

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК, ОБНАРУЖЕННЫХ ПО ДАННЫМ ОБЗОРА ОБСЕРВАТОРИИ им. ПЛАНКА

© 2020 г. И. А. Зазнобин^{1*}, Р. А. Буренин¹, И. Ф. Бикмаев^{2,3},
И. М. Хамитов^{2,4}, Г. А. Хорунжев¹, А. Р. Ляпин¹, М. В. Еселевич⁵,
В. Л. Афанасьев⁶, С. Н. Додонов⁶, Р. А. Сюняев^{1,7}

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Казанский федеральный университет, Казань, Россия

³Академия наук Татарстана, Казань, Россия

⁴Государственная обсерватория ТЮБИТАК, Анталья, Турция

⁵Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

⁶Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

⁷Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

Поступила в редакцию 04.12.2019 г.

После доработки 04.12.2019 г.; принята к публикации 05.12.2019 г.

Представлены результаты спектроскопических измерений красных смещений для скоплений галактик из каталога, полученного ранее по данным обзора всего неба обсерватории им. Планка, в сочетании с данными Слоановского обзора и обзора обсерватории *WISE* в оптическом и ИК диапазонах. Большинство этих скоплений являются массивными объектами, которые будут обнаружены также в будущих обзорах всего неба, таких как рентгеновский обзор всего неба телескопа *eROSITA* на борту космической обсерватории Спектр–Рентген–Гамма (СРГ). Спектроскопические наблюдения этих скоплений галактик проводились на 1.5-м Российско–Турецком телескопе (РТТ-150), 1.6-м телескопе Саянской обсерватории АЗТ–ЗЗИК, 6-м телескопе САО РАН (Большой телескоп азимутальный, БТА). Спектроскопические измерения красных смещений получены для 67 скоплений галактик, в том числе для 12 скоплений галактик, входящих во второй каталог источников Сюняева–Зельдовича обсерватории им. Планка.

Ключевые слова: скопления галактик, обзоры неба, оптические наблюдения, красные смещения.

DOI: 10.31857/S0320010820020047

ВВЕДЕНИЕ

Изучение скоплений галактик имеет фундаментальное значение для космологических исследований. В частности, данные о функции масс скоплений галактик позволяют получить измерения параметров космологической модели, таких как средняя плотность вещества во Вселенной, амплитуда возмущений плотности материи, параметры уравнения состояния темной энергии (см. Вихлинин и др., 2009а,б; Сообщество Планка, 2014а, 2016а). Для этого требуются выборки скоплений галактик широкого диапазона масс и красных смещений, обладающие высокой полнотой.

В июле 2019 г. на орбиту около точки Лагранжа *L2* была запущена космическая обсерватория Спектр–Рентген–Гамма (СРГ). Ожидается, что в рентгеновском обзоре всего неба телескопа *eROSITA* на борту обсерватории СРГ будут обнаружены все массивные скопления галактик, с массами порядка $3 \times 10^{14} M_{\odot}$ и более, в наблюдаемой части Вселенной. Наиболее массивные из этих скоплений галактик могут быть обнаружены по наблюдению эффекта Сюняева–Зельдовича (Сюняев, Зельдович, 1972) в обзоре всего неба обсерватории им. Планка. По этим данным были получены каталоги источников Сюняева–Зельдовича (Сообщество Планка, 2014б, 2016б). Наша группа принимает активное участие в работах по оптическому отождествлению скоплений среди этих источников

*Электронный адрес: zaznobin@iki.rssi.ru

и по измерению их красных смещений при помощи наблюдений в оптическом диапазоне (Сообщество Планка, 2015а,б, 2016в; Воробьев и др., 2016; Буренин и др., 2018; Зазнобин и др., 2019).

Выборка скоплений, которые могут быть обнаружены по данным обзора всего неба обсерватории им. Планка, может быть расширена с использованием дополнительных данных в оптическом и ИК диапазоне. Таким способом, при помощи данных Слоановского обзора и обзора спутника *WISE*, был получен расширенный каталог скоплений обзора им. Планка, который включает в себя около 3000 скоплений галактик с массами выше примерно $3 \times 10^{14} M_{\odot}$ (Буренин, 2017, далее — Б17). Примерно для 400 скоплений из этой выборки в Слоановском обзоре не имеется спектроскопических измерений красных смещений.

Большинство скоплений галактик из этого каталога будут обнаружены в рентгеновском обзоре всего неба телескопа *eROSITA* на борту космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ). Эти скопления будут относиться к числу наиболее массивных скоплений обзора СРГ, и, по-видимому, многие из них войдут в космологические выборки, которые будут составлены на основе данных этого обзора.

В этой работе представлены результаты измерений спектроскопических красных смещений для 67 скоплений галактик из расширенного каталога скоплений обзора им. Планка Б17, полученные на 1.5-м Российско-Турецком телескопе (РТТ-150), 1.6-м телескопе Саянской обсерватории АЗТ-ЗЗИК, 6-м телескопе САО РАН (БТА).

ОТБОР ОБЪЕКТОВ

Отбор объектов для спектроскопических наблюдений осуществлялся по данным каталога Б17¹. В первую очередь отбирались скопления, где в поле источника Сюняева–Зельдовича из обзора Планка было обнаружено только одно богатое скопление, галактики которого не имели спектроскопических измерений красных смещений. Для отбора галактик использовалась красная последовательность, построенная по данным обзора *Pan-STARRS1* Чэмберс и др. (2016) в фильтрах *griz*. Этот метод позволяет определять галактики, которые с высокой вероятностью являются членами скопления для дальнейших спектроскопических наблюдений.

Фотометрическая оценка красного смещения, которую можно получить по цветам красной последовательности, позволяет определить спектральный диапазон, в котором необходимо получить

изображения спектров отобранных для спектроскопических наблюдений галактик красной последовательности. Это позволит измерить красное смещение скопления по измерением нескольких наиболее ярких галактик красной последовательности, для которых можно заранее выделить требуемый для определения красного смещения диапазон спектра.

Для определения координат (RA, DEC) оптического центра скопления мы использовали прямые изображения обзора *WISE* в $w1$ ($3.4 \mu m$) диапазоне, см. рис. 1. На этих изображениях предвзятительно удалялись звезды, положения которых взяты их Слоановского обзора, после чего изображения сглаживались бета-моделью радиусом $24''$. Наиболее яркие галактики красной последовательности расположены в центрах областей повышенной ИК-яркости, которые хорошо заметны на таких изображениях. В поле некоторых источников Сюняева–Зельдовича можно найти несколько красных последовательностей галактик, которые однозначно отождествляются с несколькими скоплениями галактик на разных красных смещениях. В этом случае источник Сюняева–Зельдовича нами отождествляется со скоплением галактик с большей ИК светимостью. Подробно такие случаи описаны ниже.

Некоторые скопления галактик содержат одну яркую галактику (*cD*-галактику), которая расположена в центре скопления и имеет низкую peculiarную скорость, поэтому ее красное смещение с высокой точностью равняется красному смещению всего скопления в целом. Поэтому зачастую измерения спектроскопического красного смещения *cD*-галактики достаточно для определения красного смещения скопления галактик. Что значительно упрощает наблюдательную задачу.

