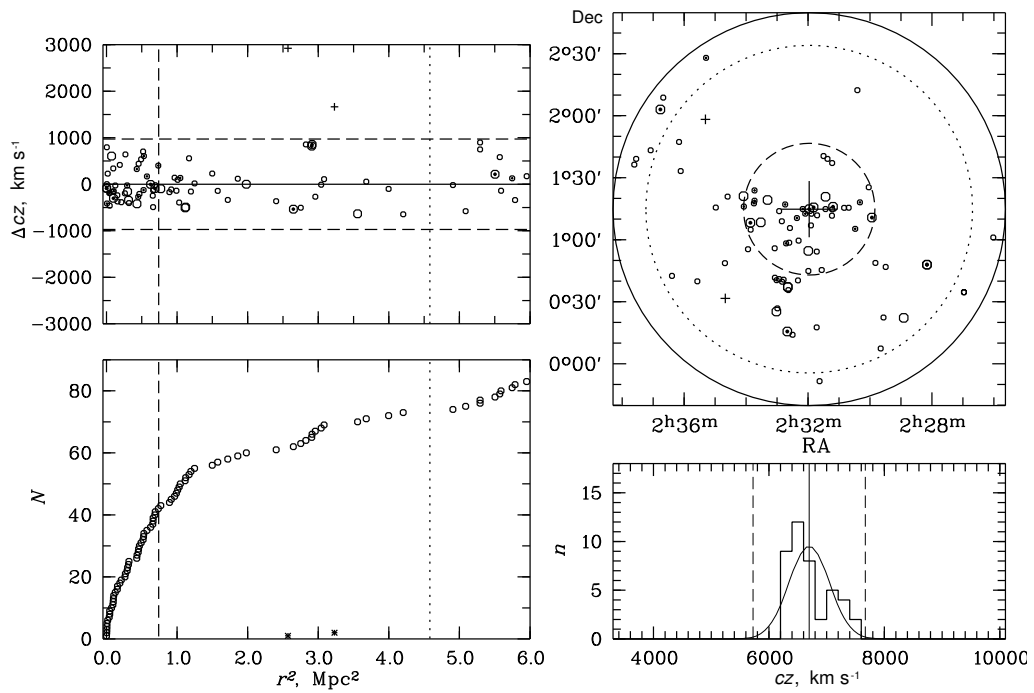


Рис. 11. Распределение галактик в SRGb 145.

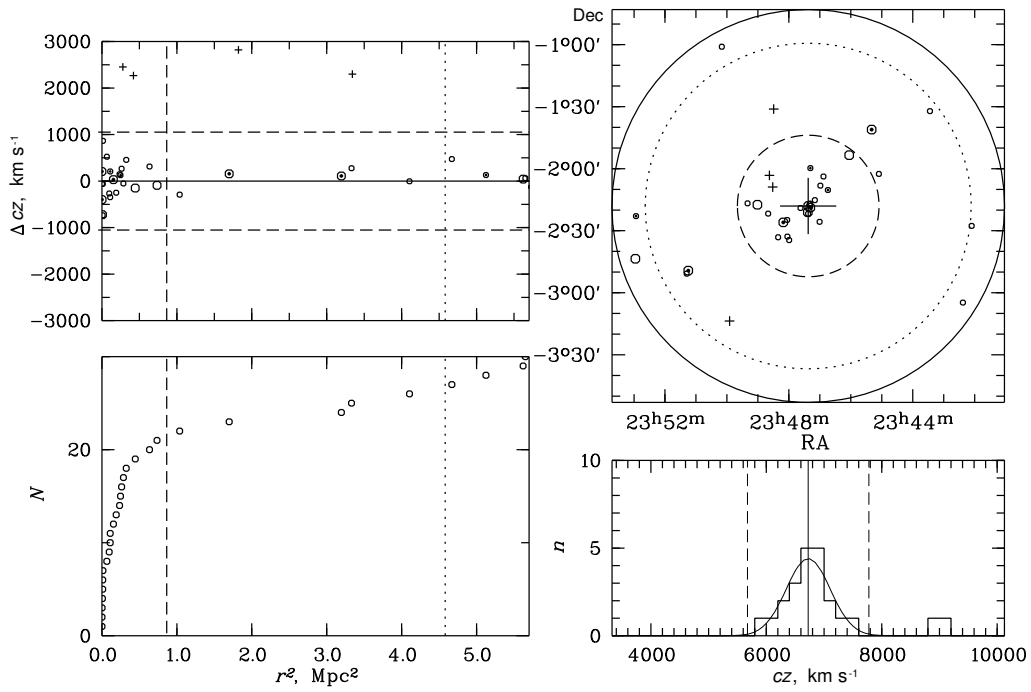


Рис. 12. Распределение галактик в SS2b 312.

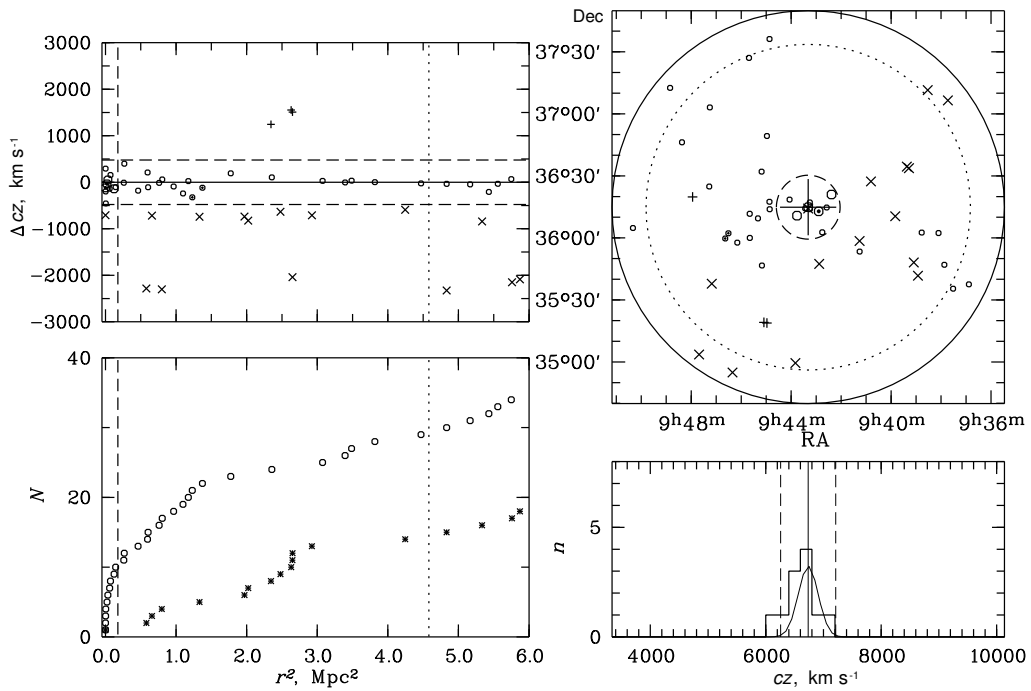


Рис. 13. Распределение галактик в NRGb 057.

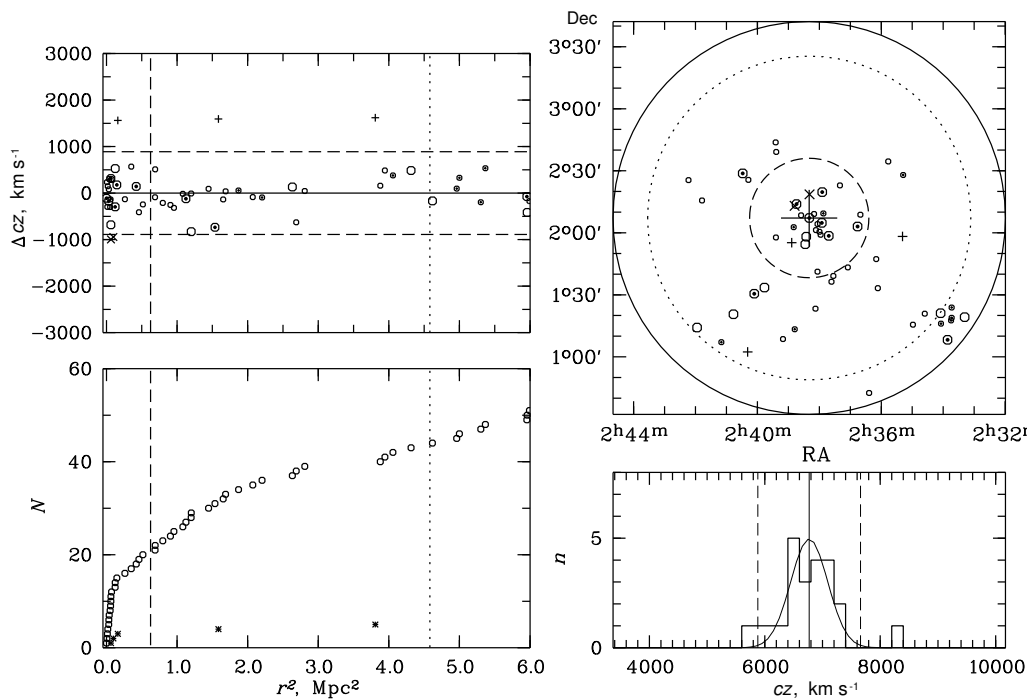


Рис. 14. Распределение галактик в SRGb 149.

