

УДК 524.77-323.4

## СТРУКТУРА СКОПЛЕНИЙ С БИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ ГАЛАКТИК. II: A1775

© 2009 А. И. Копылов, Ф. Г. Копылова

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 10 марта 2009 г.; принята в печать 24 марта 2009 г.

Исследована структура скопления галактик Abell 1775 ( $\alpha = 13^h42^m$ ,  $\delta = +26^\circ22'$ ,  $cz \approx 21000$  км/с), показывающего бимодальное распределение лучевых скоростей галактик. Разность скоростей субскоплений равна  $\Delta V \approx 2900$  км/с. Используя результаты наших собственных фотометрических наблюдений на 1-м телескопе САО РАН, а также и спектральные и фотометрические данные из каталога SDSS DR6, мы определили прямые расстояния до субскоплений по галактикам ранних типов тремя различными способами: с помощью соотношения Корменди, фотометрической плоскости и фундаментальной плоскости. Установлено, что скопление A1775 состоит из двух независимых скоплений, A1775A ( $cz = 19664$  км/с) и A1775B ( $cz = 22576$  км/с), находящихся на своих хаббловских расстояниях и имеющих небольшие пекулярные скорости. При дисперсии скоростей 324 км/с и 581 км/с и динамических массах в пределах радиуса  $R_{200}$ , равных  $0.6 \times 10^{14}$  и  $3.3 \times 10^{14} M_\odot$ , скопления A1775A и A1775B имеют отношение массы к светимости в K-полосе 29 и 61 соответственно. Радиогалактика с протяженным хвостом принадлежит скоплению A1775B.

Ключевые слова: *галактики, группы и скопления галактик, межгалактический газ*

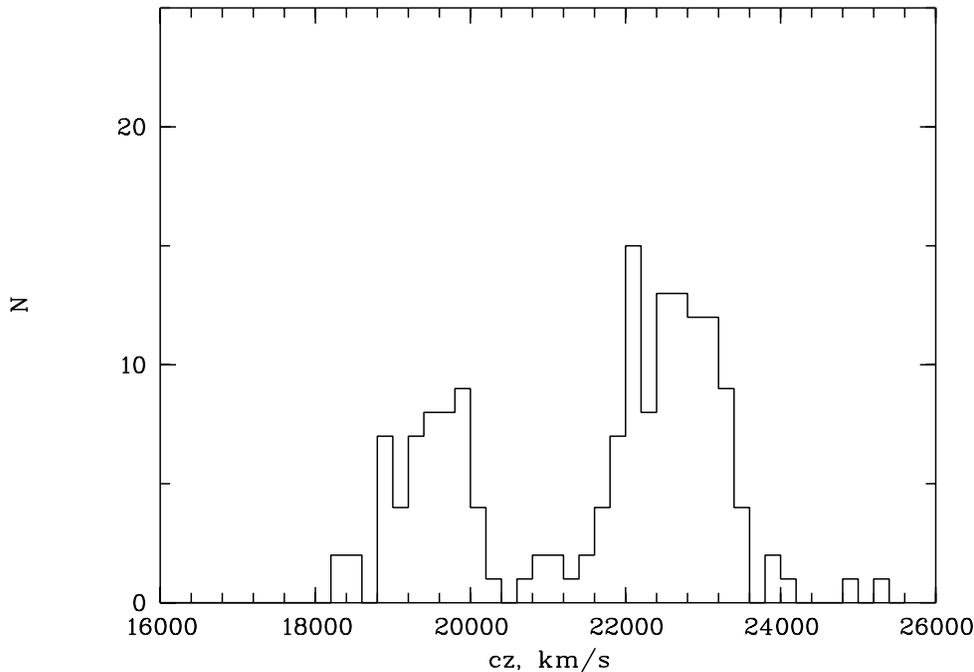
### 1. ВВЕДЕНИЕ

Для тестирования космологических моделей важно знать, как взаимосвязаны скорости пекулярных движений и массы субскоплений на масштабах, превышающих вириализованные области скоплений галактик. Как известно, значительная часть богатых скоплений состоит из субскоплений, расположенных вдоль луча зрения. Особый интерес представляют те случаи, когда распределение скоростей галактик в скоплении имеет бимодальную форму, и разность средних лучевых скоростей субскоплений достигает 2500–3500 км/с. Такие наблюдаемые разности скоростей могут быть либо связаны с гравитационным взаимодействием субскоплений в массивных скоплениях, либо являться результатом проекции на луч зрения не связанных между собой скоплений. Теоретические оценки предельных скоростей при столкновении скоплений галактик в  $\Lambda$ CDM-модели получены в работе [1].

Мы отобрали 4 богатых скопления (A1035, A1569, A1775, A1831) с бимодальным распределением лучевых скоростей галактик ( $\Delta V \sim 3000$  км/с) для определения прямым методом, то есть независимо от определения красных смещений, расстояний до субскоплений и выявления характера взаимодействия между ними. В первой работе

серии [2] мы опубликовали результаты изучения скопления A1035, где показали, что субскопления A1035A и A1035B являются независимыми скоплениями. Изучаемое в данной работе скопление A1775 примечательно тем, что содержит в центре тесную пару гигантских эллиптических галактик [3] с большой разностью лучевых скоростей, около 1900 км/с. Обе эти галактики являются радиогалактиками, причем одна из них имеет очень длинный радиохвост [4–7] вследствие большой скорости движения относительно газа скопления. Наличие двух субскоплений в области скопления A1775 отмечалось в работах [8–10], но небольшое число галактик с измеренными лучевыми скоростями (50) не позволило однозначно ответить на вопрос о возможном взаимодействии (столкновении) субскоплений. Осталось также неясным, к какому из субскоплений принадлежит хвостатая радиогалактика. Вопрос о взаимодействии субскоплений интересен еще в связи с тем, что скопление A1775 является достаточно мощным источником рентгеновского излучения, например [11–13].