НАБЛЮДЕНИЯ

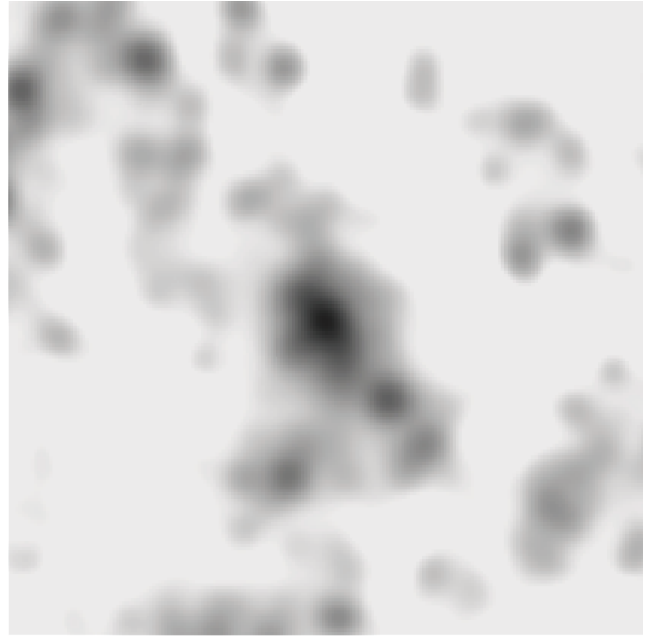
Наблюдения проводятся в течение двух лет, начиная с марта 2017 г. на телескопе 1.6-м АЗТ-ЗЗИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН при помощи спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ Афанасьев и др. (2016); Буренин и др. (2016), 1.5-м российско-турецкого телескопа (РТТ-150) национальной обсерватории TÜBİTAK при помощи спектрографа *TFOSC*², а также на 6-м телескопе БТА САО РАН при помощи спектрографа SCORPIO Афанасьев и Моисеев (2005, 2011).

Оба спектрографа имеют в своей оптической схеме возможность проводить спектроскопические наблюдения с длинной щелью. При наблюдениях на АЗТ-ЗЗИК использовалась щель шириной $2''$,

¹ <http://hea.iki.rssi.ru/psz/en/>

² <http://hea.iki.rssi.ru/rtt150/ru/index.php?page=tfosc>

12 44 55.3 –04 41 52



01 22 27.6 +42 22 05

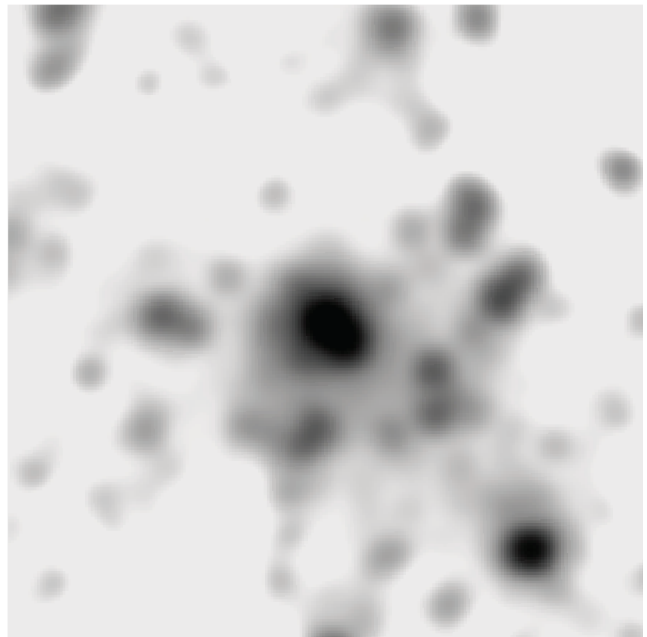
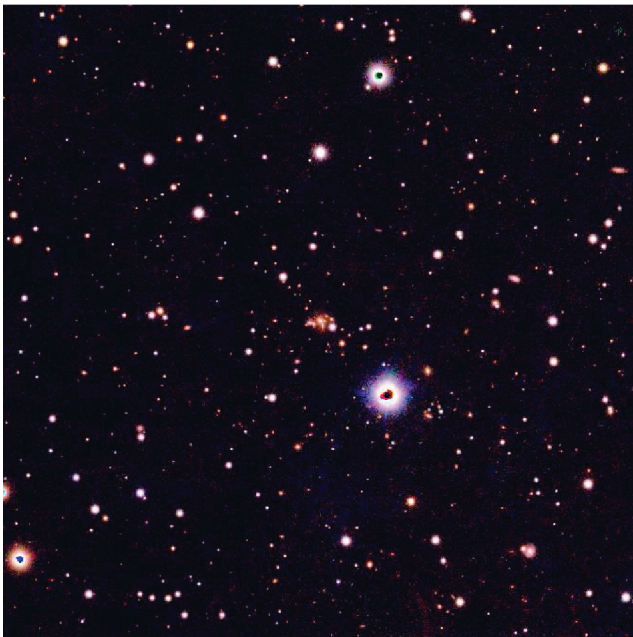
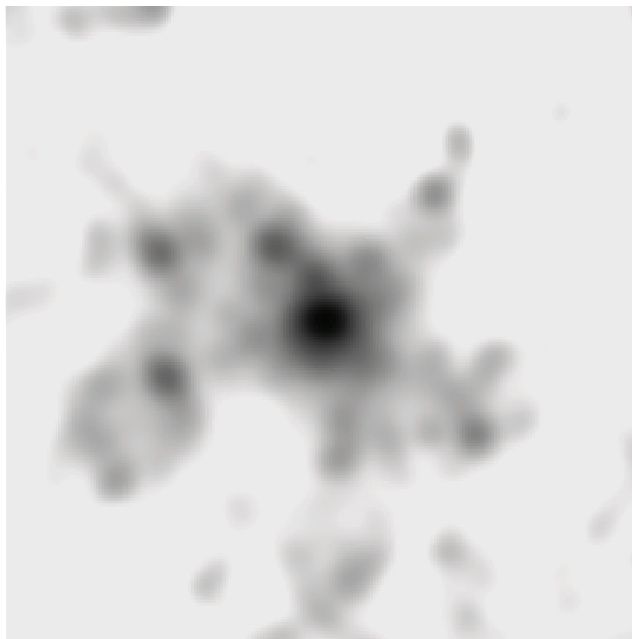


Рис. 1. Слева: псевдоцветные изображения обзора *Pan – STARRS1* полей скоплений галактик в фильтрах *irg (RGB)*. Справа: изображения обзора *WISE* в полосе 3.4 мкм, очищенные от звезд и свернутые с β -моделью радиусом $24''$. Центр изображений совпадает с оптическим центром скоплений, размер полей изображений $10' \times 10'$.

при качестве прямых изображений более $2''$ использовалась щель шириной $3''$. На спектрографе SCORPIO, установленном на телескоп БТА, использовалась щель шириной $1''$ или более в зависимости от качества прямых изображений. На спектрографе *TFOSC* использовалась щель шириной $2''$.