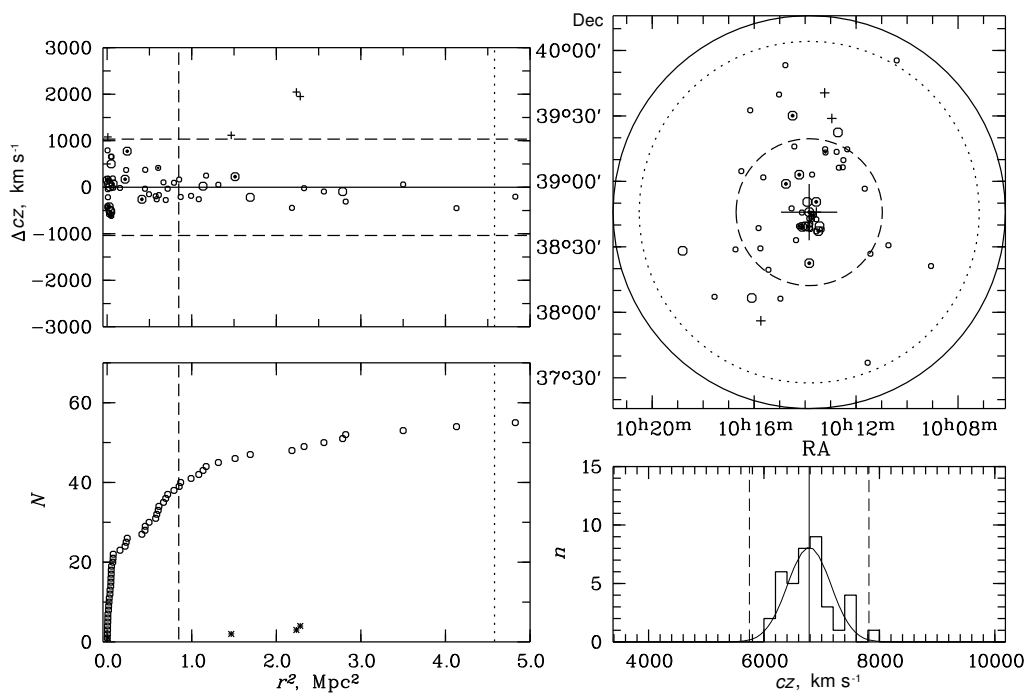


Рис. 15. Распределение галактик в NRGb 078.

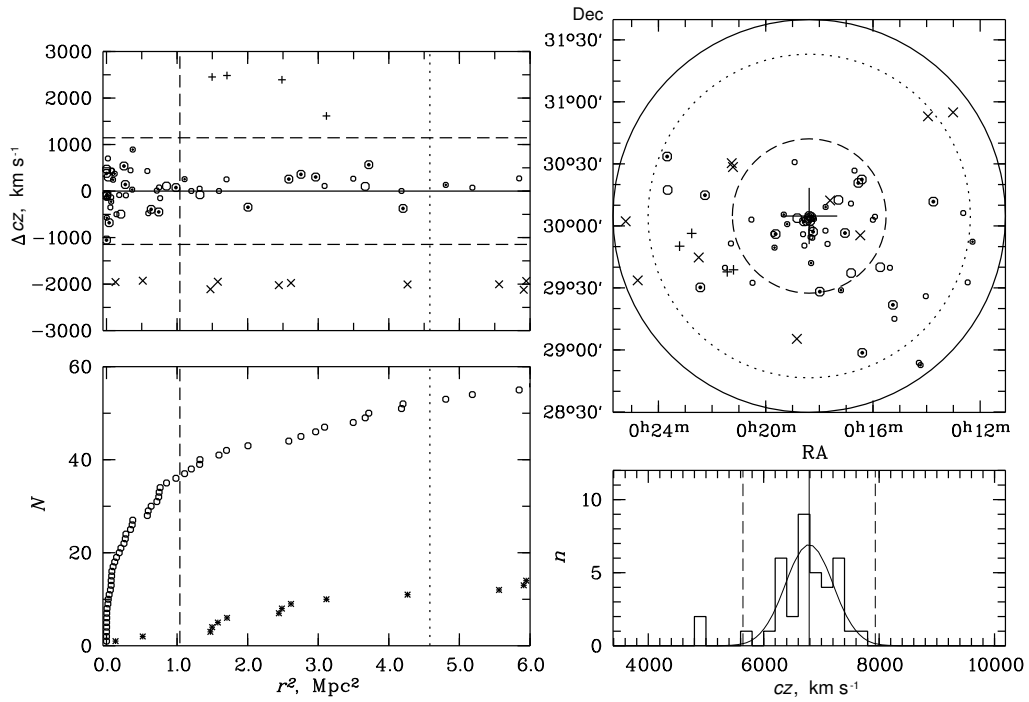


Рис. 16. Распределение галактик в SRGb 062.

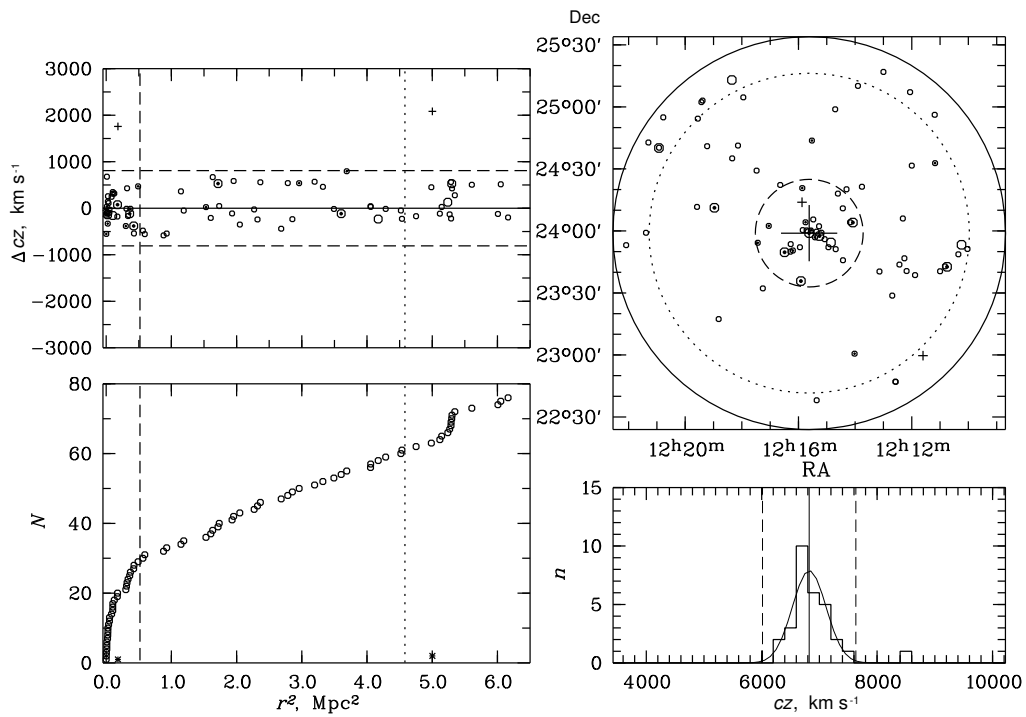


Рис. 17. Распределение галактик в AWM 2.

