

УДК: 524.7

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СКОПЛЕНИЯ СОМА НА ОСНОВЕ МЕТОДА СИЛОВОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО СКУЧИВАНИЯ

Н.Г.КОГОШВИЛИ¹, Т.М.БОРЧХАДЗЕ¹, А.Т.КАЛЛОГЛЯН²

Поступила 6 мая 2005

Основываясь на методе иерархического скучивания с учетом гравитационного взаимодействия между галактиками, были выделены 6 подскоплений в скоплении Сомы, из которых 3 центральных подскопления выделены вокруг галактик NGC 4889, NGC 4874 и NGC 4839. Объективный статистический критерий, примененный Венником и Аносовой при изучении близких группировок галактик, был использован нами для оценки каждого включаемого в подскопление члена с высокой вероятностью. Галактики со значительным дефицитом водорода HI, включая объекты из списка Браво-Альфарио, были отождествлены с членами подскоплений, с наибольшим их числом в подскоплениях с NGC 4874 и NGC 4839. Количественная оценка дефицита водорода с помощью индекса HI в каталоге RCG3 показала статистически значимое превышение его значения для галактик, являющихся членами подскоплений в сравнении с галактиками с дефицитом водорода общего поля скопления. Значительное число спиральных галактик с дефицитом водорода HI, отмеченных в подскоплениях, оказалось и радиогалактиками.

1. *Введение.* Скопление Сомы, которое является одним из наиболее изученных скоплений галактик благодаря своему богатству и почти сферической форме, долгое время рассматривалось как прототип скоплений, находящихся в динамическом равновесии.

Высказываются различные мнения относительно структуры этого скопления. В соответствии с Кент и Ган [1] компактная симметричная форма скопления Сомы противоречит существованию в нем подскоплений. Вест и др. [2,3] выступают против существования подскоплений в центральных областях скоплений, рассматривая, в частности, скопление Сомы как значительную концентрацию галактик в сверхскоплении. Дреслер и Шектман [4] отметили, что Сомы содержит подскопления с вероятностью < 6%. Байер и др. [5] рассматривают скопление Сомы как скопление типа cD с одной доминирующей NGC 4874 галактикой, основываясь на данных каталога Годвина и др. [6] и радио и рентгеновских данных.

В то же время ряд работ свидетельствует в пользу существования подскоплений в этом скоплении. Бакал [7] первая обратила внимание на неравномерное распределение ярких галактик и заподозрила существование подскоплений в центре Сомы. Руд [8] отметил

тенденцию S0-галактик к группированию вокруг NGC 4874, а E-галактик - вокруг NGC 4889. Было замечено, что распределение слабых галактик в Coma имеет более регулярный характер в сравнении с яркими, которые, согласно Бивiano и др. [9], показывают сильную тенденцию к скупиванию.

Первое свидетельство в пользу существования подскоплений в Coma было получено на основе рентгеновских наблюдений с помощью ROSAT спутника, которые выявили иррегулярную структуру Coma согласно Джонсу и др. [10].

Для выявления подструктуры в Coma использовались различные статистические методы анализа наблюдательных данных. Фичет и Вебстер [11] на основе Lee-метода разделили члены двух групп NGC 4889 и NGC 4874 в центре Coma. Эскалера и др. [12] выделили 2 центральных подскопления в Coma с 99% значимостью. Мазюр и Гурзаян [13] на основе S-tree метода изучили корреляцию между параметрами гравитационно-взаимодействующей системы N тел и выделили 3 группировки в Coma. Щербановский [14] на основе метода иерархического скупивания выделил 6 групп в центре Coma, отметив неуверенность в установлении их границ,

Большинство этих результатов нуждается в подтверждении, а публикация новых наблюдений позволяет заново вернуться к обсуждению затронутых вопросов.

2. Метод, использованный при выделении подскоплений в скоплении Coma. Метод иерархического скупивания, предложенный Матерне [15], является одним из статистических средств, применяемых при выделении кратных групп галактик. Этот метод был в дальнейшем дополнен Тулли [16] введением специального гравитационного параметра, учитывающего взаимодействие между галактиками при выделении физических группировок.

Рассматриваемый метод был видоизменен и использован Магтесяном [17] и затем Венником и Аносовой [18] при выделении близких групп галактик и их сравнении с ранее выделенными группами из других каталогов.

Критерий отбора галактик, рассматриваемый Венником и Аносовой, записывается следующим образом:

$$F_{ij} = \max(M_i, M_j) r_{ij}^{-2}, \quad i, j = 1, \dots, N \quad i \neq j, \quad (1)$$

r_{ij} - расстояние между двумя галактиками с массами M_i и M_j . Галактики организуются в группу на основе оптимизации этого параметра.