Спектрографы SCORPIO и АДАМ оборудованы объемными фазовыми голографическими решетками (VPHG). На спектрографе АДАМ использовались решетки VPHG600G спектрального диапазона $3800\text{--}7250 \text{ \AA}$ и VPHG600R $6450\text{--}11000 \text{ \AA}$. Обе решетки имеют 600 штрихов на миллиметр, разрешение обеих решеток

17 34 37.7 +77 50 13



05 00 42.9 -00 51 57

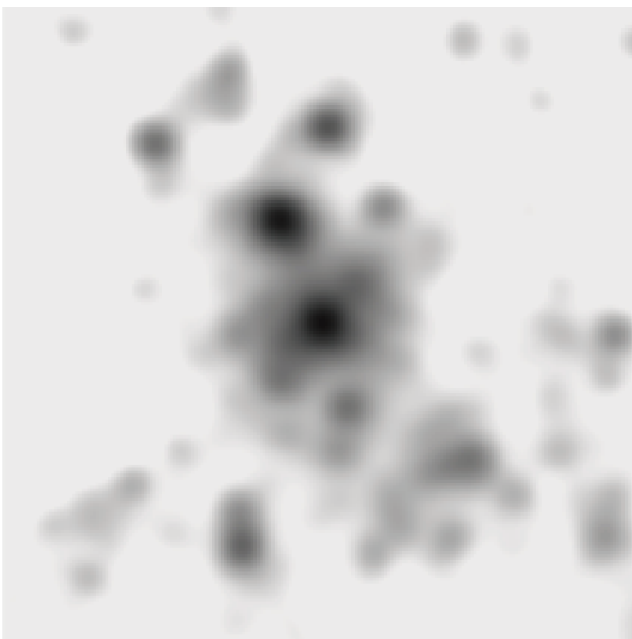
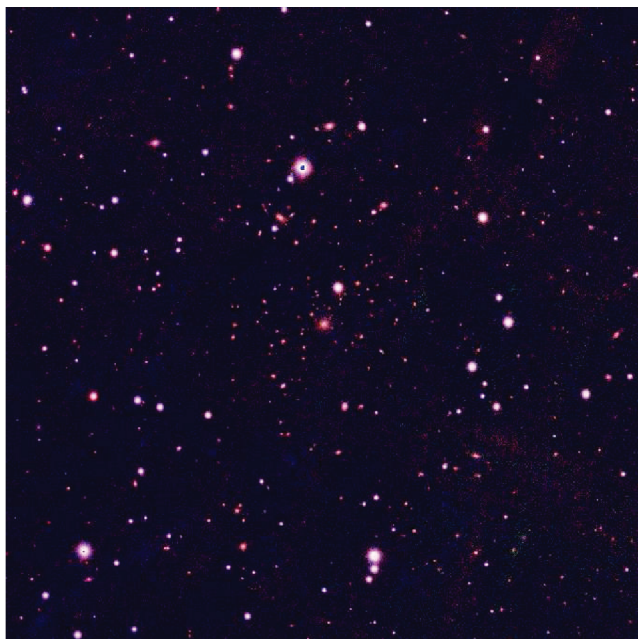


Рис. 1. Окончание.

находится в пределах 600–1100. На спектрографе SCORPIO проводились наблюдения только далеких скоплений галактик $z > 0.6$, поэтому использовалась решетка VPHG550R, характеристики которой схожи с решеткой VPHG600R спектрографа АДАМ. На спектрографе TFOSC использовалась спектральная решетка широкого спектрального диапазона 3230–9120 Å.

Выбор решетки для наблюдений определяется из спектральных особенностей эллиптических галактик, описанных в статье Брузуал и Шарло (2003). Оптимальный выбор обусловлен тем, что на спектральном изображении должны быть получены изображения К, Н линий кальция, G-дублет фраунгоферовской серии, а также D-дублет натрия. Поэтому при наблюдениях на

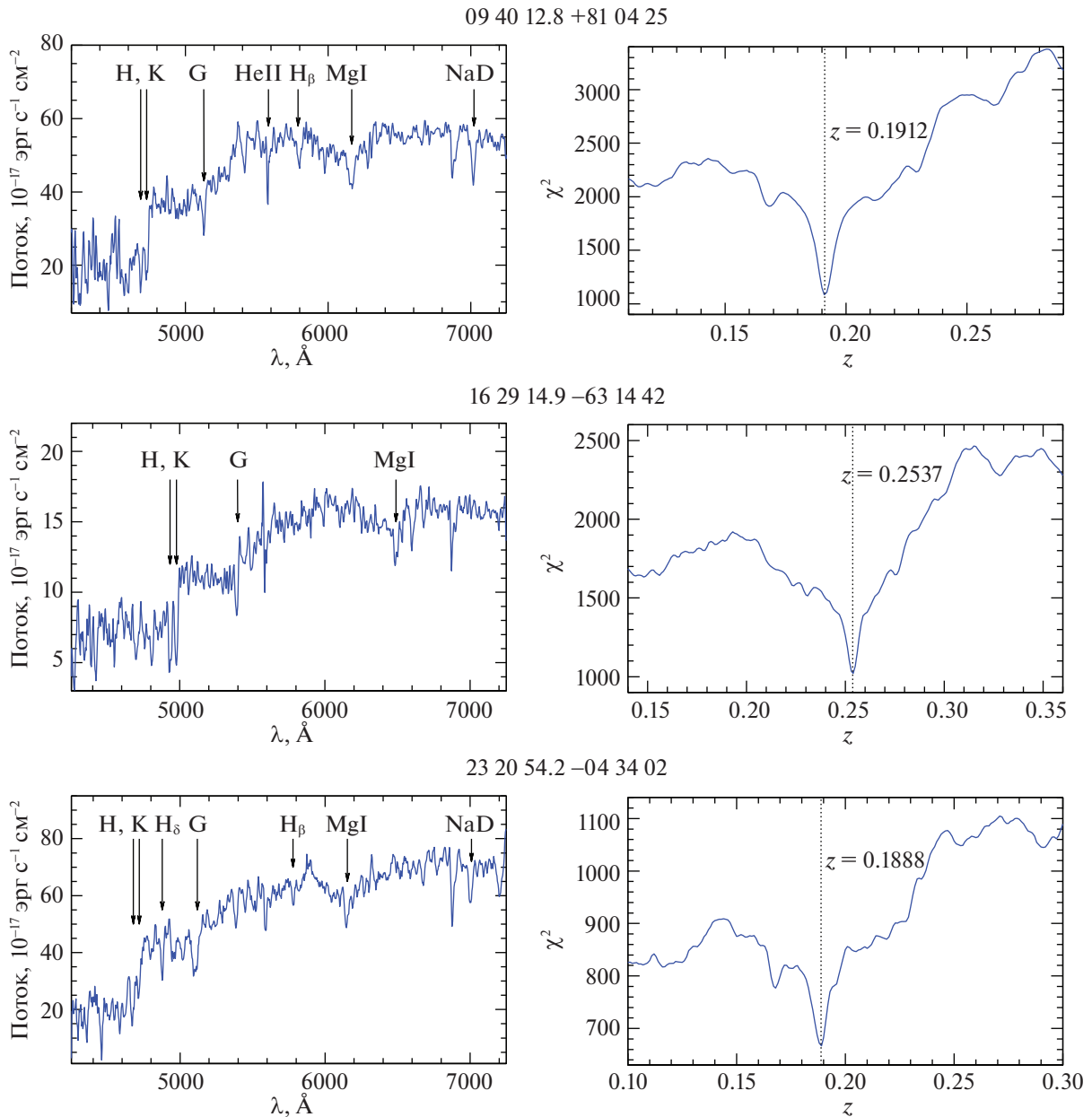


Рис. 2. Примеры спектроскопических измерений красных смещений скоплений. Слева: спектр ярчайшей галактики скопления с указанием некоторых спектральных особенностей, полученный на 1.6-м телескопе АЗТ-ЗЗИК при помощи спектрографа низкого и среднего разрешения АДАМ. Справа: значение χ^2 , полученное в результате сравнения этого спектра с шаблоном спектра эллиптической галактики.