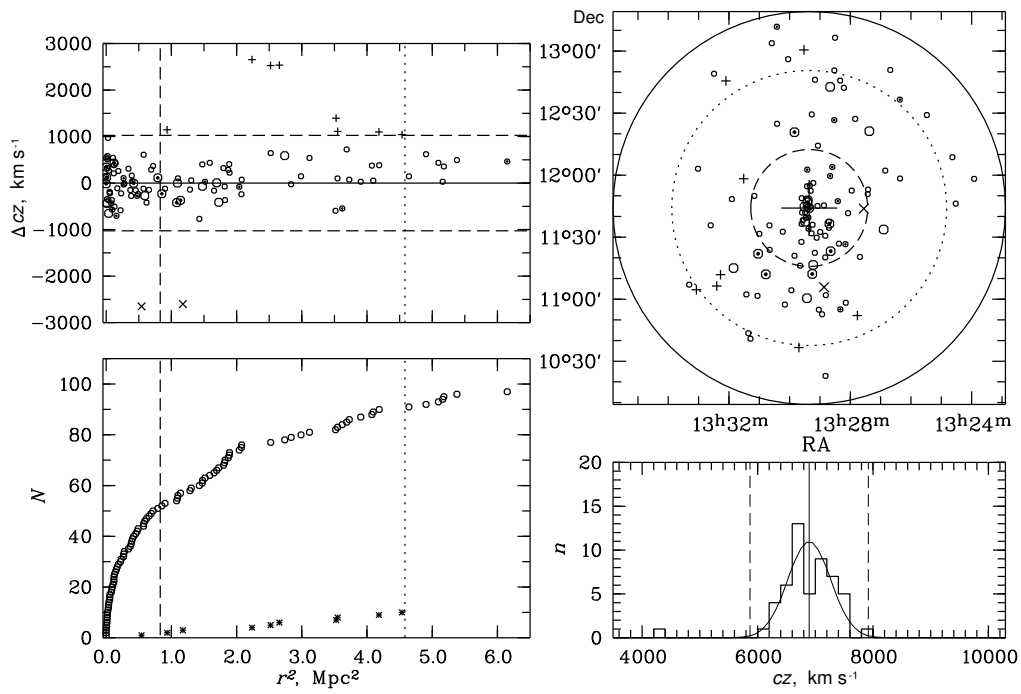


Рис. 18. Распределение галактик в NRGb 247.

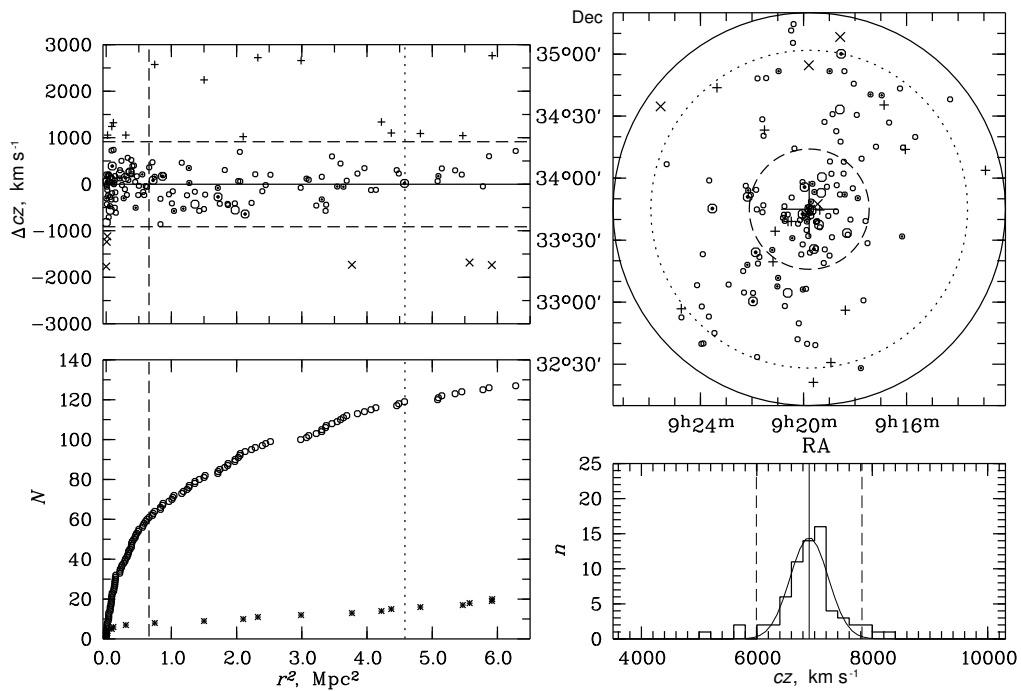


Рис. 19. Распределение галактик в NRGb 032.

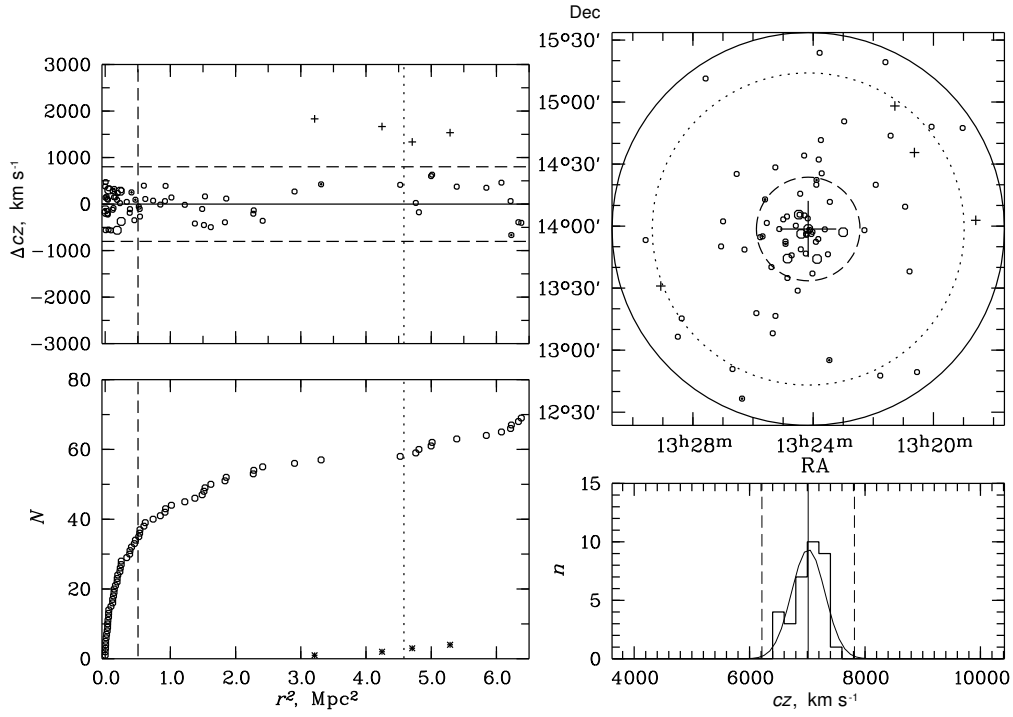


Рис. 20. Распределение галактик в NRGb 244.

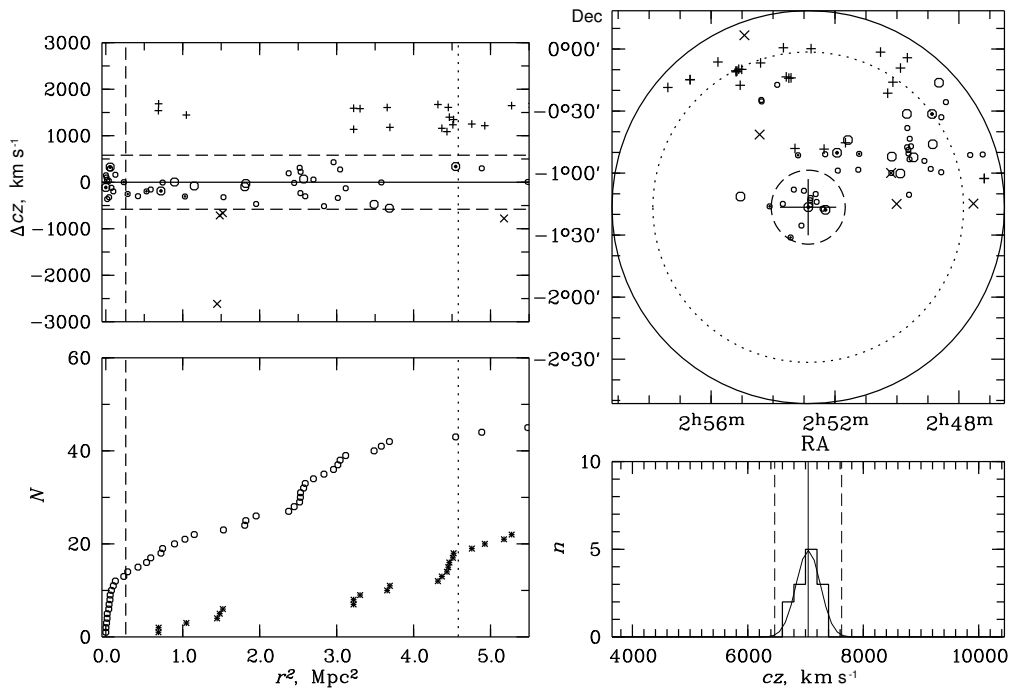


Рис. 21. Распределение галактик в SRGb 155.

