

УДК 524.7

О. В. Мельник¹, И. Б. Вавилова²¹Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
04053 Киев, ул. Обсерваторная 3²Институт космических исследований НАНУ—НКАУ
03680 МСП Киев-187, ул. Академика Глушкова 40

Триплеты галактик Местного сверхскопления. 3. Конфигурационные свойства

Исследованы конфигурационные свойства наблюдаемых триплетов галактик, для чего использовались конфигурационная диаграмма Агекиана — Аносовой, а также метод конфигурационных параметров. Для выборки триплетов Местного сверхскопления установлен статистически достоверный избыток иерархических конфигураций. Выборки Взаимодействующих, Северных и Южных триплетов галактик не показывают подобного избытка. Полученные результаты указывают на то, что для динамически молодых систем, какими являются большинство триплетов Местного сверхскопления, лучше подходит модель скрытой массы, сосредоточенной в гало отдельных галактик, а для компактных триплетов — модель скрытой массы, сосредоточенной в объеме триплета.

ТРИПЛЕТИ ГАЛАКТИК МІСЦЕВОГО НАДСКУПЧЕННЯ. 3. КОНФІГУРАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, Мельник О. В., Вавилова І. Б. — Досліджено конфігураційні властивості спостережуваних триплетів галактик, для чого використовувались конфігураційна діаграма Агекиана — Аносової, а також метод конфігураційних параметрів. Для вибірки триплетів Місцевого надскупчення встановлено статистично достовірний надлишок ієрархічних конфігурацій. Вибірки Взаємодіючих, Північних і Південних триплетів галактик не показують подібного надлишку. Отримані результати свідчать про те, що для динамічно молодих систем, якими є більшість триплетів Місцевого надскупчення, краще підходить модель прихованої маси, зосередженої в гало окремих галактик, а для компактних триплетів — модель прихованої маси, зосередженої в об'ємі триплета.

GALAXY TRIPLETS OF THE LOCAL SUPERCLUSTER. 3. CONFIGURATION PROPERTIES, by Melnyk O. V., Vavilova I. B. — Configuration properties of observed galaxy triplets are studied with the use of the method of configuration parameters and Agekian-Anosova configuration diagram. Statistically significant excess of the hierarchical configurations for the galaxy triplets of the Local Supercluster (LS) is established. The samples of the

Interacting, Northern and Southern galaxy triplets do not demonstrate the same excess. Our results testify that the model of the hidden mass concentrated in the halo of individual galaxies is convenient for dynamically young systems to which the most of LS triplets belong, whereas the model of the hidden mass concentrated in the triplet's volume is more convenient for the compact triplets.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе, которая является продолжением нашего исследования свойств триплетов Местного сверхскопления [4, 10], проанализированы конфигурационные свойства нескольких наблюдаемых выборок триплетов галактик. Проведено сравнение их между собой и с данными, полученными с помощью построения динамических моделей триплетов [5, 11, 13, 17, 25], а также зависимостей кинематических и вириальных характеристик триплетов от типов их конфигураций. Кроме выборки триплетов Местного сверхскопления (МС) [4], рассмотрены также объединенная выборка Северных [9] и Южных [8] тройных систем и выборка Взаимодействующих триплетов из каталога Воронцова-Вельяминова [29] со средней квадратичной скоростью галактик в группе $S_v < 300$ км/с. Последние выборки мы приводим как выборки сравнения, поскольку Северные и Южные триплеты являются единственными списками изолированных триплетов по всему небу, а Взаимодействующие триплеты являются яркими представителями самых тесных систем (некоторые их свойства рассмотрены в работе [15]).

Конфигурация триплета галактик, т. е. вид треугольника, образованного галактиками, является важной характеристикой его динамической эволюции. Компьютерное моделирование динамической эволюции тройных систем показывает, что триплет проводит более половины жизни в состоянии, когда две галактики находятся близко друг от друга, а третья — на значительном расстоянии от них [5, 16, 25, 28]. Такая конфигурация триплета называется иерархической. Однако большое значение в эволюционных процессах триплетов имеет характер распределения скрытой массы. Наличие скрытых масс в объеме системы ускоряет развитие в ней динамической неустойчивости и усиливает хаотизацию системы, подавляя тем самым возникновение долгоживущих тесных пар [5, 13].