телескопе АЗТ-ЗЗИК для скоплений, расположенных на красных смещениях $z < 0.5$, использовалась решетка VPHG600G, а для более далеких скоплений — VPHG600R. На 6-м телескопе БТА использовалась решетка VPHG550R, так как в программу наблюдений на этом телескопе были включены только самые далекие скопления галактик, значения фотометрических оценок красных смещений которых превышают $z > 0.6$.

Количество экспозиций рассчитывалось из соотношения сигнала к шуму, которое должно пре-

вышать величину $\sigma > 10$ в широком диапазоне спектра. Общее время экспозиции рассчитывалось для наблюдений при качестве прямых изображений лучше $1.5''$, при качестве хуже $1.5''$ количество экспозиций увеличивалось. Величина отдельных экспозиций принималась равной 1200 секунд для БТА и РТТ-150 и 600–1200 для АЗТ-ЗЗИК. При наблюдениях на телескопе БТА с использованием решетки VPHG550R положение объекта сдвигалось вдоль щели на 10 – $15''$. При наблюдениях на телескопах АЗТ-ЗЗИК и РТТ-150 смещение по-

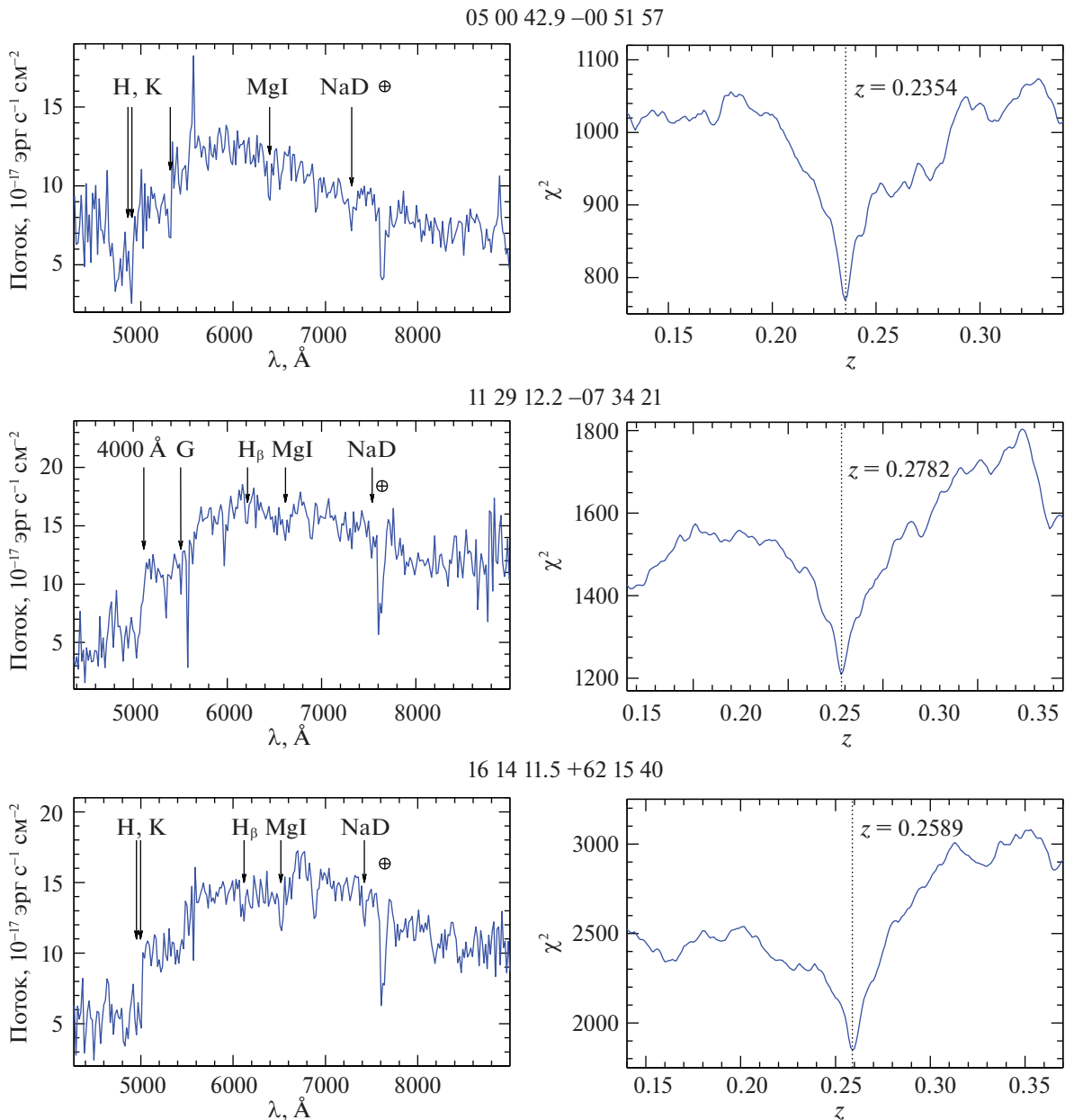


Рис. 3. Примеры спектроскопических измерений красных смещений скоплений. Слева: спектр ярчайшей галактики скопления с указанием некоторых спектральных особенностей, полученный на 1.5-м телескопе РТТ-150 при помощи спектрографа TFOSC. Справа: значение χ^2 , полученное в результате сравнения этого спектра с шаблоном спектра эллиптической галактики.

ложения объектов вдоль щели не требовалось, так как ПЗС-матрицы спектрографов изготовлены по технологии глубокого обеднения и имеют толстую подложку, эффекты интерференции на изображениях отсутствуют. Позиционный угол и положение щели выбирались таким образом, чтобы как можно больше ярчайших галактик красной последовательности попало на изображение щели. Также при наблюдении на телескопе АЗТ-ЗЗИК в решетке VPHG600R использовался фильтр OS11, поэтому

на изображениях отсутствует второй порядок интерференции.

Обработка спектральных изображений проводилась с использованием программного пакета *IRAF*³, а также собственного программного обеспечения. Из спектральных изображений вычитался ток смещения. Вычитание темнового тока не производилось, так как матрицы всех используемых спектрографов обладают низкими показателя-

³ <http://iraf.noao.edu/>

ми темнового тока. Проводилось вычитание нормированного плоского поля, которое создавалось излучением ламп спектрографов. После этого для каждого объекта находилось двумерное дисперсионное решение линейного спектра галогеновых ламп спектрографа, это решение применялось на спектральные изображения объектов. Положения спектров объектов на изображениях совмещались и комбинировались. Извлеченный спектр объекта нормировался на спектр стандартов из списка Европейской южной обсерватории, доступного на сайте обсерватории⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Полученные спектры наиболее ярких галактик скоплений использовались далее для измерения спектроскопических красных смещений. Измерения красных смещений выполнялись методом сравнения полученного спектра с шаблонным.

Шаблон спектра был взят из работы Брузуал и Шарло (2003), в этой работе использовался один шаблон синтетического спектра звездного населения возрастом 11 Глет и металличностью $Z = 0.02$. Шаблонный спектр сравнивался со спектром объекта, определялся локальный минимум χ^2 -распределения, после чего определялось красное смещение z спектра объекта. На рис. 2 и 3 показаны примеры спектров ярчайших галактик скоплений и χ^2 -распределение. Точность определения спектроскопического красного смещения составляет $\delta z \approx 0.001-0.003$.