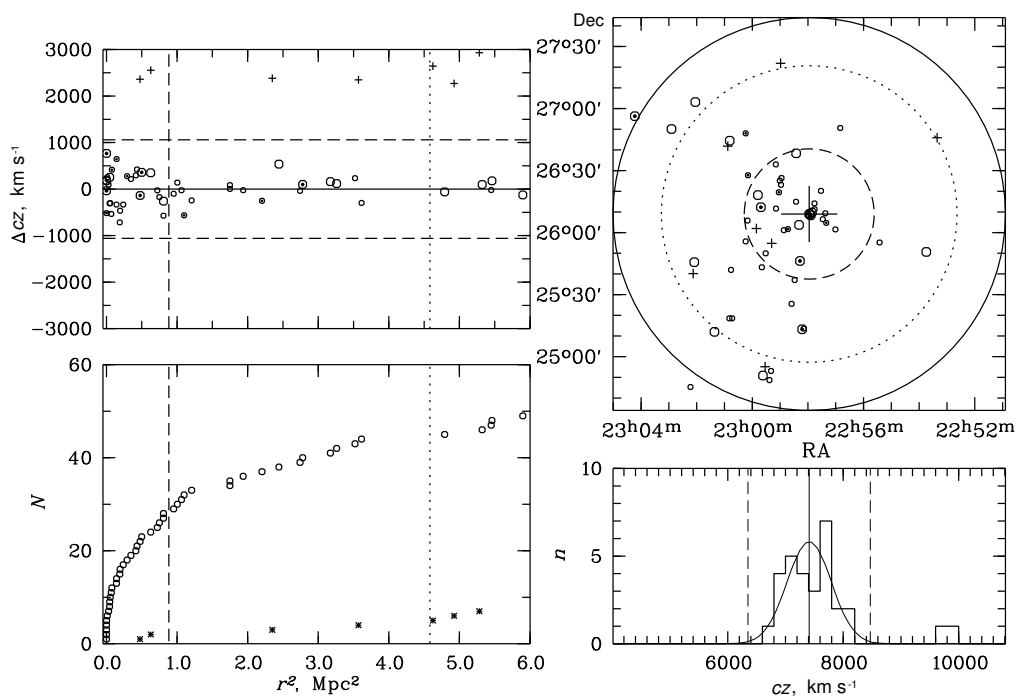


Рис. 22. Распределение галактик в SRGb 016.

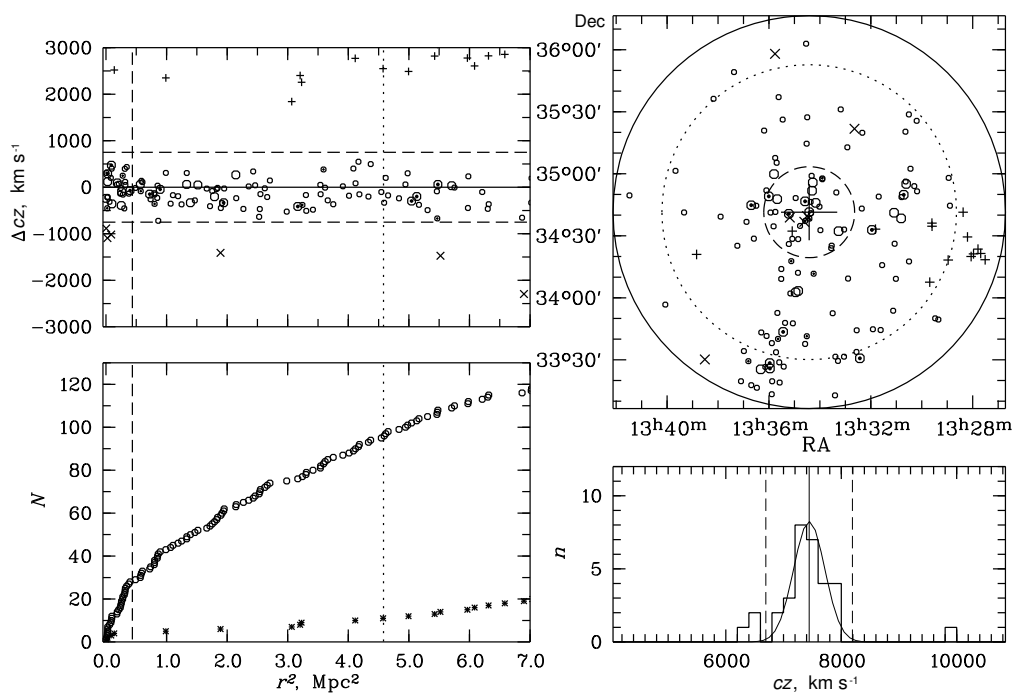


Рис. 23. Распределение галактик в NRGb 251.

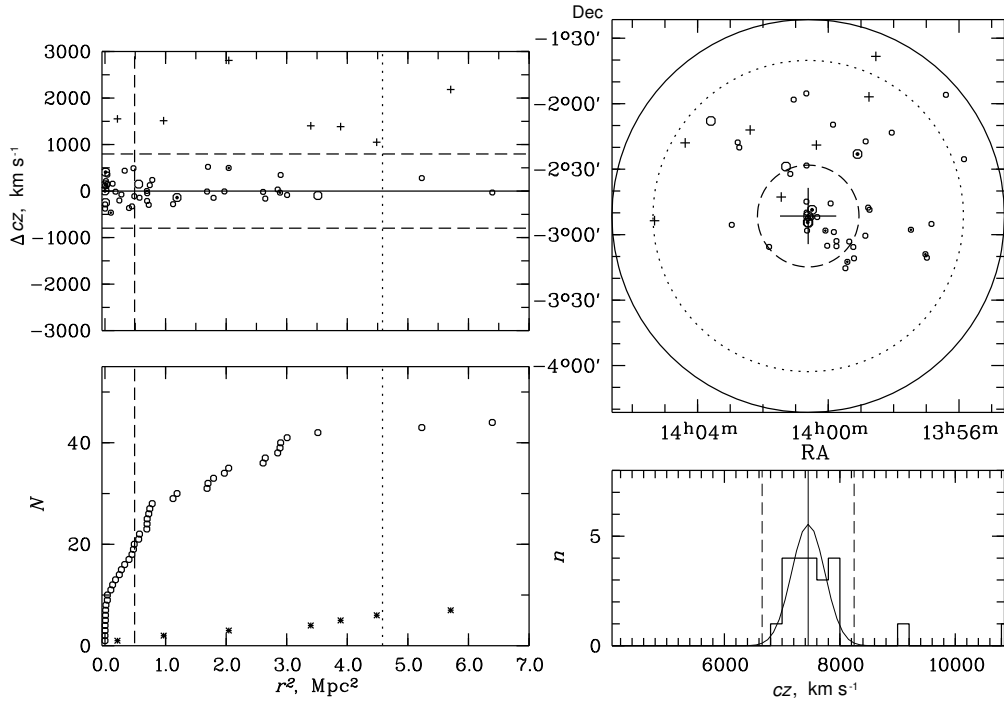


Рис. 24. Распределение галактик в MKW 05.

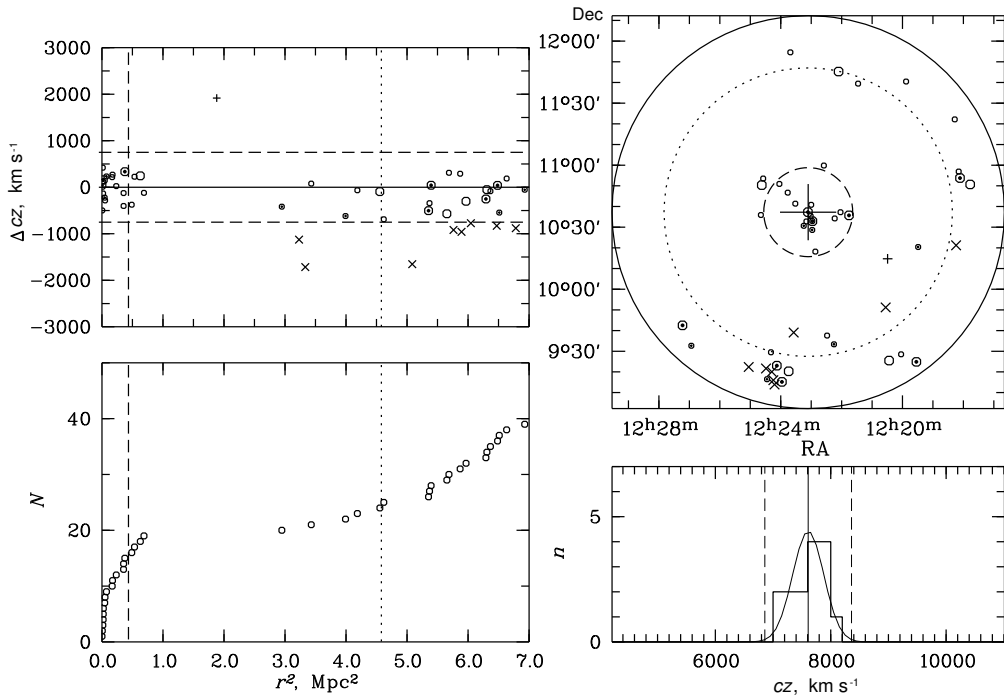


Рис. 25. Распределение галактик в NGC 4325.