Мы воспользовались идеологией метода, использованного Венником и Аносовой, для выделения подскоплений в скоплении Coma. Для исключения влияния возможных членов сверхскопления Coma и галактик

переднего и заднего фона мы ограничили изучаемую область скопления Coma и его ближайшего окружения значениями: $\alpha = 12^{\text{h}}30^{\text{m}} + 13^{\text{h}}30^{\text{m}}$, $\delta = 26^\circ + 31^\circ$, $V = 5300 + 9000$ км/с, близкими к принятым (Гавази и др. [19]). Галактики для этой области отбирались из Сводного каталога

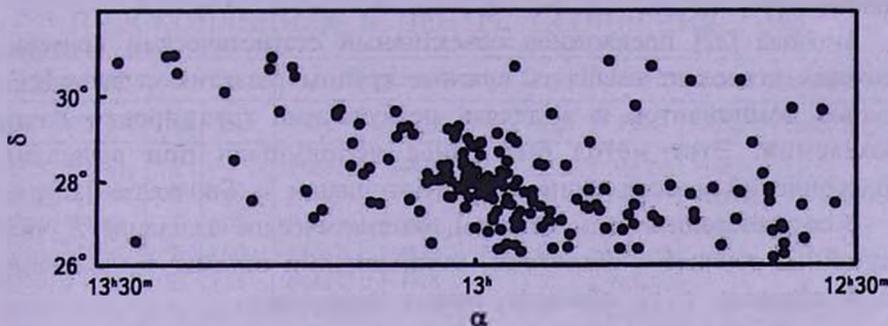


Рис.1. Распределение 205 галактик в пределах изучаемой области скопления Coma.

галактик, составленного Когошвили и Борчхадзе [20] на основе данных большинства каталогов ярких галактик. Выборка составила 205 галактик в основном ядре $15^{\text{m}}.5$ со взвешенными значениями лучевых скоростей, исправленных относительно GSR из RCG3-каталога Вокулера и др. [21], включенных также в Сводный каталог. На рис.1 представлено 2-D координатное распределение этих галактик.

Принимая во внимание, что масса галактики пропорциональна ее светимости, критерий отбора был записан в виде

$$F_{ij} = \max(L_i, L_j) / V_{\sigma} \quad \text{где } i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, n; \quad N = n + k; \quad (2)$$

$$V_{\sigma} = \frac{4}{3H^3} (V_i^3 - V_j^3) \operatorname{tg} \frac{\delta_i - \delta_j}{2} \operatorname{tg} \frac{(\alpha_i - \alpha_j) \cos(\delta_i + \delta_j)}{2}, \quad (3)$$

где V_{σ} - объем, занимаемый двумя галактиками, удовлетворяющими критерию отбора.

Нужно отметить, однако, что метод иерархического сгущивания основывается на выборе пары галактик и замене ее одним гипотетическим объектом для дальнейшего отбора новых пар до завершения структуры, которая зачастую проявляет тенденцию к вытянутым образованиям.

Мы выбрали иной способ, отобрав несколько ярчайших галактик в скоплении и вычисляя значения F_{ij} отдельно для каждой из них, со всеми остальными галактиками выборки. Отбор галактик в подскопления производился согласно основному условию $F_{ij} = F_{\max}$, принимая во внимание максимальное взаимодействие между двумя галактиками, занимающими минимальный объем. Процесс объединения продолжался, пока все галактики не оказывались в подструктурах. В случае, когда один

и тот же объект был отмечен в нескольких подструктурах, предпочтение отдавалось той, в которой объект показывал максимальное значение F_y .

Основная трудность метода иерархического сгущивания заключается в отсутствии объективного критерия для установления границ выделяемых подструктур.

Аносова [22] предложила объективный статистический критерий, который позволяет выявлять кратные группы галактик с физической связью компонентов и выделять неслучайные группировки внутри скоплений. Этот метод был ранее использован при выделении подскоплений в скоплении Virgo (Когошвили и Борчхадзе [23]).

В соответствии с этим методом, математическое ожидание E_n числа случайных групп с n объектами, занимающими объемы V_σ в выборке из N объектов с V_Σ объемом, может иметь вид:

$$E_n = C_N^n B^{n-1} [1 - B]^{N-1}, \quad (4)$$

где $B = V_\sigma/V_\Sigma$, V_σ определяется с помощью (3), а

$$V_\Sigma = \frac{4}{3H^3} (V_{max}^3 - V_{min}^3) \cdot \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2} \cdot \frac{(\alpha_{max} - \alpha_{min}) \cos(\delta_{max} + \delta_{min})/2}{2}. \quad (5)$$

Венник и Аносова дополнили этот метод введением параметра, который позволил бы оценивать вероятность включения физических членов в группы. Так как мы в основном рассматриваем случаи, когда $n=2$, то в действительности $E_2 \approx E$ и новый параметр принимает вид $K = N/2E$ с предельным значением для $K \approx 10$ и $\log K_{lim} \approx 1$. Необходимо выполнение следующего условия:

$$\text{если } E < 1 \text{ и } K_n > K_{lim}, \quad (6)$$

то каждый объект, который удовлетворяет этому условию, может быть рассмотрен как физический член выделенной группировки с высокой вероятностью. В противном случае соответствующий объект классифицируется как случайный.