Исследованию конфигурационных характеристик наблюдаемых и моделируемых триплетов галактик посвящены работы [3, 5, 12, 16, 18, 19, 30], в которых не обнаружено избытка иерархических конфигураций в наблюдаемых триплетах. В качестве наблюдательного материала использовались выборки 46 триплетов из списка Северных тройных систем [9] и 37 Широких триплетов [16] из каталогов [22] и [26]. Отбирались только те системы, которые по статистическому критерию Аносовой [2] имеют статус физических систем.

Наше исследование направлено не только на выяснение характера распределения скрытой массы в триплетах МС, но и на пополнение статистики конфигурационных свойств наблюдаемых выборок триплетов галактик.

КОНФИГУРАЦИИ ТРИПЛЕТОВ ГАЛАКТИК

Для представления конфигурационных характеристик триплетов галактик мы выбрали удобный и наглядный способ Агекяна и Аносовой [1], который широко использовался в работах [3, 5, 16, 18, 19, 30]: если нормировать стороны треугольника таким образом, чтобы галактики, образующие наи-

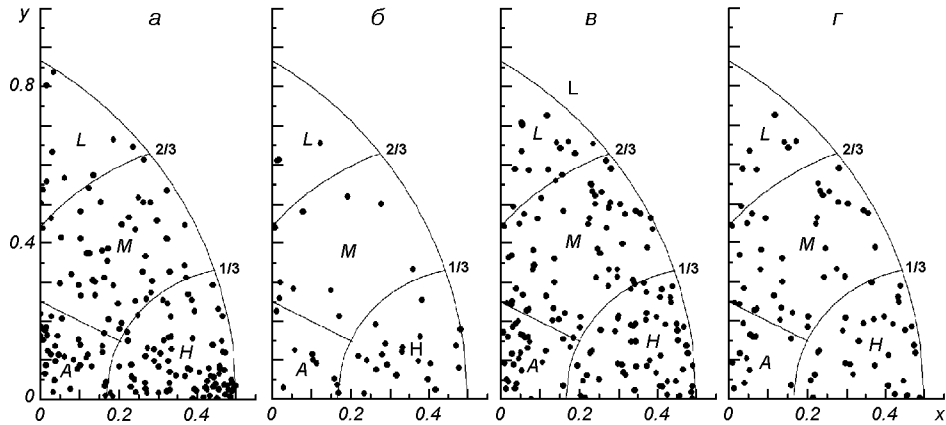


Рис. 1. Конфигурационная диаграмма с разбиением на зоны: *а* — триплеты МС, *б* — Взаимодействующие триплеты, *в* — Северные и Южные триплеты, *г* — Северные и Южные триплеты с $S_v < 300$ км/с. Область *Н* — иерархические конфигурации, *Л* — лагранжевые, *А* — линейные, *М* — средние (промежуточные) конфигурации

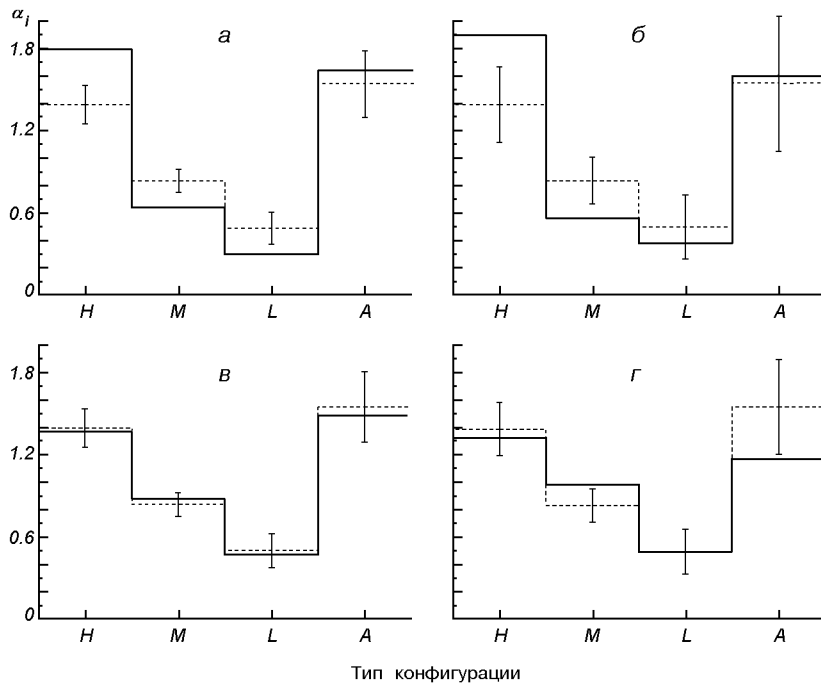


Рис. 2. Распределение триплетов по типам конфигураций, нормированное на площадь конфигурационной области: *а* — триплеты МС, *б* — Взаимодействующие триплеты, *в* — Северные и Южные триплеты, *г* — Северные и Южные триплеты с $S_v < 300$ км/с. Штриховая линия — случайное однородное распределение с учетом эффекта проекции (см. текст)