Основная цель данной работы состояла в определении структуры скопления A1775 (расстояния между субскоплениями вдоль луча зрения) с применением трех способов оценки прямых расстояний по галактикам ранних типов. Нами использовался наблюдательный материал, полученный на



**Рис. 1.** Распределение лучевых скоростей галактик в области скопления A1775, расположенных в пределах  $45'$  от двойной галактики ( $\alpha = 13^h 41^m 50^s$ ,  $\delta = +26^\circ 22' 19''$ ).

1-м телескопе CAO РАН, и данные из каталога SDSS DR6 (Sloan Digital Sky Survey Data Release 6). Для определения инфракрасной светимости скоплений мы привлекали данные каталога 2MASS.

Статья организована следующим образом. Во втором разделе представлены выборки галактик ранних типов. В третьем — определяются прямые расстояния субскоплений галактик в A1775. В заключении обсуждаются полученные результаты. В работе мы использовали следующие космологические параметры:  $\Omega_m = 0.3$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.7$ ,  $H_0 = 70$  км/с/Мпк.

## 2. ОПИСАНИЕ ДАННЫХ

В этом разделе мы описываем наблюдательные данные для галактик ранних типов, которые использовались при определении относительных расстояний подсистем в скоплении A1775. Согласно каталогу [14], лучевая скорость скопления  $cz \simeq 21000$  км/с, богатство 2 и тип Bautz-Morgan I. Данные каталога SDSS DR6 [15] позволяют выделить два субскопления A1775A

и A1775B. Это видно из распределения лучевых скоростей в области скопления, которое представлено на Рис. 1. Радиогалактика с длинным хвостом имеет  $cz = 20812$  км/с и находится на диаграмме приблизительно посередине между пиками распределения. Если применить критерий отбора галактик “ $2.5\sigma$ ”, который мы обычно применяли для отбора членов скоплений [16], то эта галактика оказывается вне скопления A1775B. Однако имеются признаки взаимодействия этой галактики с ярчайшей галактикой в центре скопления A1775B. Горячий газ в скоплении довольно сильно возмущен [17]: наблюдаются неоднородности температуры и поверхностной яркости рентгеновского излучения газа в центральной области, а также несовпадение центра рентгеновского излучения и ярчайшей галактики скопления, вызванное, по всей видимости, пролетом хвостатой радиогалактики с большой скоростью через центр скопления. Поэтому, чтобы включить ее в состав субскопления A1775B, мы использовали менее жесткий критерий “ $3\sigma$ ”.

На Рис. 2 и 3 представлены основные определенные нами характеристики скоплений: отклонения лучевых скоростей галактик—членов скопле-

Таблица 1. Данные для скоплений

Свойства скоплений	A1775A	A1775B
$\alpha$ (J2000)	$13^h 42^m 41.^s 99$	$13^h 41^m 49.^s 14$
$\delta$ (J2000)	$+26^\circ 14' 23.'' 2$	$+26^\circ 22' 24.'' 5$
$z_h$	0.065591	0.075138
$cz_h$ , км/с	19664	22576
$\sigma$ , км/с	$324 \pm 76$	$581 \pm 74$
$R_{200}$ , Мпк	0.78	1.39
$N_{200}$	18	62
$M_{200}$ , $10^{14} M_\odot$	$0.57 \pm 0.40$	$3.28 \pm 1.25$
$L_{200}$ , $10^{12} L_\odot$	$1.99 \pm 0.11$	$5.34 \pm 0.05$
$M/L_K$ , $M_\odot/L_\odot$	$29 \pm 21$	$61 \pm 24$
$L_x(0.1 - 2.4\text{кэВ})$ , $10^{44}$ эрг/с	—	1.6

ния от средней лучевой скорости скопления; интегральное распределение числа галактик в зависимости от квадрата радиуса от центра (для наглядного выявления ядра скопления, внешней границы гало скопления и области преобладания однородного окружения — линейного участка зависимости); расположение галактик в картинной плоскости; распределение лучевых скоростей в пределах  $R_{200}$  всех галактик скопления (для него приведена функция Гаусса) и галактик ранних типов. Центр скопления A1775B совпадает с ярчайшей сD-галактикой UGC 08669. В центре A1775A расположена самая яркая эллиптическая галактика скопления, близкая к его центроиду.