3. *Выделение подскоплений в скоплении Coma.* Основываясь на методе иерархического сгущивания с учетом гравитационного взаимодействия между галактиками, 6 подскоплений были выделены в скоплении Coma. Включение каждой галактики в подскопление производилось в соответствии с вычисленным значением статистического параметра $\log K_n$ в пределах рассмотренных ограничений.

Два подскопления были выделены в центре скопления Coma вокруг галактик NGC 4889 и NGC 4874, одно подскопление в SW конденсации галактик вокруг NGC 4839 и три небольшие подструктуры вокруг галактик NGC 4816, NGC 4789 и NGC 4555.

Для галактик трех центральных подскоплений в табл.1 представлены:

номер в каталоге Патюреля и др. [24], NGC/IC номер, морфологическая классификация галактики в соответствии с RCG3-каталогом, вычисленное

Таблица 1

СПИСОК ГАЛАКТИК, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ТРЕХ ПОДСКОПЛЕНИЯХ В ЦЕНТРЕ СКОПЛЕНИЯ Coma

Подскопление I				Подскопление II				Подскопление III			
PGC	NGC/IC	Type	logk	PGC	NGC/IC	Type	logk	PGC	NGC/IC	Type	logk
P44715	N4889	E		*P44628	N4874	E	R	P44298	N4839	E	R
P44698	N4886	E	4.89	P44624	N4872	L	5.74	P44337	N4842A	E	4.71
P44566	N4864	E	4.07	P44606	N4871	L	4.55	P44338	N4842B	E	4.22
P44736	N4898	E	4.00	P44621	N4873	L	3.64	P44268		S?	4.15
P45140	I4133	E?	3.35	P44658	N4876	E	3.20	P45526		S	3.24
P44726	I4021	E	3.15	P44467		L?	3.16	P44437		S HI	2.55
P44804	I4041	E	3.00	P44587	N4869	E	3.16 R	P44037	N4807	L	2.39
P44449	N4850	L	2.86	P44553	I3959	L?	2.70	P44722		L?	2.39
P44686	N4881	E	2.75	P44633	I3990	S?	2.50	P44324	N4840	E	2.38
P45027	N4929	E	2.35	*P44968	N4926A	L HI	2.44	P44322	I837	S?HI	2.37 R
P44554	I3957	L?	2.32	P44885	N4919	L	2.44	P41468	I3454	S	2.33
P44818	I4045	E	2.26	P44575		E	2.38	P44319		S?	2.29
P44176	N4828	S?	2.16	P44632	I3991	S	2.38	P44481	N4853	L	2.25
P44697	N4892	S	2.11	P44405	N4848	S HI	2.32 R	P44263		S?	2.20
P43455	N4728	E	2.10	P44524	I3949	L HI	2.29 R	P44147	I3913	S?HI	2.20
P44789	I4040	S HI	1.99 R	P44551	I3960	L	2.29	P43387	A1246B	E	2.09
P45082	N4934	S?	1.98	P44795	I842	S?HI	2.15	P44779		S?HI	2.05 R
P44819	N4907	S HI	1.93	*P44068	I3900	L	2.07	P44178	N4827	E/L	2.00 R
P44756	I4032	E	1.93	P44945	N4927	L	2.01 R	P43981	N4798	L	1.87
P44864		E	1.89	P43930		S	1.93	P44323	N4841A	E	1.83
P44768	N4896	L	1.87	P44534	N4859	S	1.87	P42083	I3587	S	1.83
P44737	N4895	L	1.81	P44339	N4860	E	1.85	P4539	N4745	L?	1.79
P45055	N4931	L	1.80	P44667		S	1.83	P45471		S	1.67
*P44899	N4921	S HI	1.76 R	P44647		S?HI	1.82	P44225		E?	1.61
P44508	I3946	L	1.77	P45271		S	1.81	P44486		L HI	1.61
P42934		S	1.74	P44921	I4088	S HI	1.67	*P43514	A1249	E	1.56
P44828	N4908	E	1.62	P45025	I4106	S	1.54	P44329	N4841B	E	1.46
P45997	N5032	S HI	1.54	P44896	N4922	IrHI	1.53	P42067	I3585	L	1.46
P44822		S	1.53	*P45133	N4944	S	1.46	P43139		Ir?	1.41
P42721		S	1.52	P45668		S	1.43	P44200	I835	S?	1.36
P43509	N4735	S?HI	1.34	P44840	N4911	S HI	1.40 R	P43995		E	1.32
P45406	N4971	L?	1.26	P44541	Mr	S HI	1.39 R	P44416		S?HI	1.31 R
P45542	N4983	S?	1.18	P43726		S?HI	1.34 R	P45253	N4957	E	1.28
				P44848		E?	1.18	P43164		S?	1.23
				P44973		S?	1.03	P45023		L?	1.23
								*P44938	N4926	L	1.20
								P44144	N4819	S	1.19
								P44196		L	1.18
								P41980	N4556	E	1.12
								P42765		Ir?HI	1.08
								P46302		S HI	1.07
								P44908	I843	L	1.03