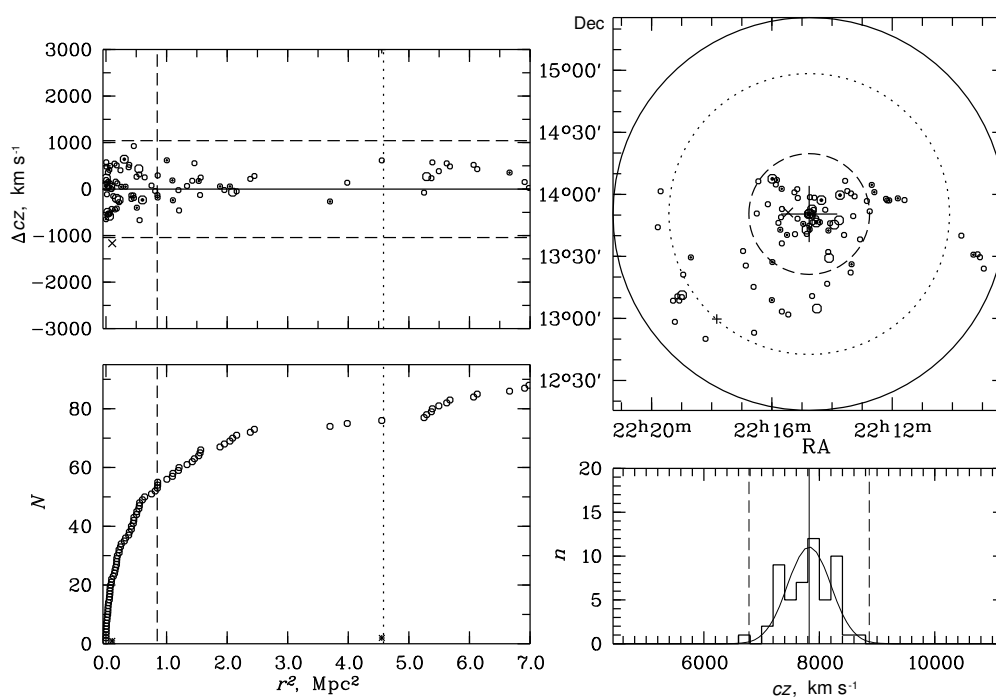


Рис. 26. Распределение галактик в SRGb 009.

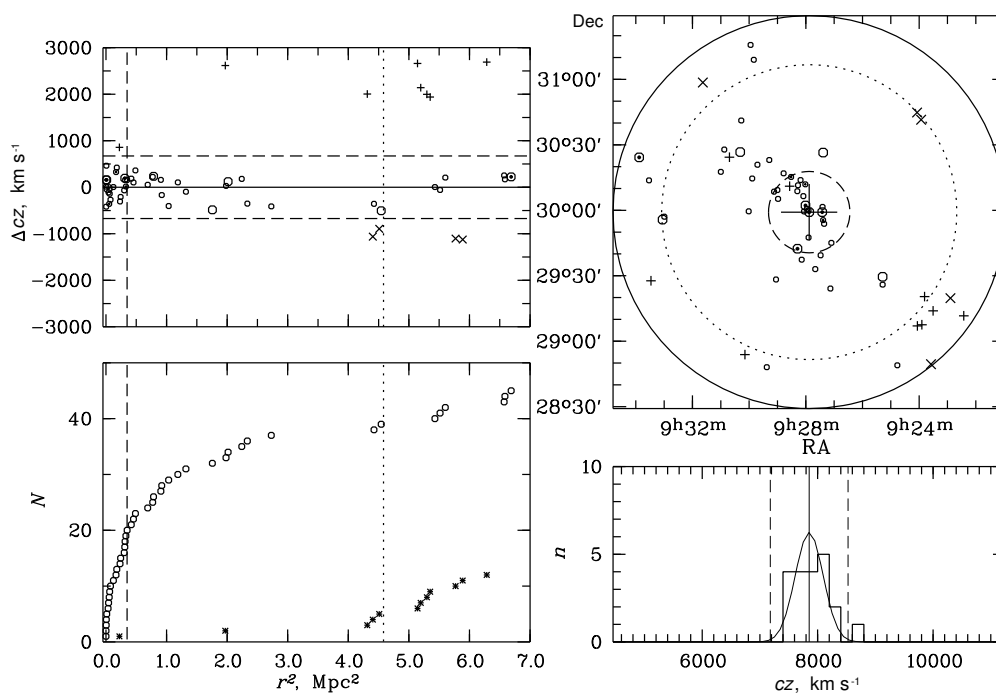


Рис. 27. Распределение галактик в NRGb 043.

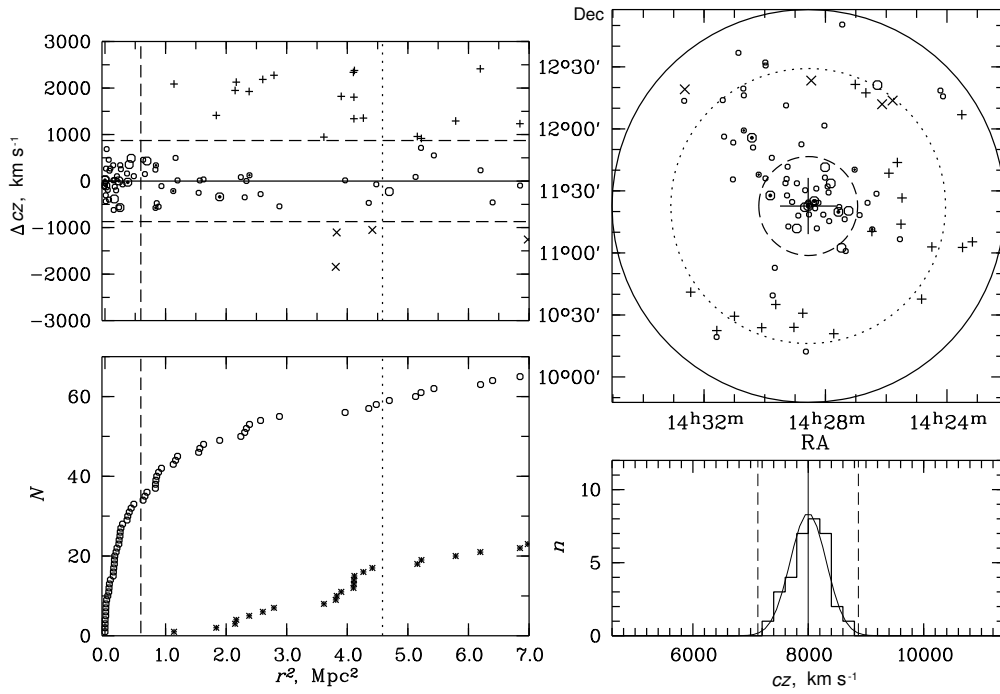


Рис. 28. Распределение галактик в NRGb 302.

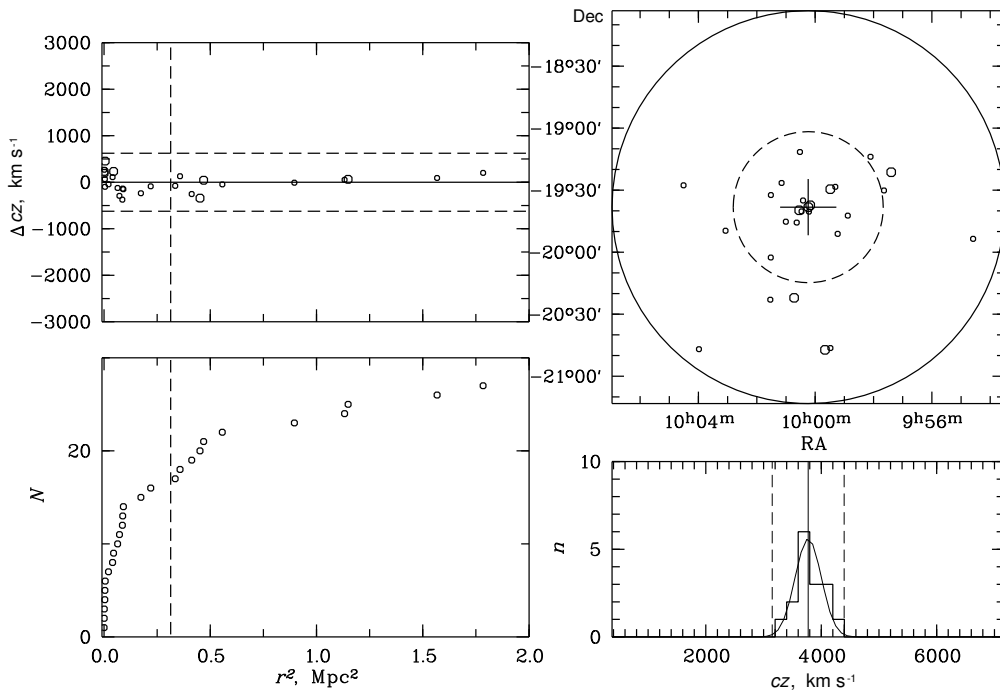


Рис. 29. Распределение галактик в HCG 42.