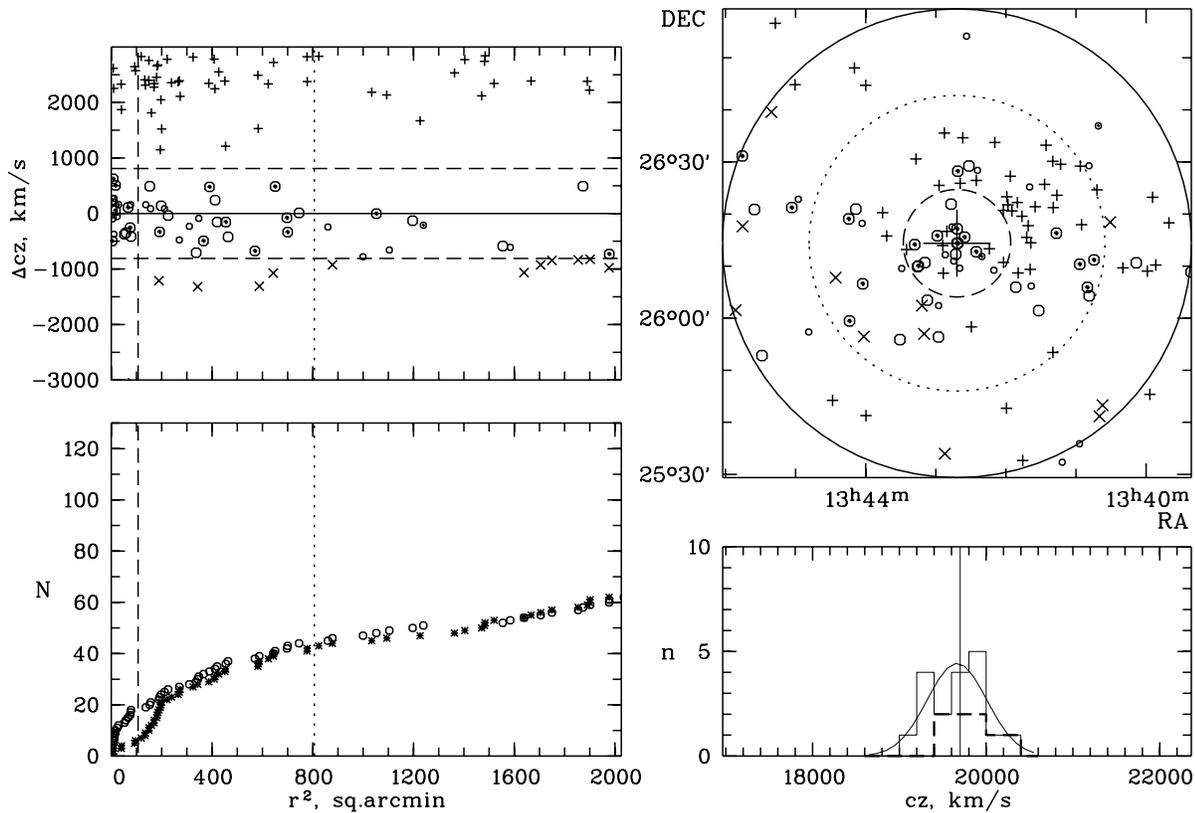
В Таблице 1 представлены параметры скоплений, определенные нами для области радиусом  $R_{200}$ , по данным каталога SDSS, дополненного измерениями лучевых скоростей из базы данных NED.  $R_{200}$  — это радиус вириализованной области скопления, на котором плотность массы в 200 раз превышает критическую плотность Вселенной. Для области, ограниченной этим радиусом, масса скопления определяется дисперсией лучевых скоростей галактик [16], которая приводится в Таблице с учетом космологической поправки  $(1+z)^{-1}$ . Ошибка массы скопления определяется ошибкой дисперсии. Кроме того, в Таблице приведены полные светимости скоплений, вычисленные по галактикам ярче  $M_{K,lim} = -21^m$ , в ближней ИК-области и отношение полученной массы к ИК-светимости. Методика определения светимости описана в [16]. Отношение массы к ИК-светимости для A1775A и A1775B не отклоняется значимо от соотношения, полученного нами для большой выборки скоплений

галактик в [16]. Рентгеновская светимость в полосе 0.1–2.4 кэВ взята из работы [13]. Наша оценка массы скопления A1775B находится в хорошем согласии с массой, измеренной [13] по рентгеновскому излучению,  $M_{200} = 4.22_{-0.40}^{+0.59} \times 10^{14} M_\odot$ .

### 2.1. Характеристики галактик ранних типов, полученные на 1-м телескопе САО РАН

Мы определили фотометрические характеристики 19 галактик в исследуемых субскоплениях по прямым снимкам в фильтре  $R_c$  (система Крона-Казинса), полученным нами на 1-м телескопе САО РАН в апреле 1999 года. Снимки получены при среднем качестве изображений  $1.''65$ , измеренном как FWHM профиля звезд. Использовалась ПЗС матрица типа ISD015A формата  $520 \times 580$  с размером элемента  $(18 \times 24)$  мкм<sup>2</sup>, что соответствует угловому размеру  $(0.28 \times 0.37)''$ . Время экспозиции составляло 500 сек. Наблюдения стандартных звезд Ландолта [18] проводились несколько раз в течение каждой ночи, чтобы обеспечить фотометрическую привязку.

Наблюдательный материал обрабатывался с помощью пакета MIDAS (Munich Image Data Analysis System). Применена стандартная процедура обработки снимков: вычитание медианного темного кадра, деление на плоское поле и вычитание фона неба, аппроксимированного поверхностью 2-ой степени. По многоапертурной фотометрии определялась асимптотическая полная величина галактики. Затем по полной величине находился эффективный радиус  $R_e$



**Рис. 2.** Распределение галактик в A1775A. 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 (2.143 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 *левом нижнем* рисунке дано интегральное распределение полного числа галактик в зависимости от квадрата углового расстояния от центра скопления. Кружки соответствуют обозначениям на левом верхнем рисунке, звездочки — всем галактикам 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  $R_{200}$  (сплошной линией, для этого распределения показана гауссиана) и галактик ранних типов (штриховой линией). Сплошная вертикальная линия указывает среднюю лучевую скорость скопления.

круга, в пределах которого светимость галактики уменьшается вдвое, и эффективная поверхностная яркость  $\mu_e$  на этом радиусе. Характеристика формы профиля поверхностной яркости  $n$  определялась путем подгонки профиля Серсика [19]  $R^{1/n}$  (профиль де Вокулера [20] имеет  $n = 4$ ) к наблюдаемому профилю в диапазоне от радиуса равного  $3 \times \text{FWHM}$  до радиуса, на котором поверхностная яркость составляла (24–25) зв.вел./ $\square''$ . Полученные фотометрические параметры галактик для определения расстояний  $R_e$ ,  $\mu_e$  были скорректированы за качество изображения методом, описанным в работе Саглия и др. [21]. Для галактик с эффективным радиусом меньше  $3''$  поправка

равна 19%. Таким образом, в нашей работе использованы модельно независимые параметры галактик ( $R_e$ ,  $\mu_e$ ), оцененные по полной асимптотической величине, и модельно зависимая величина  $n$ .