значение статистического параметра $\log K_n$, наблюдение сверхновой, отмеченное символом *, наличие дефицита водорода HI в галактике, отмеченное с помощью символа HI, и отождествление с радиогалактиками из каталога Вентури и др. [25], отмеченное символом R. В табл.2 представлены данные для остальных трех подскоплений.

Галактики в подскоплениях расположены по мере их включения в группу в соответствии с критерием $\log K_n$ в направлении из центра наружу.

Таблица 2

ГАЛАКТИКИ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В ПОДСКОПЛЕНИЯХ IV, V И VI СКОПЛЕНИЯ Coma

PGC	NGC/IC	Type	$\log k$	PGC	NGC/IC	Type	$\log k$	PGC	NGC/IC	Type	$\log k$
P44114	N4816	L		P43895	N4789	E/L	R	P41975	N4555	E	
P44552	I3960A	E?	3.31	P43875	N4787	S	3.68	P41974		S	4.71
P44567	I3963	L	2.71	P43773		S?	2.35	P42479	I3645	S?	2.39
P44148	N4821	E	2.55	P44487		S	1.93	P45097		S?HI	2.37
*P44364		E	2.55	P43618		E?	1.80	P42331		L?	2.10
P44043		L?	2.53 R	P43874	N4788	S?	1.78	P43142		S	1.78
P44044		S	2.50	P43008	N4673	E	1.66	P41995	N4557?	S?	1.69
P43399	N4715	L	2.50	P43511		S?	1.66	P42060	I3582	S HI	1.67
P44212			2.50	P43952		E	1.55	P41774	I3508	L?	1.30
P44850		S?	2.43	P44502	N4854	L	1.37	P43708	I831	E	1.16
P44151		L	2.35	P43686		S?HI	1.28	P43278		S	1.00
P43256	A1246A	S	1.98	P43848	I832	E?	1.15				
P42098	I3593	S?	1.93	P43200	N4692	E	1.07				
P45890		S	1.73	*P44386		S	1.07				
P44138	I834	S	1.49	P43437	N4721	L?	1.02				
P41808	I3516		1.45								
P45940		S?	1.31								
P42314		E?	1.26								

Зависимость $\log K_n$ от n/n_p , где n/n_p - номер галактики в соответствующем подскоплении, аппроксимируется для трех центральных подскоплений выражением: $\log K_n = (3.6 \pm 0.20) - (2.7 \pm 0.02)n/n_p$.

В соответствии с табл.1 галактики различных морфологических типов показывают в выделенных подскоплениях различное радиальное распределение. В центральной области подскопления вокруг NGC 4889 наблюдается значительное сгущение эллиптических галактик. В подскоплении с NGC 4874 отмечается в центре большая концентрация линтикулярных в сравнении с эллиптическими галактиками с более рассеянным распределением спиралей во внешних областях обоих подскоплений. SW-подскопление с NGC 4839 выделяется смешанным распределением всех типов галактик.

В табл.3 представлены средние значения лучевых скоростей и абсолютных

величин галактик для внутренних и внешних областей трех центральных подскоплений. Согласно табл.1 и 3 сегрегация по морфологии очевидна для галактик в I и II подскоплениях с возрастанием среднего значения скорости и особенно ее дисперсии в наружных областях. Не отмечается сегрегации по светимости для рассматриваемых типов ярких галактик. Что касается SW-подскопления, то здесь не наблюдается сегрегации по морфологии, светимости и лучевой скорости.

Подструктуры IV, V и VI можно рассматривать как кратные системы из-за малого числа галактик в них.