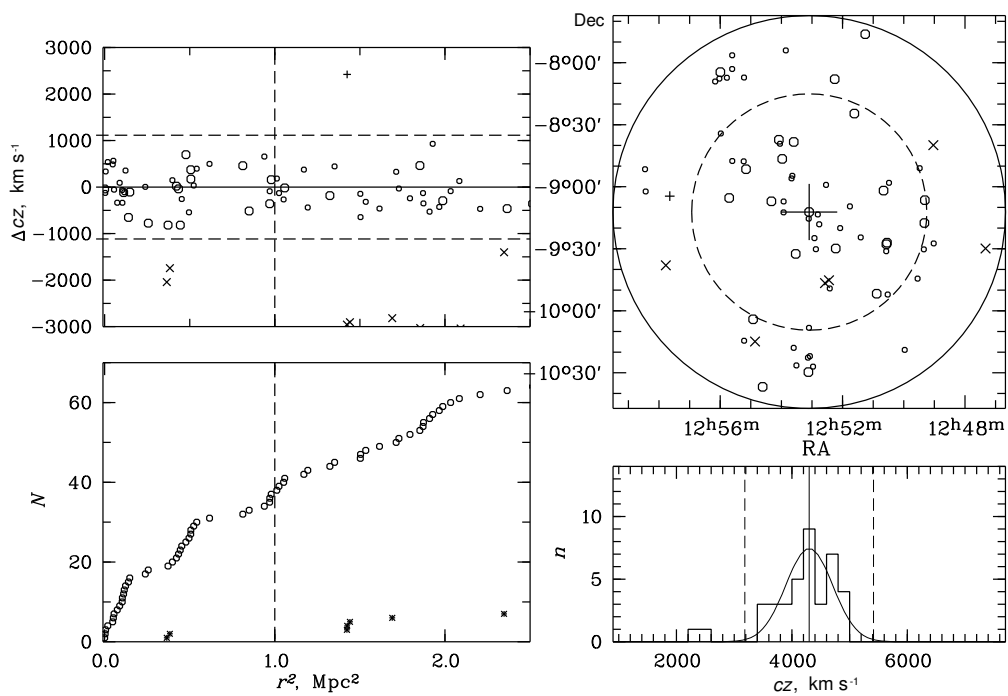


Рис. 30. Распределение галактик в HCG 62.

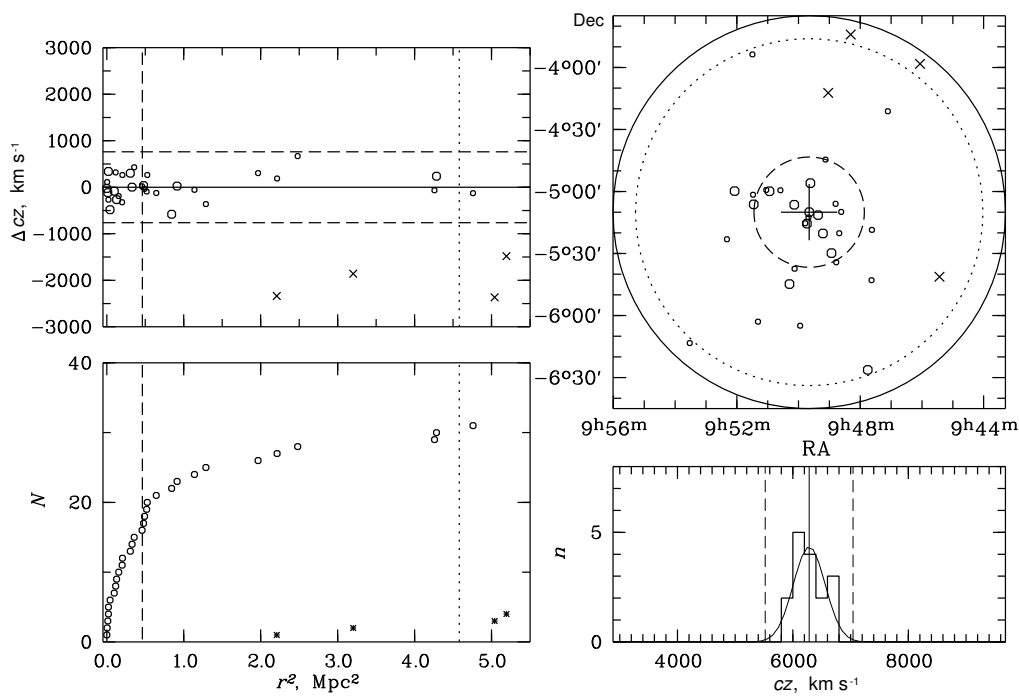


Рис. 31. Распределение галактик в SS2b 144.

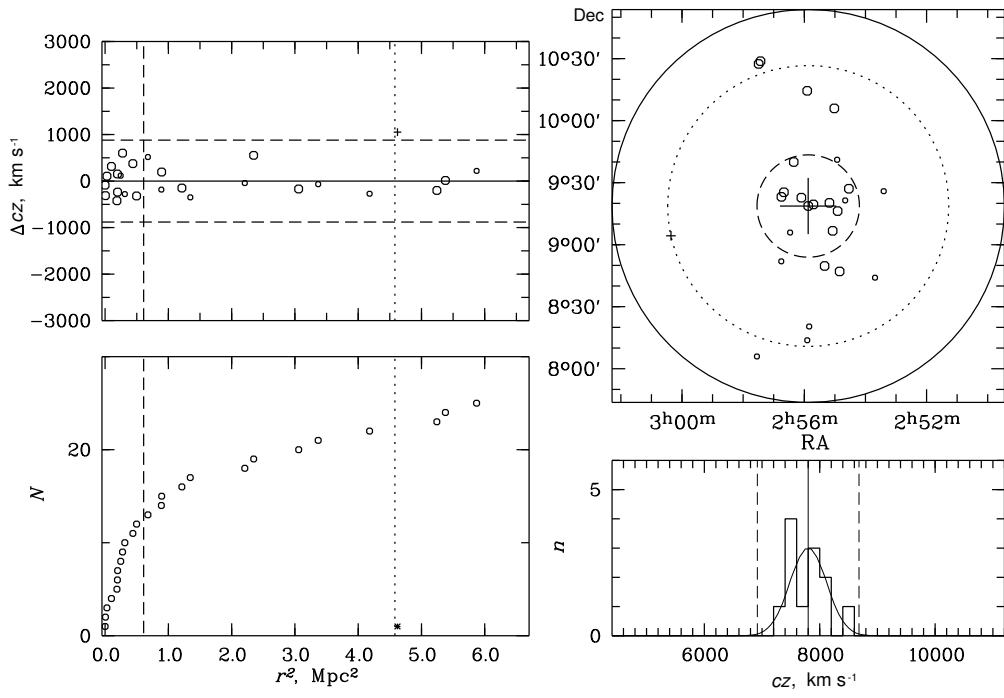


Рис. 32. Распределение галактик в SS2b 158.

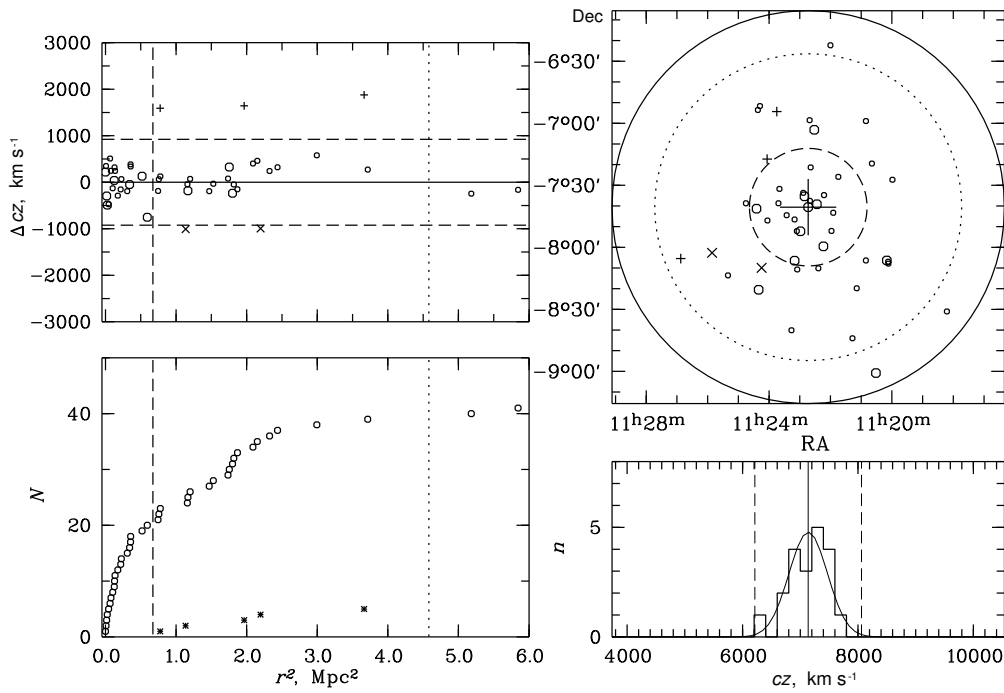


Рис. 33. Распределение галактик в SS2b 164.