Результаты наших фотометрических измерений приводятся в Таблице 2. В ней представлены следующие наблюдаемые (неисправленные за качество изображений) характеристики галактик: номер скопления по каталогу [14]; экваториальные координаты галактик на эпоху J2000; гелиоцентрическое красное смещение и лучевая скорость (по данным SDSS или NED); полная (асимптотическая) величина; эффективный радиус галактики в дуговых секундах; эффективная поверхностная яркость на эффективном радиусе; параметр формы

Таблица 2. Параметры галактик ранних типов в A1775, полученные на 1-м телескопе в фильтре  $R_c$ 

Скопление	$\alpha$ (J2000) $\delta$	$z_h$	$cz_h$	$m_R$	$R_e$	$\mu_e$	$n$
	hhmmss ddmms		км/с	зв. вел.	угл. сек.	зв. вел./ $\square''$	
A1775A	13 42 42.01+26 14 23.4	0.065362	19595	14.01	10.30	22.39	$5.12 \pm 0.49$
	13 42 25.61+26 12 44.7	0.065767	19716	14.68	3.36	20.44	$2.56 \pm 0.17$
	13 42 59.01+26 15 49.3	0.067281	20170	14.70	4.21	20.95	$3.25 \pm 0.37$
	13 43 15.28+26 10 02.4	0.064738	19408	14.87	4.17	21.14	$3.14 \pm 0.35$
	13 40 57.06+26 10 21.5	0.063339	18989	15.77	2.73	20.91	$1.02 \pm 0.08$
	13 43 18.32+26 14 07.1	0.065951	19772	15.81	2.98	21.21	$2.84 \pm 0.38$
	13 40 44.89+26 11 11.1	0.064471	19328	15.84	2.94	21.21	$1.59 \pm 0.22$
	13 43 15.84+26 09 52.8	0.064203	19248	16.79	2.11	21.04	$1.48 \pm 0.99$
A1775B	13 41 49.14+26 22 24.5	0.075732	22704	13.48	27.24	23.72	$4.78 \pm 0.33$
	13 41 50.46+26 22 13.0	0.069420	20812	14.25	9.26	22.18	$4.35 \pm 0.41$
	13 40 56.59+26 29 12.2	0.075010	22487	14.68	6.75	22.09	$2.99 \pm 0.25$
	13 42 02.84+26 21 38.2	0.075253	22560	15.36	4.23	21.73	$4.24 \pm 0.81$
	13 42 05.13+26 34 49.3	0.075582	22659	15.66	2.61	20.73	$2.32 \pm 0.38$
	13 41 55.13+26 20 35.7	0.073588	22061	15.99	2.13	20.45	$2.01 \pm 0.25$
	13 42 18.28+26 19 20.2	0.075282	22569	16.15	2.61	21.23	$2.08 \pm 0.30$
	13 41 50.60+26 21 10.6	0.075899	22754	16.17	2.39	21.04	$1.54 \pm 0.20$
	13 42 09.78+26 33 44.8	0.074096	22213	16.25	2.42	21.09	$2.26 \pm 0.49$
	13 43 17.28+26 19 43.2	0.077482	23229	16.30	2.61	21.35	$1.18 \pm 0.17$
	13 42 02.46+26 20 43.2	0.075025	22492	16.44	2.04	20.83	$1.71 \pm 0.43$

профиля Серсика  $n$  с его ошибкой. Для пары гигинтских ярчайших галактик скопления A1775B наблюдаемые характеристики определены путем подгонки профиля Серсика к наблюдаемому профилю.

## 2.2. Характеристики галактик ранних типов по каталогу SDSS

Нами составлена выборка галактик ранних типов в скоплениях A1775A и A1775B по данным каталога SDSS (DR6) (фильтр  $r$ ). Галактики отобраны по критериям, предложенным в работе [22], до видимой петросьяновской звездной величины галактики, исправленной за поглощение, равной  $17^m.77$ . Кроме того, к этим критериям добавлен дополнительно индекс концентрации галактики в этом фильтре. Для того, чтобы уменьшить влияние ошибок определения дисперсии скоростей звезд в галактике, мы отобрали только объекты с  $\sigma$

больше 100 км/с. Кроме того, мы не использовали галактики с эффективным радиусом меньше  $1''$ , поскольку в A1775A таких галактик не было, а ошибки определения параметров галактик растут с уменьшением размера галактики. Всего найдена 21 галактика в пределах вириализованных областей скоплений и 32 галактики — в пределах радиуса Эйбелла (2.143 Мпк в принятой нами модели). В Таблице 3 приведены следующие характеристики выборки галактик ранних типов, расположенных в пределах радиуса  $R_{200}$ : экваториальные координаты на эпоху J2000; гелиоцентрическое красное смещение и лучевая скорость, центральная дисперсия скоростей звезд  $\sigma$ , параметры профиля де Вокулера (полная величина и эффективный радиус, умноженный на  $\sqrt{b/a}$ ),  $frac{DeV_r \geq 0.8$  — величина характеризующая вклад балджа де Вокулера в профиль поверхностной яркости галактики,  $r_{90}/r_{50} \geq 2.6$  — индекс концентрации равный отношению радиусов, содержащих 90% и 50%