Таблица 3

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ И АБСОЛЮТНЫХ ВЕЛИЧИН ГАЛАКТИК ВО ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ЧАСТЯХ ТРЕХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ПОДСКОПЛЕНИЙ

	Подскопление I			Подскопление II			Подскопление III		
	$\langle V \rangle$	$\langle M \rangle$	n_M	$\langle V \rangle$	$\langle M \rangle$	n_M	$\langle V \rangle$	$\langle M \rangle$	n_M
Внутр. часть	6427	-19.6	11E+2L+2S	6951	-19.9	5E+10L+4S	7283	-20.0	5E+6L+9S
σ	362	0.68		521	0.51		381	0.67	
Внешняя часть	6601	-19.8	3E+2L+10S	7141	-20.1	2E+13S+1Gr	7226	-19.8	6E+7L+7S+2Gr
σ	885	0.71		737	0.80		460	0.81	

В табл.4 приводятся основные параметры лучевых скоростей галактик для 6 выделенных подскоплений, где: n - число галактик, $\langle V \rangle$ - среднее значение скорости, σ - стандартное отклонение, M_3 - асимметрия, M_4 - эксцесс. Так как наблюдается некоторое перекрытие в распределении скоростей галактик I и II подскоплений, было сравнено распределение скоростей в этих подскоплениях по t -test в предположении справедливости нулевой гипотезы о равенстве средних значений этих распределений. Полученное значение $\alpha = 0.0028$ позволило нам отвергнуть нулевую гипотезу с высокой вероятностью $P = 1 - \alpha$ и рассматривать эти подскопления как независимые, разделенные в пространстве группировки. На рис.2 представлены гистограммы скоростей I, II подскоплений, а на

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ ГАЛАКТИК ДЛЯ 6 ВЫДЕЛЕННЫХ ПОДСКОПЛЕНИЙ В СКОПЛЕНИИ Coma

	Подскоп. I	Подскоп. II	Подскоп. III	Подскоп. IV	Подскоп. V	Подскоп. VI
n	33	35	42	18	15	11
$\langle V \rangle$	6522	7038	7253	6948	7538	6911
σ	714	646	430	443	768	516
M_3	1.7	-1.0	-1.4	0.8	-0.9	1.1
M_4	3.6	1.2	1.6	1.8	-0.8	0.1

рис.3 и 4 - 3-D координатное распределение галактик в 6 выделенных подскоплениях галактик.

4. *Отождествление галактик с дефицитом водорода HI в выделенных подскоплениях.* Согласно Гавази и др. [26] скопление

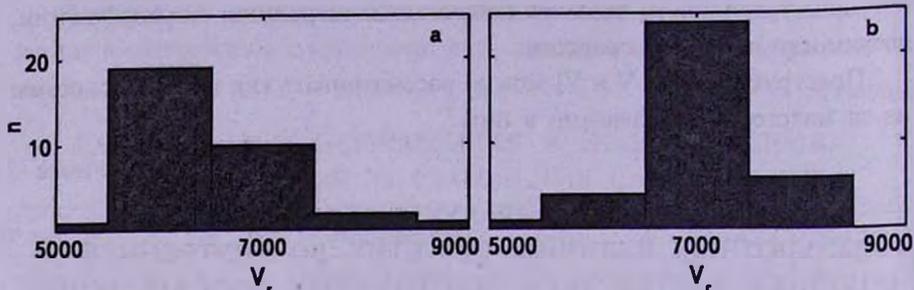


Рис.2. Гистограмма скоростей для галактик а) I подскопления вокруг NGC 4889, б) II подскопления вокруг NGC 4874.

Сота выделяется среди других скоплений значительным дефицитом водорода HI. Основываясь на этом критерии, Гавази [27] пришел к выводу, что большинство спиральных галактик, отмечаемых в этой области, являются подлинными членами скопления.

Браво-Альфарио и др. [28] получили изображения 19 спиральных галактик на длине волны 21 см, свидетельствующие о значительном дефиците водорода HI в них. Все эти галактики были найдены вблизи от центра Сота. 16 из них оказались членами выделенных нами подскоплений в центре Сота с наибольшим числом галактик 9 - во II подскоплении с NGC 4874, 5 - в III и 2 - в I подскоплении. 7 галактик с дефицитом HI, по свидетельству Браво-Альфарио, показывают наибольшие искажения в распределении водорода с размерами меньше оптического диска и не совпадающими с ним. 4 из них оказались во II подскоплении с NGC4874 в зоне, окружающей более плотное сгущение из E и L галактик, 2 галактики - в I и одна - в III подскоплении.