В табл. 1 приведены результаты измерения спектроскопических красных смещений. В первом и втором столбцах указаны экваториальные координаты оптического центра скопления, определенного при помощи совмещения инфракрасных и оптических изображений полей скоплений галактик. В третьем столбце указано количество галактик с измеренными спектроскопическими красными смещениями, по которым определялось красное смещение скопления, в четвертом столбце приведено полученное значение спектроскопического красного смещения скопления.

В случае, если красные смещения галактик скоплений доступны из других работ, но нет измерения спектроскопического красного смещения присутствующей в скоплении *cD*-галактики, мы получали спектроскопические изображения и измеряли спектроскопическое красное смещение *cD*-галактик скоплений. Красное смещение скоплений в этом случае принималось равным спектроскопическому красному смещению *cD*-галактики. Подробно такие случаи описаны ниже

⁴ <https://www.eso.org/sci/observing/tools/standards/spectra/stanlis.html>

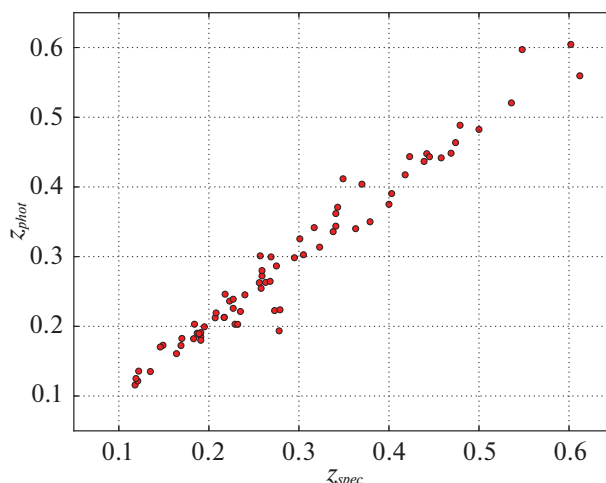


Рис. 4. Диаграмма сравнения фотометрических оценок красных смещений скоплений галактик из Б17 (по вертикали) со спектроскопическими красными смещениями, полученными в этой работе (по горизонтали).

в разделе “Замечание по отдельным объектам” с указанием количества галактик скоплений, для которых ранее в других работах были получены спектроскопические красные смещения. Также в последнем столбце таблицы приведены указания на работы, в которых содержатся данные спектроскопических красных смещений галактик, входящих в скопления. Большинство скоплений было отождествлено со скоплениями галактик из каталога *WHL12*, поэтому в последнем столбце не указано, с каким скоплением из этого каталога было отождествлено скопление галактик в таблице.

Для оптического отождествления использовались данные фотометрической оценки красных смещений, взятые из Б17. На рис. 4 показано соотношение спектроскопических красных смещений, приведенных в табл. 1, с фотометрическими оценками красных смещений. По вертикали на диаграмме указаны фотометрические оценки красных смещений скоплений галактик, по горизонтали — спектроскопические красные смещения.

Для нескольких скоплений галактик в каталоге приведены оценки красных смещений, равные спектроскопическим красным смещениям галактик красной последовательности, значения которых взяты из Слоановского обзора. Видно, что фотометрические оценки красных смещений скоплений в Б17 согласуются с полученными нами спектроскопическими красными смещениями в пределах ошибки.

Замечания по отдельным объектам

02 36 33.4–05 39 06. Для одной галактики, входящей в это скопление, по данным Слоановского обзора, спектроскопическое красное смещение

Таблица 1. Скопления галактик из второго каталога обсерватории им. Планка

Координаты (J2000)		N	z	Примечание
α	δ			
00 49 04.4	+39 47 05	2	0.1350	
00 59 57.5	+13 19 55	1	0.4991	PSZ2 G126.07–49.55, RM J005957.6+131955.2
01 11 45.3	+33 25 57	1	0.1182	Abell 0156, RM J011145.3+332557.6
01 22 27.6	+42 22 05	1	0.1844	ZwCl0119.4+4206
01 44 58.4	–07 09 57	1	0.1909	RM J014458.4–070956.9
02 02 40.1	+01 26 05	2	0.0907	
02 24 31.6	+24 13 21	1	0.3051	
02 36 33.4	–05 39 06	2	0.3010	*, SDSS
02 37 15.3	+06 38 34	1	0.2729	
03 19 18.4	+02 05 34	1	0.4000	PSZ2 G179.45–43.92
03 33 54.8	–07 23 03	1	0.1950	SDSS
03 39 24.4	–06 16 20	1	0.5484	
04 24 36.5	–05 18 37	1	0.2071	
04 42 11.9	–06 03 32	1	0.3377	
04 51 54.6	+00 06 27	1	0.4418	
05 00 42.9	–00 51 57	1	0.2354	
05 05 15.8	–02 19 10	2	0.2291	
07 21 27.7	+36 44 28	3	0.1494	Abell 0579
07 21 25.1	+43 04 54	1	0.1208	PSZ2 G174.96+23.37
07 22 15.7	+42 47 27	1	0.3788	
07 26 50.0	+31 02 04	1	0.1874	PSZ2 G187.74+20.66
07 59 56.7	+65 12 08	2	0.3636	
08 34 41.6	+26 11 11	3	0.4568	RM J083441.2+261109.8, SDSS
08 37 01.5	+10 50 19	1	0.4691	
08 37 31.2	–04 36 03	1	0.3430	
08 39 33.4	–01 40 45	1	0.2692	PSZ2 G227.59+22.98
08 41 02.8	+12 41 54	2	0.4389	RM J084103.4+124204.7
09 01 30.7	–01 39 17	1	0.3167	*, PSZ1 G230.73+27.70 XCC J0901.5–0139.0.316
09 01 44.9	–01 38 22	1	0.2953	*, XCC J0901.7–0138
09 35 24.7	+23 55 01	2	0.2635	SDSS
09 40 12.8	+81 04 25	1	0.1910	*
09 42 11.4	+05 35 31	2	0.2182	RM J094210.9+053541.3, SDSS
10 15 49.8	+80 11 04	1	0.2081	
10 19 19.2	–02 08 02	1	0.2174	RM J101919.2–020802.0
10 41 49.9	+32 56 30	1	0.4453	RM J104149.9+325631.9