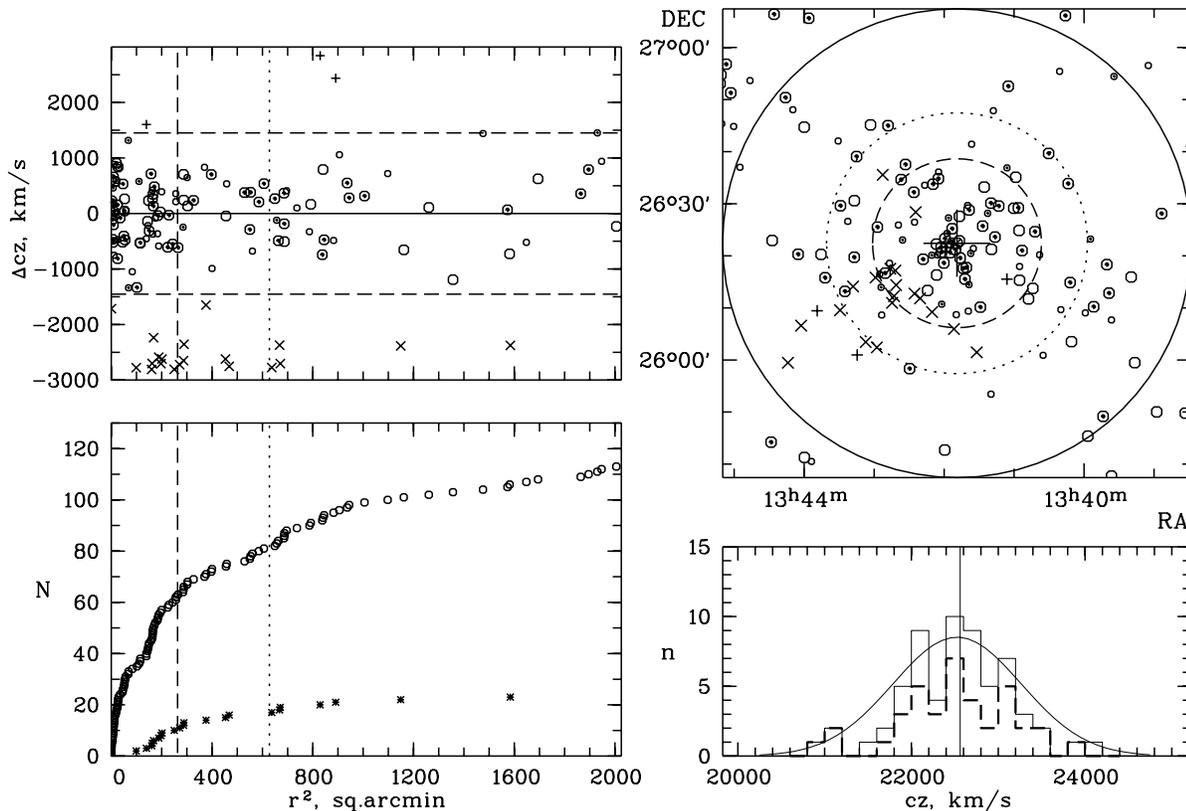


Рис. 3. Распределение галактик в A1775B. Структура и обозначения те же, что и на Рис.2, кроме верхнего левого рисунка, где горизонтальные штриховые линии соответствуют отклонениям  $\pm 3\sigma$ .

потоков Петросяна,  $eClass \leq 0$  — параметр характеризующий спектр галактики: минус означает, что в спектре нет заметных эмиссионных линий. В SDSS для галактики ( $13^h 41^m 50.45^s + 26^\circ 22' 13''$ ) даны ошибочные параметры, поэтому мы взяли полученные нами данные (Табл. 2) для эффективного радиуса, а звездную величину в фильтре  $r$  и по ней вычислили среднюю поверхностную яркость (раздел 3):  $r = R_c + 0.2936 \times (r - i) + 0.1439$  [23], при типичном для галактик ранних типов цвете  $r - i = 0^m.41$ .

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ СУБСКОПЛЕНИЯМИ В A1775

Методы определения расстояний до объектов (в данном случае до скоплений галактик) независимо от измерения лучевых скоростей играют фундаментальную роль в космологии. При определении расстояний до скоплений галактик часто используются параметры галактик ранних типов, которых преобладают в центральных областях скоплений. Эти параметры могут изменяться (радиус или светимость) и не изменяться (поверхностная яркость

или дисперсия скоростей) с расстоянием. В данной работе нами применены три метода, основанные на сочетании этих характеристик галактик ранних типов: соотношение Корменди [24], фотометрическая плоскость (ФОП) [25] и фундаментальная плоскость (ФУП) [26].

В случае исследуемого нами скопления A1775 с бимодальным распределением лучевых скоростей, как мы уже отметили, можно предположить два варианта: субскопления A1775A и A1775B гравитационно связаны, находятся на одном расстоянии и составляют одно большое скопление, либо они не связаны гравитационно, являются независимыми скоплениями, находящимися на разных расстояниях. В этом случае для них выполняется закон Хаббла, связывающий лучевую скорость и расстояние. Определение расстояний до скоплений по соотношению Корменди [24] подробно описано в работе Копыловой и Копылова [27]. Соотношение для большой выборки галактик имеет вид:  $\log R_e = 0.38\mu_e + \gamma$ . На Рис. 4 (слева) построено это соотношение для 8 наблюдавшихся нами галактик в A1775A и 11 галактик — в A1775B. Галактики были отобраны визуально по картам Паломарского атласа неба в 1999 году из