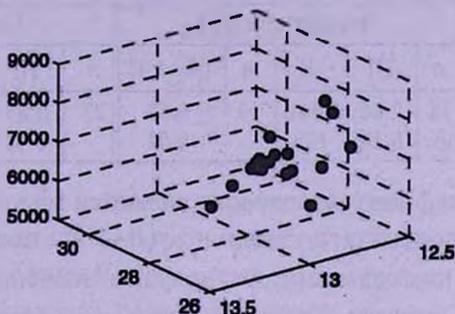
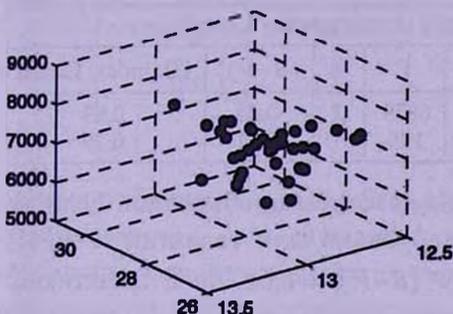
В RCG3-каталоге приводятся значения индекса водорода HI, определяемого по аналогии с показателем цвета: $HI = m_{21}^0 - B_T^0$. Мы проверили все спиральные галактики в изучаемой области скопления на HI индекс. Оказалось, что из 18 галактик из списка Браво-Альфарио только 10 имеют измерения HI индекса, к которым добавились еще 8 новых галактик, являющихся членами подскоплений. Все они показали завышенное значение HI индекса и отмечены в табл.1 с помощью символа HI. Кроме того, 22 галактики с измеренными значениями HI индекса были выявлены вне подскоплений в выделенной области Сота. Среди галактик с HI индексом были выделены галактики, имеющие определения $(B-V)_T^0$ цвета в RCG3. В табл.5



Рис.3. 3-D координатное распределение галактик I подскопления вокруг NGC 4889 (заполненные кружки) и II подскопления вокруг NGC 4874 (открытые кружки).

Подскопление III

Подскопление IV



Подскопление V

Подскопление VI

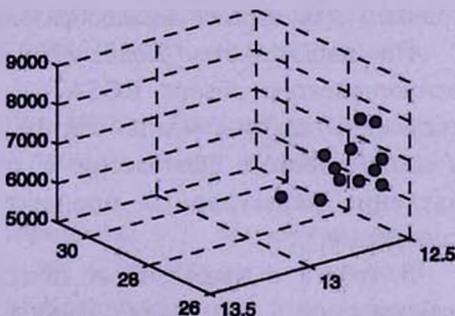
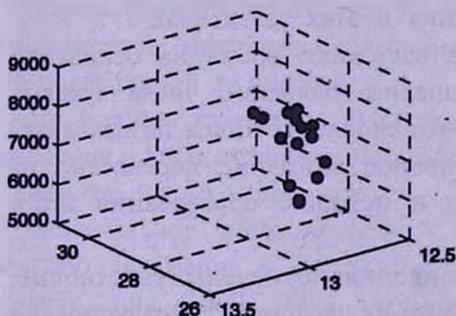


Рис.4. 3-D координатное распределение галактик подскоплений вокруг NGC 4839 (III), NGC 4816 (IV), NGC 4789 (V) и NGC 4555 (VI).

приводятся средние значения: HI индекса, $(B-V)_r^0$ цвета, лучевой скорости для спиралей в подскоплениях и спиралей в общем поле скопления. Сравнение средних значений HI индекса для двух групп галактик показало статистически значимое различие на уровне $P = 1 - \alpha$, где $\alpha = 0.0035$, а спиральные галактики, включенные в подскопления, обнаруживают больший дефицит HI в сравнении с галактиками поля.

Низкое содержание водорода HI в галактиках, связанных в подскоп-

лениях, искажение в его распределении, не совпадающим зачастую с оптическим диском, отражает эффект взаимодействия галактики с горячей и плотной межгалактической средой. Двигаясь в скоплении, эти галактики испытывают динамическое давление со стороны межзвездной среды, которая и выметает из них газ.

Средние значения $(B-V)_T^0$ цвета, полученные для галактик обеих групп в табл.5, позволяют предположить, что большинство галактик с

Таблица 5

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ: ИНДЕКСА $HI = (m_{21}^0 - B_T^0)$, $(B-V)_T^0$
ЦВЕТА, ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ ДЛЯ ГАЛАКТИК С
ДЕФИЦИТОМ HI В ПРЕДЕЛАХ И ВНЕ ВЫДЕЛЕННЫХ
ПОДСКОПЛЕНИЙ

Подскопления					Поле скопления Coma					
n	HI	V	n	$(B-V)_T^0$	n	HI	V	n	$(B-V)_T^0$	HI index Excess
18	2.66	6941	13	0.67	22	1.83	6879	7	0.65	0.83
σ	0.26	192		0.04		0.12	195		0.11	0.29

дефицитом водорода являются молодыми голубыми объектами. Если же подсчитать отдельно $(B-V)_T^0$ цвета только для галактик II и III подскоплений, то получим значение $(B-V)_T^0 = 0.62$ по 8 галактикам. Согласно Браво-Альфари, взаимодействие этих галактик с межгалактической средой при их движении в скоплении могло послужить толчком для взрыва звездообразования в этих галактиках.

По свидетельству Колес [29], в настоящее время на основании рентгеновского обзора ROSAT и анализа большого числа лучевых скоростей галактик можно считать, что скопление Coma не находится в динамическом равновесии и основное внимание перенесено на изучение нерегулярных процессов и историю образования этого скопления.