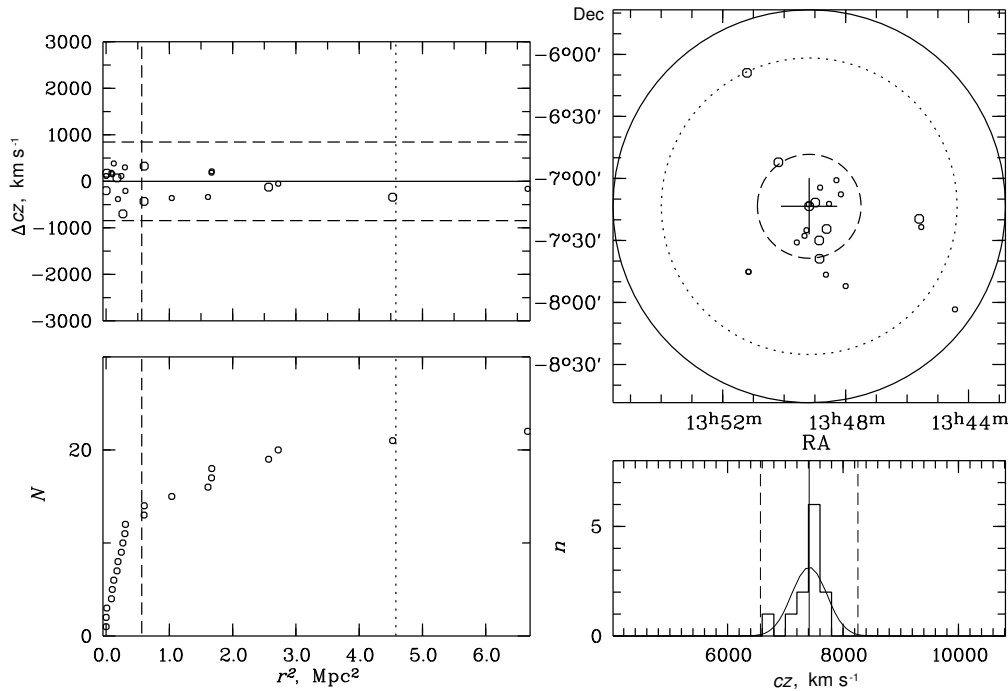


Рис. 34. Распределение галактик в SS2b 239.

нем разница дисперсии лучевых скоростей (данная работа—результат [2]) равна $\Delta\sigma = -25 \pm 14$, разница масс равна

$$\Delta \lg M_{200} = (-0.08 \pm 0.05) \times 10^{14} M_{\odot}.$$

3. ИК-СВОЙСТВА ВИРИАЛИЗОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ ГРУПП ГАЛАКТИК

Для определения полной ИК-светимости групп галактик мы использовали результаты фотометрии галактик, представленной в окончательной версии каталога 2MASS для протяженных объектов. Этот каталог имеет высокую полноту для галактик ярче $13^{\text{m}}5$ в фильтре K_s (далее просто K). Для более слабых галактик, имеющих фотометрические измерения в каталоге SDSS, мы применили метод, описанный в [19]. Сутью этого метода является определение цвета ($r - K$) галактики по измерениям ее петросьяновских параметров в фильтре r и цвета ($u - r$). Данный способ применен нами и подробно описан в работах [8–11] применительно к сверхскоплениям галактик. Учитывая, что цвет ($r - K$) галактик ранних типов, составляющих в пределах R_{200} большинство, равен в среднем $2^{\text{m}}6 - 2^{\text{m}}8$, предел нашей выборки галактик с индивидуальными оценками величин в полосе K примерно

равен 15^{m} . Для того чтобы всю нашу выборку групп и скоплений галактик ($z < 0.1$) исследовать совместно, мы ограничились только галактиками ярче $M_K < -21^{\text{m}}$. При этом полная светимость группы или скопления оценивается простой суммой светимостей всех галактик, расположенных в пределах радиуса R_{200} и имеющих $z < 0.04$, а для более далеких систем галактик определяется поправка к полной светимости по составной функции светимости [2, 9] с параметрами функции Шехтера, найденными нами для сверхскоплений Leo и Hercules, $M_K^* = -24^{\text{m}}97$ и $\alpha = -1.19$ [11] в интервале звездных величин $M_K = -26^{\text{m}}0 - 21^{\text{m}}5$. В таблице в восьмом столбце приведено количество галактик в группе в пределах радиуса R_{200} ярче $M_K < -21^{\text{m}}$, в девятом — полная K -светимость, а в десятом столбце дано отношение динамической массы к K -светимости. Ошибка вычисления L_K также следует из ошибки дисперсии лучевых скоростей, и для этого диапазона масс она меньше 0.1×10^{12} . В среднем, разница светимостей групп галактик (данная работа—результат [2]) составляет $\Delta \lg L_K = (-0.05 \pm 0.02) \times 10^{12} M_{\odot}$. Как уже отмечалось, для шести групп галактик параметры, приведенные в таблице, определены только по ярким галактикам, имеющим ИК-светимости в 2MASX каталоге.

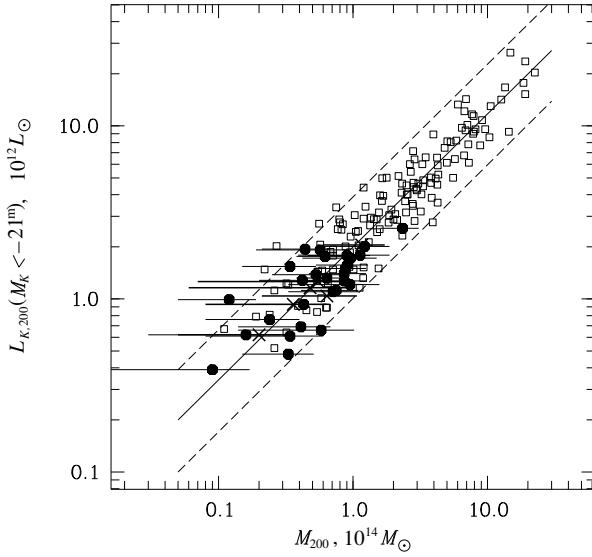


Рис. 35. K -светимость групп галактик (по галактикам с $M_K < -21^m$) в зависимости от их массы. Пустыми квадратами показана полная исследуемая нами выборка из 148 систем. Заполненными кружками показаны группы, изучаемые в этой работе, имеющие данные в каталогах SDSS и 2MASX. Кресты соответствуют группам, имеющим только NED- и 2MASX-данные. Приведено регрессионное соотношение $L_K \propto M_{200}^{0.768 \pm 0.002}$ (сплошная линия). Штриховые линии соответствуют 2σ отклонениям.