Таблица 3. Параметры галактик ранних типов в A1775 из каталога SDSS

Скопление	$\alpha$ (J2000) $\delta$	$z_h$	$cz_h$	$\sigma$	$m_r$	$R_e$	$fracDeV_r$	$r90/r50$	$eClass$
	hhmmss ddmss		км/с	км/с	зв. вел.	угл. сек.			
A1775A	13 42 25.61+26 12 44.7	0.065767	19716	241	14.914	3.146	1.00	3.34	-0.121
	13 42 59.01+26 15 49.3	0.067281	20170	236	14.960	3.861	1.00	3.34	-0.125
	13 42 20.84+26 11 50.5	0.066127	19824	104	17.089	1.665	0.96	2.83	-0.124
	13 42 42.02+26 17 09.7	0.067674	20288	210	15.882	1.512	0.93	3.16	-0.135
	13 43 18.32+26 14 07.1	0.065951	19772	163	15.939	3.086	1.00	3.28	-0.133
	13 42 41.39+26 14 23.2	0.066392	19904	119	17.206	1.219	0.98	3.93	-0.091
A1775B	13 41 50.45+26 22 13.0	0.069420	20812	300	14.510	9.260	-	-	-0.143
	13 42 05.13+26 34 49.3	0.075582	22659	191	15.719	2.364	1.00	3.11	-0.141
	13 42 26.23+26 32 12.6	0.076281	22868	112	15.984	5.828	1.00	2.96	-0.119
	13 42 18.28+26 19 20.2	0.075282	22569	165	16.329	2.411	1.00	3.19	-0.136
	13 42 09.78+26 33 44.8	0.074096	22213	149	16.349	2.230	1.00	2.88	-0.128
	13 42 02.46+26 20 43.2	0.075025	22492	170	16.584	1.655	1.00	3.02	-0.143
	13 41 38.90+26 28 47.3	0.076912	23058	172	16.665	1.197	0.94	2.69	-0.141
	13 42 50.81+26 16 40.5	0.073104	21916	155	16.677	1.456	1.00	3.29	-0.120
	13 41 13.43+26 29 33.2	0.073379	21998	107	16.987	1.509	0.98	2.84	-0.100
	13 42 57.45+26 25 30.0	0.073298	21974	111	16.698	2.080	1.00	2.98	-0.112
	13 42 02.30+26 10 42.7	0.074409	22307	102	17.215	1.598	1.00	2.84	-0.113
	13 42 00.48+26 18 38.1	0.078156	23431	135	17.273	1.140	0.97	2.82	-0.130
	13 40 42.35+26 24 38.1	0.075034	22495	166	17.344	1.369	1.00	3.25	-0.129
	13 41 29.16+26 10 08.1	0.076746	23008	117	17.375	1.903	0.84	2.67	-0.123
	13 41 56.48+26 27 16.4	0.073569	22055	110	17.599	1.335	1.00	2.70	-0.097

галактик с морфологическими характеристиками раннего типа и известными на тот момент времени лучевыми скоростями. По оси абсцисс указаны определенные из наблюдений  $\log R_e$  в секундах дуги, исправленные за качество изображения. В поверхностные яркости (ось ординат) введена космологическая поправка  $10 \log(1+z)$ . К-поправка и поправка за эволюцию на этих  $z$  примерно равны и имеют обратный знак. Нами получены следующие величины нуль-пунктов до введения поправки за величину:  $\gamma_A = -7.389$  ( $rms = 0.148$ ),  $N = 8$ ;  $\gamma_B = -7.470$  ( $rms = 0.088$ ),  $N = 11$ . Разность нуль-пунктов равна  $\gamma_{AB} = +0.081 \pm 0.058$ . После введения поправки за зависимость остаточных отклонений соотношения от величины галактики —  $\gamma_A = -7.372$  ( $rms = 0.087$ );  $\gamma_B = -7.458$  ( $rms = 0.072$ ). Разность нуль-

пунктов равна  $\gamma_{AB} = +0.086 \pm 0.038$ . В случае, если для подсистем выполняется закон Хаббла, эта разность для наблюдающейся разности лучевых скоростей должна быть равна 0.059.

Фотометрическая плоскость получается из фундаментальной плоскости галактик ранних типов, если спектрально измеряемый параметр, центральную дисперсию скоростей звезд в галактике, заменить на фотометрически измеряемый параметр  $n$  формы профиля Серсика. ФОП построена, например, в работе Грахама [25]. Мы для ее построения в фильтре  $R_c$  использовали фотометрические характеристики  $R_e$  и  $\mu_e$  из работы Копылова и Копыловой [28] для 12 галактик ранних типов, полученных на 6-м телескопе САО РАН с качеством изображения  $1''$ . Параметр  $n$  определен по профилю поверх-

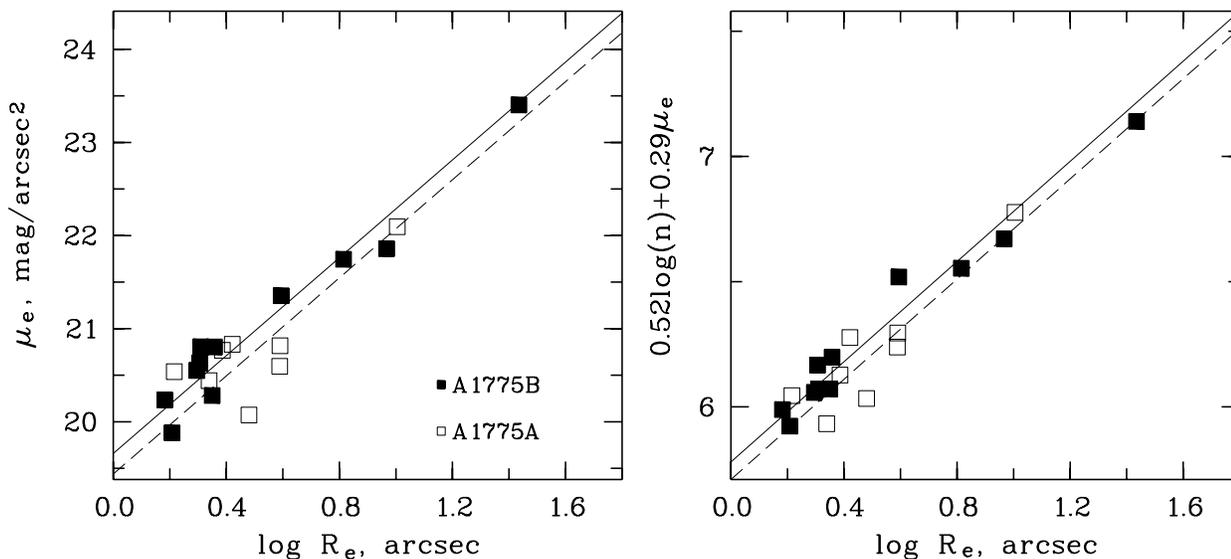


Рис. 4. Соотношение Корменди (слева) и фотометрическая плоскость (справа) галактик ранних типов в A1775A и A1775B по данным, полученным на 1-м телескопе. Штриховая линия соответствует нуль-пункту скопления А, сплошная — нуль-пункту скопления В.