Таблица 1. Окончание

Координаты (J2000)		N	z	Примечание
α	δ			
10 46 29.3	+78 07 38	1	0.2266	PSZ2 G130.64+37.16, Abell 1070
11 25 51.7	+76 52 19	1	0.4738	
11 29 12.2	-07 34 21	2	0.2775	
11 30 47.8	+72 21 03	1	0.3700	*
11 47 53.0	+73 47 45	1	0.2169	
11 55 05.2	+21 26 26	1	0.1455	SDSS
12 09 19.7	+28 06 11	1	0.4787	RM J120918.3+280610.2, SDSS
12 44 55.3	-04 38 18	1	0.4178	
13 29 35.5	+41 23 09	1	0.6121	*, SDSS
13 50 15.8	-04 41 52	1	0.2676	
13 59 31.1	-09 00 40	2	0.2751	
14 12 24.0	+20 46 23	2	0.1504	*, SDSS
14 19 17.9	-17 10 55	1	0.2793	PSZ2 G331.10+40.81
16 14 11.5	+62 15 40	2	0.2590	
16 14 37.8	+62 41 46	1	0.2557	
16 23 47.5	+06 16 59	1	0.2266	RM J162347.5+061658.6
16 29 14.9	+63 14 42	2	0.2557	
17 14 26.1	+68 57 30	2	0.6019	
17 34 37.7	+77 50 13	1	0.3229	
18 34 49.2	+64 06 35	2	0.3488	
18 45 13.2	+64 17 12	1	0.4296	
21 03 49.0	+04 35 45	3	0.1701	
21 23 26.8	+20 59 41	4	0.3415	
21 45 46.7	+14 03 26	1	0.1908	*, PSZ2 G069.47-29.06, Стрелянская
21 45 53.4	+20 44 14	3	0.2319	
21 52 06.0	+03 16 42	1	0.2577	RM J215200.6+031508.8, SDSS
21 58 29.7	-03 51 21	1	0.4031	RM J215830.0-035115.6
22 49 06.1	-05 27 09	2	0.2401	PSZ2 G064.11-53.72, RM J224906.4-052710.7
22 59 13.1	+29 41 52	1	0.1193	RM J225913.1+294151.6
23 16 43.7	+12 47 14	1	0.5360	PSZ2 G089.99-43.91, RM J231643.0+124654.6, SDSS
23 20 54.2	-04 34 02	1	0.1888	PSZ2 G075.11-58.83, RM J232054.2-043402.4
23 34 03.6	-03 35 57	2	0.2600	RM J233403.6-033556.1

Примечание. *Обсуждается в этой работе; PSZ2 — объект отождествлен с источником Сюняева–Зельдовича из второго каталога Планка; PSZ1 — объект отождествлен с источником Сюняева–Зельдовича из первого каталога Планка; Abell — объект отождествлен со скоплением галактик из работы Абель и др. (1989); ZwCl — объект отождествлен со скоплением галактик из серии работ Цвикки и др. (1961); RM — объект отождествлен со скоплением галактик, из работы Рыкофф и др. (2014); SDSS — значения спектроскопического красного смещения согласуются с данными Слоановского обзора Сообщество СДСС (2017).

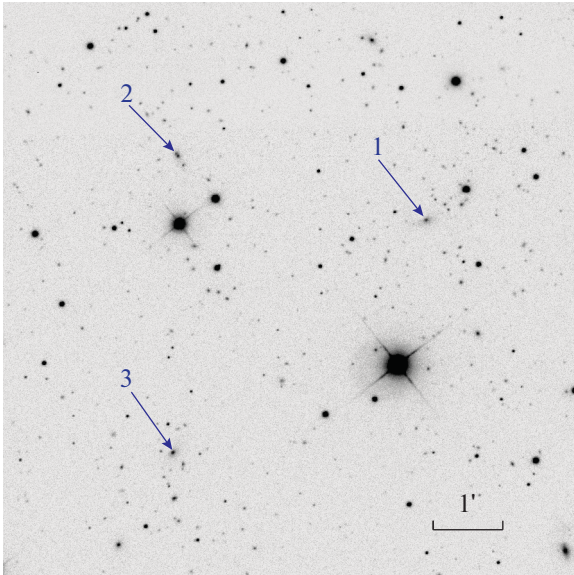


Рис. 5. Изображение поля объекта 09 01.5 – 01 41 в фильтре r , взятое из Слоановского обзора. Стрелочками обозначены cD -галактики, для которых были получены спектроскопические изображения на телескопе РТТ-150.

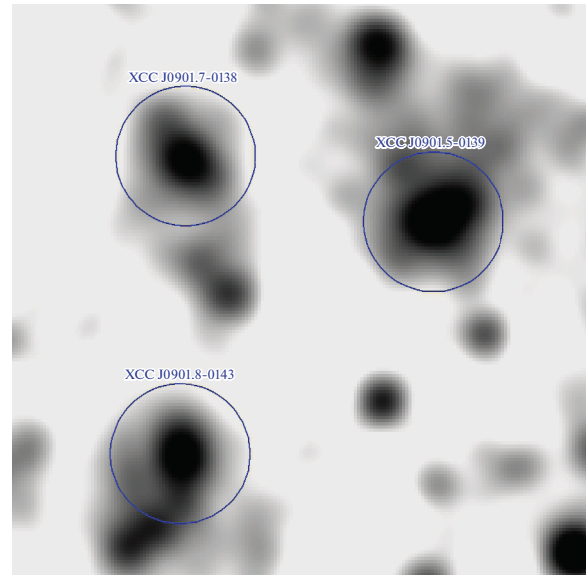


Рис. 6. Изображение поля объекта 09 01.5–01 41 в полосе $3.4 \mu\text{m}$ обзора $WISE$, очищенное от звезд и сглаженное бета моделью радиусом $24''$. Синими окружностями радиуса $1'$ выделены скопления галактик из каталога $CFHTLS$, центры окружностей совпадают с оптическими центрами скоплений.

$z = 0.3058$. Эта галактика находится на угловом расстоянии $2.3'$ от cD -галактики, что на красном смещении $z = 0.301$ эквивалентно расстоянию более 600 кпк ($H_0 = 0.68$, $\omega_M = 0.286$). В каталоге WHL для этого скопления галактик приведено значение спектроскопического красного смещения по одной галактике из Слоановского обзора. Для данного скопления галактик нами было получено значение $z = 0.3050$ спектроскопического красного смещения cD -галактики. Это значение согласуется с данными красного смещения по Слоановскому обзору, но является более надежным, так как оно измерено по спектру cD -галактики.

03 33 54.8–07 23 03. Для четырех галактик, входящих в это скопление, значения спектроскопических красных смещений даны в Слоановском обзоре. Для cD -галактики скопления нет измеренного значения спектроскопического красного смещения. Поэтому нами получен спектр cD -галактики скопления и измерено ее спектроскопическое красное смещение. Красное смещение скопления галактик приняли равным красному смещению cD -галактики.

09 01.5–01 41. Скопление галактик входит в первый и второй каталоги Планка под названием $G230.73+27.70$. В поле этого источника Сюняева–Зельдовича нами обнаружены три области превышения ИК-яркости по данным $WISE$. Они были отождествлены со скоплениями галактик, в центрах которых находятся яркие cD -галактики. В радиусе $2'$ от каждой cD -галактики мы отобрали

фотометрические данные всех протяженных источников из обзора $Pan - STARRS1$. На диаграмме цвет–величина для каждого набора данных мы выделили красную последовательность галактик. Оказалось, что показатели цвета красных последовательностей для этих трех областей слабо отличаются.

На рис. 5 стрелочками указаны три галактики, для которых были получены спектроскопические изображения на телескопе РТТ150. На рис. 6 показано изображение поля объекта в полосе $3.4 \mu\text{m}$ обзора $WISE$, очищенное от звезд и сглаженное. Все три скопления галактик, которые содержат эти cD -галактики, приведены в работе Мирказеми и др. (2015). Скопление галактик, отождествляемое с источником Сюняева–Зельдовича $PSZ1 G230.73+27.70$, мы отождествили со скоплением $XCC J0901.5-0139$. По данным этой работы, скопление обладает вириальной массой $M_{200} = (5.194 \pm 0.353) \times 10^{14} M_{\odot}$, определенной по наблюдениям в рентгеновском диапазоне по данным телескопа XMM -Ньютон.