В табл.1 в выделенных подскоплениях отмечены сверхновые, наблюдаемые в галактиках с наибольшим их числом во II подскоплении с NGC 4874. Сверхновые ответственны за инжекцию релятивистских электронов, которые, взаимодействуя с галактическими магнитными полями, способствуют нагреву межгалактической среды.

Скопление Coma является аномальным в радио и рентгеновском излучении. Согласно Вентури и др. [25] 29 радиоисточников, выявленных на частоте 326 МГц, были отождествлены с галактиками в области скопления Coma, причем в качестве надежного рассматривался радиопоток со значением $S_{326} \geq 5$ мЯн. 20 радиогалактик из этого списка оказались в изучаемой нами области Coma, из которых 17 отождествлены

с членами выделенных подскоплений. В табл.6 приводятся средние значения радиопотока $\log S_{326}$ и абсолютной звездной величины для радиогалактик этих подскоплений в зависимости от морфологического типа. Согласно табл.1 и 6, эллиптические галактики высокой светимости в центре II, III и V подскоплений оказались источниками наибольшего радиоизлучения, а в сгущении E-галактик I подскопления не обнаружено источника с

Таблица 6

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ РАДИОПОТОКА $\log S_{326}$ И АБСОЛЮТНОЙ ЗВЕЗДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РАДИОГАЛАКТИК РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ В ВЫДЕЛЕННЫХ ПОДСКОПЛЕНИЯХ

	E	L	S
$\langle \log S_{326} \rangle$	2.68	1.22	1.41
	0.35	0.23	0.33
$\langle M \rangle$	-21.1	-19.9	-20.1
	0.33	0.31	0.28
n	5	3	9

радиоизлучением $S_{326} \geq 5$ мЯн. Не обнаружено также различие в радиоизлучении S и L галактик в выделенных группировках, а также зависимость радиоизлучения от их светимости. В то же время, значительное число галактик с дефицитом водорода оказались радиогалактиками. Наряду с радиогалактиками скопление Coma пропитано диффузным радиоизлучением с центральным радиоисточником C, свидетельствующим о существовании релятивистских электронов и широкомасштабных полей, но нужен механизм для поддержания их энергии.

По мнению теоретиков, прохождение группы галактик через центр скопления в космологически недалеком прошлом может рассматриваться в качестве такого источника.

Значительное число галактик с дефицитом HI, обнаруживающих зачастую искажение в его распределении и являющихся членами II подскопления с NGC 4874, позволяют предположить о прохождении этого подскопления через скопление Coma и его возможном слиянии с I подскоплением вокруг NGC 4889.

По мнению Браво-Альфари ни одна галактика вблизи NGC 4839 не обнаружена в линии 21 см.

8 галактик со значительным дефицитом HI отмечены нами в подскоплении с NGC 4839. Из них 5 галактик отмечены в списке Браво-Альфари, одна из которых показывает искажение структуры водорода. Это обстоятельство, а также наличие у радиогалактики NGC 4839 радиохвоста, направленного в сторону от центра Coma, могут

свидетельствовать в пользу возможного движения в настоящее время подскопления с NGC 4839 к центру Coma.

5. *Выводы.* Основываясь на методе иерархического сгущивания с учетом гравитационного взаимодействия, между галактиками были выделены 6 подскоплений в скоплении Coma, из которых 3 центральных подскопления выделены вокруг галактик NGC 4889, NGC 4874 и NGC 4839. Объективный статистический критерий, примененный Венником и Аносовой при изучении близких группировок галактик, был использован нами для оценки каждого включаемого в подскопление члена с высокой вероятностью.

Галактики различных морфологических типов показали различное радиальное распределение в выделенных подскоплениях. Подтверждена скученность E-галактик в центральной области подскопления вокруг NGC 4889, а также большая концентрация L-типов в сравнении с E в подскоплении вокруг NGC 4874. Отмечается более протяженное распределение S-галактик во внешних областях обоих подскоплений. Подскопление с NGC 4839 показывает смешанное распределение всех типов галактик.

Галактики со значительным дефицитом водорода HI, включая объекты из списка Браво-Альфара, были отождествлены с членами подскоплений, с наибольшим их числом в подскоплениях с NGC 4874 и NGC 4839. Количественная оценка дефицита водорода с помощью индекса HI в каталоге RCG3 показала статистически значимое превышение его значения для галактик, являющихся членами подскоплений, в сравнении с галактиками поля. Значительное число спиральных галактик с дефицитом водорода HI, отмеченных в подскоплениях, оказались одновременно и радиогалактиками.

Низкое содержание водорода HI в спиральных галактиках, связанных с подскоплениями, и зачастую его искаженное распределение отражают эффект взаимодействия галактик с межгалактической средой во время возможного прохождения подскопления сквозь скопление.