ностной яркости. ФОП по этим данным имеет вид:  $\log R_e = 0.52(\pm 0.130) \log n + 0.29(\pm 0.03)\mu_e + \gamma$  и приведена для исследуемых галактик на Рис.4 (справа). Нами получены следующие величины нуль-пунктов для подсистем в A1775:  $\gamma_A = -5.712$  ( $rms = 0.108$ ),  $N = 8$ ;  $\gamma_B = -5.769$  ( $rms = 0.083$ ),  $N = 11$ . Разность нуль-пунктов равна  $\gamma_{AB} = +0.057 \pm 0.045$ .

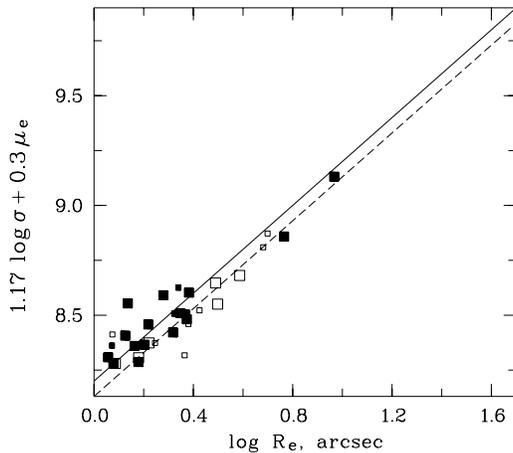
Данные SDSS для большего числа галактик скоплений A1775A и A1775B позволяют более точно оценить величины нуль-пунктов (расстояний до скоплений) с помощью фундаментальной плоскости, поскольку статистическая точность зависит от числа галактик. Для построения ФУП средняя эффективная поверхностная яркость вычислялась по формуле:  $\langle \mu_e \rangle = r + 2.5 \log(2\pi R_e^2) - 10 \log(1+z)$ . Центральная дисперсия скоростей  $\sigma$  и эффективный радиус приведены к круглой апертуре, согласно [29]. На Рис. 5 приведена ФУП отобранных галактик ранних типов, расположенных в пределах радиуса Эйбелла. Галактики, попадающие в  $R_{200}$ , показаны более крупными значками. Прямая регрессия относительно  $\log R_e$  из работы Бернарди и др. [30] для 9000 галактик из каталога SDSS имеет вид:  $\log R_e = 1.17 \log \sigma + 0.30 \langle \mu_e \rangle + \gamma$ . Нами получены следующие величины нуль-пунктов для субскоплений в A1775 для радиуса  $R_{200}$  и для радиуса Эйбелла (в скобках):  $\gamma_A = -8.130$  ( $-8.129$ ) ( $rms =$

$= 0.050$  ( $0.088$ )),  $N = 6$  (13);  $\gamma_B = -8.202$  ( $-8.206$ ) ( $rms = 0.090$  ( $0.086$ )),  $N = 15$  (19). Разность нуль-пунктов равна  $\gamma_{AB} = +0.072 \pm 0.030$  ( $+0.077 \pm 0.031$ ). В итоге, в среднем, обе регрессии (прямая и ортогональная, см. работу [30]) дают для  $R_{200}$  значение  $\gamma_{AB} = +0.060 \pm 0.021$ , то есть оба скопления находятся на разных расстояниях на уровне примерно  $3\sigma$ .

Таким образом, все способы измерения расстояний, хотя и с разной точностью, показывают, что субскопления в скоплении A1775 не выделились из общего хаббловского потока в единую гравитационно связанную систему, а являются независимыми скоплениями. Нами получены также средние пекулярные скорости A1775A и A1775B, соответствующие отклонениям от нуль-пунктов прямой и ортогональной регрессий относительно  $\log R_e$  равных  $-8.046$  и  $-8.763$ . Нуль-пункты получены для 423 галактик ранних типов в области сверхскопления Большая Медведица [31] с  $\log R_e > 0$  и  $\log \sigma > 100$  км/с и  $M_T > -20^m$ . У ближнего скопления A1775A средняя пекулярная скорость, найденная только по галактикам, расположенным в пределах  $R_{200}$ , равна  $(+751 \pm 504)$  км/с, у дальнего A1775B она равна  $(-99 \pm 866)$  км/с.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Скопление A1775 обладает многими интересными особенностями. Во-первых, распределение



**Рис. 5.** Фундаментальная плоскость галактик ранних типов скопления A1775A и A1775B (данные SDSS DR6), расположенных в пределах радиуса Эйбелла. Значки большего размера обозначают галактики, расположенные в пределах радиуса  $R_{200}$ . Их параметры представлены в Таблице 3.

лучевых скоростей бимодально (Рис. 1), что указывает на существование двух субскоплений. Вторых, в центре скопления находится необычная тесная пара радиогалактик: одна из них является ярчайшей галактикой скопления и расположена вблизи рентгеновского центра A1775B, а вторая, с длинным радиохвостом, имеет промежуточную лучевую скорость между субскоплениями. Мы отнесли ее к скоплению A1775B, поскольку имеются явные признаки ее взаимодействия как с ярчайшей галактикой, так и с горячим газом в центральной области скопления A1775B.