Оценка массы скопления, приведенная в каталоге $PSZ2$ по измерению эффекта Сюняева–Зельдовича, составляет $M_{SZ} = 4.96 \pm 0.57 \times 10^{14} M_{\odot}$, что в пределах погрешности совпадает с вириальной массой скопления по данным XMM -Ньютон. Два других скопления были также отождествлены со скоплениями галактик из каталога $CFHTLS$. Подробно наши результаты

в сравнении с каталогом *CFHTLS* приведены в табл. 2.

Обзор 170 кв. градусов *CFHTLS* был получен на оптическом телескопе Канады–Франции–Гавайев (*CFHT*) и на рентгеновском телескопе *XMM–Ньютон*. Для скопления ХСС J0901.5–0139 из этого обзора нами измерено спектроскопическое красное смещение, которое равно $z = 0.3167$.

Наши данные спектроскопического красного смещения $z = 0.3163$ *cD*-галактики скопления согласуются с данными телескопа *CFHT*. Измеренное нами спектроскопическое красное смещение $z = 0.295$ скопления галактик ХСС J0901.7–0138 согласуется с фотометрическими красными смещениями, полученными по данным Слоановского обзора. Спектроскопическое красное смещение для этого скопления получено нами впервые. Спектроскопические изображения третьего скопления ХСС J0901.8–0143 неудовлетворительного качества, поэтому нами не было получено для этого скопления значение спектроскопического красного смещения.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что в поле источника излучения Сюняева–Зельдовича 09 01.8 – 01 22, отождествляемого с источником из первого каталога Планка PSZ1 G230.73+27.70, содержатся три скопления галактик, расположенных на близких красных смещениях. На красном смещении $z = 0.316$ находится более массивное скопление, которое отождествляется с самим источником, на красном смещении $z = 0.295$ – менее массивное и еще одно скопление галактик с сравнимыми массой и фотометрическим красным смещением. Наблюдения третьего скопления ХСС J0901.8–0143 будут продолжены на телескопах АЗТ–ЗЗИК и РТТ–150. В наших дальнейших работах будет опубликовано спектроскопическое красное смещение для этого скопления галактик.

09 35 24.7+23 55 01. Для двух галактик этого скопления спектроскопические красные смещения приведены в Слоановском обзоре. Мы отождествили это скопление галактик со скоплением WHL J093526.1+235455 в каталоге WHL из работы Вэнь и др. (2012). В этом каталоге красное смещение этого скопления рассчитано как среднее значение между спектроскопическими красными смещениями этих галактик и равняется величине $z = 0.2630$. Однако эти галактики не являются *cD*-галактиками скопления, кроме того, одна из галактик находится на угловом расстоянии порядка $110''$ от центра оптической яркости, найденного по данным обзора *WISE*. Поэтому мы решили измерить спектроскопическое красное смещение двух наиболее ярких галактик, расположенных в центре скопления.

09 40 12.8+81 04 25. В поле источника излучения Сюняева–Зельдовича находится скопление галактик ABELL 0798. Нами были обнаружены две области повышенной инфракрасной яркости, которые мы отождествили со скоплениями галактик. В пределах обеих областей мы нашли галактики красных последовательностей. Их фотометрические оценки красных смещений совпадают в пределах погрешности. Мы измерили спектроскопическое красное смещение для *cD*-галактики одного из скопления, которое обладает большей яркостью в ИК-диапазоне, и приняли значения красного смещения скопления галактик равным спектроскопическому красному смещению *cD*-галактики.

11 30 47.8+72 21 03. В поле источника излучения Сюняева–Зельдовича мы обнаружили две группы галактик, которые отождествили с двумя ИК-источниками. Эти группы галактик можно найти в каталоге скоплений WHL под названиями WHL J113047.7+722103 и WHL J113124.0+721844. Для скопления WHL J113047.7+722103 мы измерили спектроскопическое красное смещение *cD*-галактики $z = 0.3700$, что согласуется с фотометрической оценкой красного смещения $z = 0.3347$ из каталога WHL.

Скопление галактик WHL J113124.0+721844 расположено ближе к центру источника Сюняева–Зельдовича и обладает большим значением ИК-яркости. В свою очередь скопление галактик WHL J113047.7+722103 имеет большее значение красного смещения. Если сравнить светимость обоих скоплений в ИК-диапазоне, то скопление WHL J113047.7+722103 обладает большей ИК-светимостью, следовательно, оно более массивное. Поэтому мы отождествили скопление из Б17 со скоплением галактик WHL J113047.7+722103 из каталога WHL. Однако оба скопления галактик вносят вклад в эффект Сюняева–Зельдовича.

11 55 05.2+21 26 26. Для одной галактики, входящей в скопление, спектроскопическое красное смещение $z = 0.14604$ получено в Слоановском обзоре, выпуск 7. Эта галактика не является *cD*-галактикой скопления. Поэтому мы решили получить спектроскопические изображения *cD*-галактики скопления на телескопе АЗТ–ЗЗИК, чтобы более точно измерить спектроскопическое красное смещение скопления. Полученный нами результат $z = 0.1455$ спектроскопического красного смещения *cD*-галактики скопления согласуется со спектроскопическим красным смещением $z = 0.14604$ галактики из Слоановского обзора.

13 29 35.5 +41 23 09. Для нескольких галактик этого скопления в Слоановском обзоре измерены спектроскопические красные смещения, но не для наиболее яркой галактики. Поэтому нами было измерено спектроскопическое красное смещение наиболее яркой галактики. В таблице приведено

Таблица 2. Скопления галактик в поле источника Сюняева–Зельдовича 09 01.5–01 41

№	Название	Координаты (J2000)		z^{RTT150}	z^{CFHTLS}	$M_{200}, 10^{14} M_{\odot}$
		α	δ			
1	ХСС J0901.5–0139	09 01 30.7	–01 39 17.4	0.3167	0.3163	5.194 ± 0.353
2	ХСС J0901.7–0138	09 01 44.9	–01 38 21.2	0.2953	–	1.426 ± 0.264
3	ХСС J0901.8–0143	09 01 45.2	–01 42 36.8	–	–	1.306 ± 0.223

Примечание. Нумерация скоплений галактик приведена в соответствии с нумерацией их *cD*-галактик на рис. 5. Название объекта и величина M_{200} приведены из работы Мирказеми и др. (2015), а также спектроскопическое красное смещение для наиболее массивного скопления. Координаты скоплений соответствуют оптическим координатам центров скоплений галактик, определенных по данным Слоановского обзора и обзора *WISE*. В столбце z^{RTT150} приведены результаты спектроскопических измерений на телескопе РТТ-150.

среднее значение красного смещения наиболее яркой галактики и галактик, для которых значения красного смещения приведены в Слоановском обзоре.

14 12 24.0+20 46 23. Поле данного источника излучения Сюняева–Зельдовича содержит два скопления галактик. Одно из скоплений галактик мы отождествили со скоплением WHL J141224.0+204623. Мы измерили спектроскопическое красное смещение *cD*-галактики на телескопе АЗТ-ЗЗИК. Его значение оказалось равным $z = 0.1504$, что отлично согласуется со спектроскопическим красным смещением $z = 0.14877$ другой галактики скопления, полученной в Слоановском обзоре, выпуск 7. Значение красного смещения, полученное нами по спектроскопическому красному смещению *cD*-галактики, является более точным.