3.1. Зависимость между K -светимостью и массой

Для изучаемой выборки групп галактик мы оценили медианные характеристики: $z = 0.0226$, $M_{200} = 0.58 \times 10^{14} M_{\odot}$, $L_K = 1.26 \times 10^{12} L_{\odot}$ и $M/L_K = 56 M_{\odot}/L_{\odot}$. На рис. 35 приведена полученная зависимость между K -светимостью и массой групп и скоплений галактик в логарифмической форме для 182 систем галактик:

$$\lg L_{K,200} = 0.768(\pm 0.002) \lg M_{200} + 1.549(\pm 0.024).$$

Приведенная нами зависимость представляет собой среднее между прямой и обратной регрессиями, когда независимые переменные меняются местами. Стандартное отклонение в зависимости равно 0.15. Выборка групп галактик, которую мы изучаем в этой работе, показана на рисунке заполненными кружками; крестиками отмечены группы из этой же выборки, не имеющие данных SDSS, а только данные NED и 2MASX. Аналогичная зависимость получена нами между количеством галактик в системах ($M_K < -21^m$) и динамической массой:

$$\lg N_{200} = 0.821(\pm 0.002) \lg M_{200} - 9.891(\pm 0.023).$$

Стандартное отклонение в ней также равно 0.15. Можно отметить, что для изучаемой нами выборки

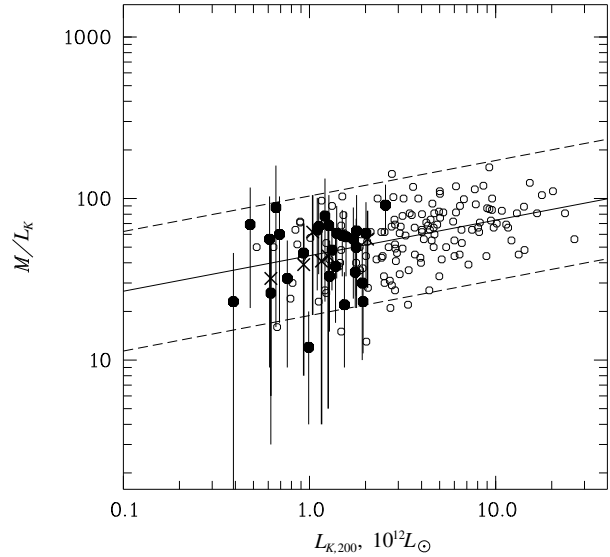


Рис. 36. Соотношение масса—светимость групп и скоплений галактик в зависимости от K -светимости. Обозначения те же, что на рис. 35. Приведено регрессионное соотношение $M_{200}/L_K \propto L_K^{0.220 \pm 0.003}$ (сплошная линия). Штриховые линии соответствуют 2σ отклонениям.

групп галактик динамические массы хорошо отслеживают K -светимости галактик, которые соответствуют их звездным массам и которые можно получить из известных соотношений масса—светимость звезд галактик ранних типов. Другая интересная зависимость, $N-M_{200}$, где N — количество галактик в гало (важная характеристика группы), указывает на то, что массивные группы и скопления имеют меньше галактик на единицу массы, чем менее массивные. Видимо, в массивных системах сильнее проявляются механизмы приливного взаимодействия галактик.

На рис. 36 показана зависимость соотношения масса—ИК-светимость от полной светимости систем галактик, а на рис. 37 — от массы M_{200} . Полученные зависимости в логарифмической форме имеют вид:

$$\lg M/L_K = 0.220(\pm 0.003) \times \lg L_K - 0.994(\pm 0.032),$$

$$\lg M/L_K = 0.287(\pm 0.002) \times \lg M_{200} - 2.335(\pm 0.022).$$

Поскольку зависимости имеют небольшой наклон, приведены только прямые регрессионные соотношения. Стандартные отклонения в соотношениях равны 0.18 и 0.14. Разброс в зависимости M/L_K-L_K выше, но светимости групп галактик

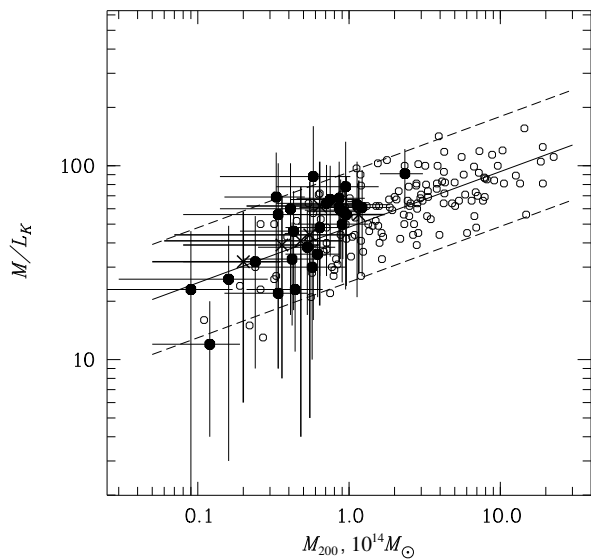


Рис. 37. Соотношение масса—светимость групп и скоплений галактик в полосе K в зависимости от массы. Обозначения те же, что на рис. 35. Приведено регрессионное соотношение $M_{200}/L_K \propto M_{200}^{0.287 \pm 0.002}$ (сплошная линия). Штриховые линии соответствуют 2σ отклонениям.

L_K определяются точнее, чем их массы. Группа МКВ 12 показывает наибольшее отклонение на всех зависимостях. Она расположена в сложном месте (рис. 6). По нашему определению, это небольшая группа с галактикой NGC 5423 в центре и с небольшой дисперсией лучевых скоростей, возможно, просто филамент из галактик.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе мы исследовали по архивным данным каталогов SDSS, 2MASX и NED выборку групп галактик в области $0.012 < z < 0.027$, имеющих дисперсию лучевых скоростей $\sigma < 400 \text{ км с}^{-1}$. Только система МКВ4 имеет σ больше 500 км с^{-1} , характерную для скоплений галактик. Нами измерены такие важные характеристики систем галактик как радиус R_{200} , дисперсия лучевых скоростей и масса в его пределах, количество галактик ярче $M_K < -21^m$, их K -светимость, соотношение масса—ИК-светимость. Полученные динамические и фотометрические характеристики групп и зависимости между ними ($M-L_K$, $M-N$, M/L_K-M , M/L_K-L_K) позволяют сделать вывод, что исследуемая нами выборка по своим свойствам является продолжением выборки скоплений галактик ($N = 148$) в область малых масс или малых светимостей. По полной выборке, состоящей из

182 групп и скоплений галактик, мы уточнили все зависимости между исследуемыми параметрами. В дальнейшем мы предполагаем определить разнообразные характеристики изучаемых систем галактик с целью уточнения их эволюционного статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ

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/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. M. Poggianti, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **122**, 399 (1997).
2. M. Ramella, W. Boschin, M. Geller, et al., *Astron. J.* **128**, 2022 (2004).
3. Y.-T. Lin, J. J. Mohr, and S. A. Stanford, *Astrophys. J.* **591**, 749 (2003).
4. Y.-T. Lin, J. J. Mohr, and S. A. Stanford, *Astrophys. J.* **610**, 745 (2004).
5. K. Rines, M. J. Geller, A. Diaferio, et al., *Astron. J.* **128**, 1078 (2004).
6. A. Muzzin, H. K. C. Yee, P. B. Hall, and H. Lin, *Astrophys. J.* **663**, 150 (2007).
7. M. L. Balogh, P. Mazzotta, R. G. Bower, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **412**, 947 (2011).
8. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astronomy Letters* **32**, 84 (2006).
9. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 1 (2009).
10. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astronomy Letters* **37**, 219 (2011).
11. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astronomy Letters* **39**, 1 (2013).
12. M. Einasto, E. Saar, V. J. Martínez, et al., *Astrophys. J.* **685**, 83 (2008).
13. B. M. Poggianti, A. von der Linden, G. De Lucia, et al., *Astrophys. J.* **642**, 188 (2006).
14. F. G. Kopylova, *Astrophysical Bulletin* **68**, 253 (2013).
15. M. L. Balogh and S. L. McGee, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **402**, L59 (2010).
16. K. N. Abazajian, J. K. Adelman-McCarthy, M. A. Agüeros, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **182**, 543 (2009).
17. T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri, et al., *Astrophys. J.* **119**, 2498 (2000).
18. R. G. Carlberg, H. K. C. Yee, E. Ellingson, et al., *Astrophys. J.* **485**, L13 (1997).
19. M. Obrić, Ž. Ivezić, P. N. Best, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **370**, 1677 (2000).

Properties of 34 Massive Galaxy Groups within $0.012 < z < 0.027$ **F. G. Kopylova and A. I. Kopylov**

In order to extend the relationship between the infrared luminosity of groups and clusters of galaxies and their dynamic mass to the $1-5 \times 10^{13} M_{\odot}$ mass region, we selected from the study of Ramella et al. (2004) certain galaxy groups in the region of $0.012 < z < 0.027$. Based on the archive data from the SDSS, NED, and 2MASX, for these 34 galaxy groups we determined the dynamic and photometric characteristics. Overall, the sample has the following median characteristics: $z = 0.0226$, $M_{200} = 0.58 \times 10^{14} M_{\odot}$, $L_K = 1.26 \times 10^{12} L_{\odot}$, and $N(M_K < -21^m) = 22$. Having this sample added to the earlier prepared sample of 148 groups and clusters of galaxies, we found the following relationships between the dynamic mass M_{200} , infrared (IR) luminosity, and the number of galaxies within the R_{200} radius: $L_K(M_K < -21^m) \propto M^{0.77}$, $N(M_K < -21^m) \propto M^{0.82}$, and $M/L_K \propto L_K^{0.22}$. Practically all the members of the studied sample show a good agreement between the dynamic mass of groups M_{200} and IR luminosity of galaxies, and eventually their stellar mass (only the group MKW 12 deviates more than 2σ in all the dependencies).

Keywords: *galaxies: groups: general—galaxies: clusters: general*