В данной работе мы попытались прояснить вопрос о гравитационной связанности субскоплений, оценив расстояние между ними. Мы измерили фотометрические параметры ( $m_R$ ,  $\mu_e$ ,  $\log R_e$ ,  $n$ ) в полосе  $R_c$  для 19 галактик ранних типов в субскоплениях A1775A и A1775B по ПЗС-снимкам, полученным нами с помощью 1-м телескопа САО РАН. По этим данным были построены соотношение Корменди и фотометрическая плоскость галактик ранних типов. По данным каталога SDSS DR6 определены основные параметры этих скоплений и построена фундаментальная плоскость галактик ранних типов в фильтре  $r$ . Расстояния до скоплений, измеренные тремя описанными способами позволили нам оценить динамическое состояние A1775 и определить пекулярные скорости его подсистем. Сделан вывод, что скопление A1775 состоит из двух независимых субскоплений, находящихся на своих хаббловских расстояниях. Отметим также, что определенные нами вириальные массы субскоплений недостаточно велики для того, чтобы

при разнице лучевых скоростей порядка 2900 км/с субскопления были бы гравитационно связаны, даже в случае их нахождения на одном и том же расстоянии.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за частичную 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/>).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Hayashi, S. D. M. White, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **370**, L38 (2006).
2. A. I. Kopylov and F. G. Kopylova, *Astrophysical Bulletin* **62**, 311 (2007).
3. G. Chincarini, H. J. Rood, G. N. Sastry, and G. A. Welch, *Astrophys. J.* **168**, 11 (1971).
4. G. K. Miley and D. E. Harris, *Astronom. and Astrophys.* **61**, L23 (1977).
5. F. N. Owen and M. J. Lewlow, *Astrophys. J. Suppl.* **108**, 41 (1997).
6. M. Bliton, E. Rizza, J. O. Burns, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **301**, 609 (1998).
7. G. Giovannini and L. Feretti, *New Astron.* **5**, 335 (2000).
8. A. I. Zabludoff, J. P. Huchra, and M. J. Geller, *Astrophys. J. Suppl.* **71**, 1 (1990).
9. W. R. Oegerle, J. M. Hill, and M. J. Fitchett, *Astronom. J.* **110**, 32 (1995).
10. M. Girardi, G. Giurisin, F. Mardirossian, et al., *Astrophys. J.* **505**, 74 (1998).
11. C. Jones and W. Forman, *Astrophys. J.* **276**, 38 (1984).
12. A. Vikhlinin, B. R. McNamara, W. Forman, et al., *Astrophys. J.* **502**, 558 (1998).
13. T. H. Reiprich, H. Böhringer, *Astrophys. J.* **567**, 716 (2002).
14. G. O. Abell, H. G. Jr. Corwin, and R. P. Olowin, *Astrophys. J. Suppl.* **70**, 1 (1989).
15. J. K. Adelman-McCarthy et al., *Astrophys. J. Suppl.* **175**, 297 (2008).
16. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astrophysical Bulletin* **64**, 1 (2009).
17. K. Andersson, J. R. Peterson, G. Madejski, and A. Goobar, astro-ph/0902.0003.
18. A. U. Landolt, *Astronom. J.* **104**, 340 (1994).
19. J. L. Sersic, *Bol. Asoc. Argent. Astron.* **6**, 41 (1963).
20. G. de Vaucouleurs, *Ann. d'Astrophys.* **11**, 247 (1948).
21. R. P. Saglia, E. Bertschinger, G. Baggley, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **264**, 961 (1993).

22. M. Bernardi, R. K. Sheth, R. Nichol, et al., *Astronom. J.* **129**, 61 (2005).  
 23. R. Lupton, SDSS DR(4), (2005).  
 24. J. Kormendy, *Astrophys. J.* **218**, 333 (1977).  
 25. A. W. Graham, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **334**, 859 (2002).  
 26. S. Djorgovski and M. Davis, *Astrophys. J.* **313**, 59 (1987).  
 27. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astron. Lett.* **27**, 345 (2001).  
 28. A. I. Kopylov and F. G. Kopylova, *Astronom. and Astrophys.* **382**, 389 (2002).  
 29. M. Bernardi, R. K. Sheth, J. Annis, et al., *Astronom. J.* **125**, 1817 (2003a).  
 30. M. Bernardi, R. K. Sheth, J. Annis, et al., *Astronom. J.* **125**, 1866 (2003b).  
 31. F. G. Kopylova and A. I. Kopylov, *Astron. Lett.* **33**, 211 (2007).

## THE STRUCTURE OF CLUSTERS WITH BIMODAL DISTRIBUTIONS OF GALAXY RADIAL VELOCITIES. II: A1775

A.I. Kopylov, F.G. Kopylova

We analyze the structure of the cluster of galaxies Abell 1775 ( $\alpha = 13^h 42^m$ ,  $\delta = +26^\circ 22'$ ,  $cz \approx 21000$  km/s), which exhibits a bimodal distribution of radial velocities of the containing galaxies. The difference of the subcluster radial velocities is  $\Delta V \approx 2900$  km/s. We use the results of our photometric observations made with the 1-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences and the spectroscopic and photometric data from the SDSS DR6 catalog to determine independent distances to the subclusters via three different methods: the Kormendy relation, photometric plane, and fundamental plane. We find that the A1775 cluster consists of two independent clusters, A1775A ( $cz = 19664$  km/s) and A1775B ( $cz = 22576$  km/s), each located at its own Hubble distance and having small peculiar velocities. Given the velocity dispersions of 324 km/s and 581 km/s and the dynamic masses within the  $R_{200}$  radius equal to  $0.6 \times 10^{14}$  and  $3.3 \times 10^{14} M_\odot$ , the A1775A and A1775B clusters have the K-band luminosity-to-mass ratios of 29 and 61, respectively. A radio galaxy with an extended tail belongs to the A1775B cluster.

Key words: *galaxies, galaxy groups and clusters, intergalactic gas*