Также в поле источника находится скопление галактик RM J141239.7+204802.5. По данным спектроскопических измерений Слоановского обзора, для пяти галактик, входящих в данное скопление, получены спектроскопические красные смещения. Поэтому наблюдение этого скопления галактик не проводилось.

21 45 46.7+14 03 26. Данный источник Сюняева–Зельдовича содержится во втором каталоге Планка PSZ2 G069.47–29.06. В поле этого источника находятся два скопления галактик. Спектроскопическое красное смещение более массивного скопления галактик, отождествленного с источником Сюняева–Зельдовича, приведено в работе Стреблянска и др. (2018) $z = 0.393$. В этой работе также указано наличие второго скопления, для которого приведено значение спектроскопического красного смещения $z = 0.190$. Второе скопление галактик содержится в каталоге Б17. Для *cD*-галактики этого скопления на телескопе

АЗТ-ЗЗИК нами было измерено значение спектроскопического красного смещения $z = 0.191$, что хорошо согласуется с данными из работы Стреблянска и др. (2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе приведены результаты спектроскопических измерений красных смещений для 67 скоплений галактик из каталога, полученного ранее по данным обзора всего неба обсерватории им. Планка. Для большинства скоплений галактик спектроскопические красные смещения получены впервые, в том числе для 12 скоплений галактик, входящих в первый и второй каталоги Планка. Для нескольких скоплений галактик, приведенных в табл. 1, красное смещение известно по данным спектроскопических измерений Слоановского обзора. Для этих скоплений галактик мы измерили спектроскопические красные смещения *cD*-галактик, отсутствующих в Слоановском обзоре. Это позволяет точнее определить спектроскопические красные смещения скоплений галактик.

В 2017 г. были проведены первые наблюдения по программе скоплений галактик из расширенного каталога. Данная работа является продолжением серии работ (Буренин и др., 2018) и (Зазнобин и др., 2019) по наблюдению скоплений галактик из обзора обсерватории им. Планка. В настоящее время продолжают наблюдения скоплений галактик с неизмеренными спектроскопическими красными смещениями по этой программе. Все эти скопления галактик будут обнаружены в обзоре всего неба СРГ/еРОЗИТА, также часть этих скоплений галактик будут включены в космологическую выборку космической обсерватории Спектр-РГ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-12-00520. Авторы благодарят ТЮБИТАК,

ИКИ РАН, КФУ и АН РТ за поддержку наблюдений на Российско-Турецком 1.5-м телескопе (РТТ-150). Измерения на телескопе АЗТ-33ИК выполнены в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16 и получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара”⁵. Наблюдения на телескопе БТА САО РАН выполнялись при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абель и др., *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **70**, 1 (1989). [G.O. Abell, H.G. Jr. Corwin, R.P. Olowin].
2. Афанасьев В.Л., Моисеев А.В. Письма в Астрон. журн. **31**, 194, (2005). [V.L. Afanasiev, A.V. Moiseev, *Astron. Lett.* **31**, 214].
3. Афанасьев, Моисеев. *Balt. Astron.* **20**, 363–370 (2011) [V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev].
4. Афанасьев В.Л., Додонов С.Н., Амирханян В.Р., Моисеев А.В. *Астрофиз. бюллетень* **71**, 514 (2016). [V.L. Afanasiev, et al., *Astrophys. Bull.* **71**, 479].
5. Буренин Р.А., Амвросов А.Л., Еселевич М.В., Григорьев В.М., Арефьев В.А., Воробьев В.С., и др., Письма в Астрон. журн. **42**, 333 (2016) [R. A. Burenin et al., *Astron. Lett.* **41**, 295 (2016)].
6. Буренин Р.А. Письма в Астрон. журн. **43**, 559 (2017) [R.A. Burenin, *Astron. Letters* **43**, 507 (2017)].
7. Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Зазнобин И.А., Хорунжев Г.А., Еселевич М.В. и др., Письма в Астрон. журн. **44**, 297 (2018) [R.A. Burenin et al., *Astron. Lett.* **44**, 297 (2018)].
8. Брузуал, Шарло, *MNRAS.* **344**, 1000 (2003). [G. Bruzual and S. Charlot]
9. Вихлинин и др. (A. Vikhlinin, A.V. Kravtsov, R.A. Burenin, H. Ebeling, W.R. Forman, A. Hornstrup, C. Jones, A.V. Kravtsov, et al.), *Astrophys. J.* **692**, 1033 (2009a).
10. Вихлинин и др., *Astrophys. J.* **692**, 1060 (2009b). [A. Vikhlinin, A.V. Kravtsov, R.A. Burenin, H. Ebeling, W.R. Forman, A. Hornstrup, C. Jones, et al.]
11. Воробьев В.С., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Додонов С.Н., Жучков Р.Я. и др., Письма в Астрон. журн. **42**, 81 (2016) [V.S. Vorobyev et al., *Astron. Lett.* **42**, 63 (2016)].
12. Вэнь и др., *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **199**, 2(34) 2012. [Z.L. Wen, J.L. Han, F.S. Liu]
13. Зазнобин И.А., Буренин Р.А., Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Хорунжев Г.А., Коноплев В.В., и др., Письма в Астрон. журн. **45**, 77 (2019). [Zaznobin et al., *Astron. Lett.* **45**, 49 (2019)].
14. Мирказеми и др., *Astrophys. J.* **799**, 1 (2015). [M. Mirkazemi, A. Finoguenov, M. J. Pereira, M. Tanaka, M. Lerchster, F. Brimiouille et al.]
15. Рыкофф и др., *Astrophys. J.* **758**, 2 (2014). [E.S. Rykoff, E. Rozo, M.T. Busha, C.E. Cunha, A. Finoguenov, A. Evrard et al.]
16. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **571**, A20 (2014a). [Planck 2013 Results XX: P.A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, et al.]
17. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **571**, A29 (2014b); arXiv: 1303.5089. [Planck 2013 Results XXIX: P. A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, et al.]
18. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **582**, A29 (2015a). [Planck Intermediate Results XXVI: P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud et al.]
19. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **581**, A14 (2015b). [Planck 2013 Results XXXII: P.A.R. Ade, N. Aghanim, C. Armitage-Caplan, et al.]
20. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **594**, A24 (2016b). [Planck 2015 Results XXIV: P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud et al.]
21. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **594**, A27 (2016в). [Planck 2015 Results XXVII: P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud et al.]
22. Сообщество Планка, *Astron. Astrophys.* **586**, A139 (2016в). [Planck Intermediate Results XXXVI: P.A.R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud et al.]
23. Сообщество СДСС, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **233**, 25 (2017). [SDSS Collaboration: F.D. Albareti, C.A. Prieto, A. Almeida, et al.]
24. Стреблянская и др., *Astron. Astrophys.* **617** A71 (2018). [A. Streblyanska, R. Barrena, J.A. Rubiño-Martin, R.F. van der Burg, N. Aghanim, A. Aguado-Barahona et al.]
25. Сюняев, Зельдович, *Comments on Astrophysics and Space Physics*, **4**, 173 (1972). [R.A. Sunyaev and Ya.B. Zeldovich]
26. Цвикки и др., *Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies, Vol. I* (California Institute of Technology, Pasadena, 1961). [F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, M. Karpowicz, C.T. Kowal]
27. Чэмберс и др., arxiv.org:1612.05560.pdf. [K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters et al. (2016)]

⁵ <http://ckp-ri.ru/ckp/3056/>