Все это позволяет предположить, что именно подскопления являются местом активных процессов в скоплениях галактик.

¹ Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе, Грузия, e-mail: nmnt@yahoo.com

² Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: astrofiz@sci.am

THE STUDY OF THE COMA CLUSTER STRUCTURE BASED ON THE METHOD OF POWERFUL HIERARCHICAL CLUSTERING

N.G.KOGOSHVILI¹, T.M.BORCHKHADZE¹, A.T.KALLOGHLIAN²

6 subclusters were selected in the Coma cluster based on the method of hierarchical clustering and taking into account the gravitational interaction among galaxies, of which 3 subclusters around galaxies NGC 4889, NGC 4874 and NGC 4839 were singled out in its central region. The objective statistical criterion applied by Vennik and Anosova for selection of nearby groups of galaxies has been used to estimate with high probability the every physical member included in the subcluster. Galaxies with significant hydrogen HI deficiency including those from the list of Bravo-Alfaro were identified with the members of subclusters with their grater number in the subclusters around NGC 4874 and NGC 4839. The quantitative estimation of HI deficiency by an HI index presented in RCG3 catalogue showed statistically significant excess of its value for galaxies which were subclusters members compared to the field HI deficient galaxies in the studied area of Coma cluster. At the same time a significant number of HI deficient spiral galaxies turned out to be radiogalaxies.

Key words: *Galaxies:clusters - galaxies:structure - individual:Coma*

ЛИТЕРАТУРА

1. S.M.Kent, J.E.Gunn, *Astrophys. J.*, **87**, 945, 1982.
2. M.J.West, A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices, 36, 1997, Marseille, France.
3. M.J.West, A.Oemler, A.Dekel, *Astrophys. J.*, **327**, 1, 1988.
4. A.Dressler, S.A.Shectman, *Astron. J.*, **95**, 985, 1988.
5. F.W.Baier, K.Fritze, H.Tiersch, *Astron. Nachr.*, **311**, 89, 1990.
6. J.G.Godwin, N.Metcalf, J.V.Peach, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **202**, 113, 1983.
7. N.A.Bahcall, *Astrophys. J.*, **183**, 783, 1973.
8. H.J.Rood, *Astrophys. J.*, **188**, 451, 1974.
9. A.Biviano, F.Durret, D.Gerbai, *Astron. Astrophys.*, **311**, 95, 1996.
10. C.Jones, H.Donnelly, W.Forman et. al., A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices, 161, 1997, Marseille, France.

11. *M.J.Fitchett, R.L.Webster*, *Astrophys. J.*, 317, 653, 1987.
12. *E.Escalera, E.Slezak, A.Mazure*, *Astron. Astrophys.*, 264, 379, 1992.
13. *A.Mazure, V.Gurzadyan*, *A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices*, 54, 1997, Marseille, France.
14. *А.Л.Щербановский*, *Сообщ. спец. астрофиз. обсерв.*, 31, 23, 1981.
15. *J.Materne*, *Astron. Astrophys.*, 63, 401, 1978.
16. *R.B.Tully*, *Astrophys. J.*, 237, 390, 1980.
17. *А.Р.Магтесян*, *Астрофизика*, 28, 255, 1988.
18. *J.Vennik, J.P.Anosova*, *A Statistical Study of the Composition of Nearby Groups of Galaxies*, Valgus, Tallinn, 1990.
19. *G.Gavazzi, I.Randone, E.Branchini*, *Astrophys. J.*, 438, 590, 1995.
20. *Н.Г.Когошвили, Т.М.Борчхадзе*, *Абастум. астрофиз. обсерв. Бюлл.*, 77, 2004.
21. *G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.G.Corwin et. al.*, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Springer-Verlag, 1991.
22. *Ж.П.Аносова*, *Астрофизика*, 27, 535, 1987.
23. *Н.Г.Когошвили, Т.М.Борчхадзе*, *Астрофизика*, 44, 217, 2001.
24. *G.Paturel, P.Fouque, L.Bottinelli, L.Gouguenheim*, *Catalogue of Principal Galaxies*, Lyon, 1989.
25. *T.Venturi, G.Giovannini, L.Feretti*, *Astron. J.*, 99, 1381, 1990.
26. *G.Gavazzi*, *Astrophys. J.*, 346, 59, 1989.
27. *G.Gavazzi*, *A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices*, 73, 1997, Marseille, France.
28. *H.Bravo-Alfaro, V.Cayatte, C.Balkowski, J.H. van Gorkom*, *A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices*, 128, 1997, Marseille, France.
29. *M.Colless*, *A New Vision of an Old Cluster: Untangling Coma Berenices*, 187, 1997, Marseille, France.