большую сторону, имели координаты $(-0.5, 0)$ и $(0.5, 0)$, а третья лежала внутри конфигурационного треугольника, то конфигурация триплета (ее координаты) однозначно определяется парой чисел $x \geq 0, y \geq 0, (x + 0.5)^2 + y^2 \leq 1$. Если выполняется условие $(x - 0.5)^2 + y^2 \leq 1/9$, то конфигурация триплета называется иерархической (*Н*); если $(x - 0.5)^2 + y^2 < 4/9$ и

$(x - 0.5)^2 + y^2 > (1/9)$, $y > -0.5x + 1/4$, то конфигурация называется средней (М); если $(x - 0.5)^2 + y^2 \geq 4/9$, то конфигурация близка к равностороннему треугольнику и называется лагранжевой (L); если выполняется условие $(x - 0.5)^2 + y^2 < 4/9$ и $(x - 0.5)^2 + y^2 > 1/9$ и $y \leq -0.5x + 1/4$, то конфигурация триплета называется линейной (А).

На рис. 1 представлены конфигурационные треугольники для рассматриваемых выборок триплетов. Заметно, что Северные и Южные триплеты расположены более равномерно по диаграмме, чем выборки МС и Взаимодействующие триплетов. На рис. 2 представлены распределения триплетов в зависимости от типа конфигурации, где на оси y представлена относительная плотность галактик $\alpha_i = \bar{\rho}_i / \bar{\rho}$ ($\bar{\rho}$ — средняя плотность галактик во всем конфигурационном треугольнике, $\bar{\rho}_i$ — средняя плотность галактик в i -й зоне Н, М, L, А). Мы сравнивали наблюдаемую относительную плотность галактик в каждой зоне с моделируемыми случайно заданными триплетами с учетом эффекта проекции (штриховая линия на рис. 2), задавая случайным образом три точки в круге единичного радиуса и проецируя их на случайно ориентированную картинную плоскость. В результате мы получили 20000 смоделированных каталогов по N_{tr} триплетов в соответствующей выборке для оценки количества триплетов разных типов конфигураций Н, М, L, А в каждом из этих каталогов и оценки математического ожидания и стандартного отклонения среди каталогов.

Из рис. 2 можно видеть, что самый большой избыток иерархических конфигураций наблюдается в выборке МС (отклонение от случайного среднего 2.9σ). Выборки, представленные на рис. 2, v и z — полный объединенный каталог Северных и Южных триплетов и предполагаемые физические Северные и Южные триплеты с $S_v < 300$ км/с — не показывают значимых различий в конфигурациях как между собой, так и со случайным однородным распределением. Далее под выборкой Северных и Южных триплетов будут подразумеваться только системы с $S_v < 300$ км/с (такое же ограничение, как и для Взаимодействующих систем). Рассматриваемая выборка Северных и Южных триплетов и выборка триплетов, рассмотренная ранее [3, 5, 12, 13, 17—19, 30], являются подвыборками общего списка Северных и Южных триплетов [8, 9], поэтому тройные системы в них должны пересекаться.

Для получения независимой оценки иерархичности и вытянутости тройных систем был также применен метод конфигурационных параметров [3, 12]. Мы вычислили значение параметров иерархичности λ и вытянутости β для рассматриваемых выборок наблюдаемых триплетов, которые наименее зависят от эффекта проекции [3, 12]:

$$\lambda = 2r_{\min} / (r_{\min} + r_{\max}), \quad \beta = \pi - \varphi_{\max},$$

где r_{\min} , r_{int} и r_{\max} — наименьшая, средняя и наибольшая стороны в треугольнике, образуемом тремя галактиками на небесной сфере, φ_{\max} — наибольший угол в треугольнике. При этом $\lambda \in [0, 1]$, где $\lambda = 0$ соответствует случаю, когда координаты двух галактик совпадают, а третья находится от них на некотором расстоянии, а $\lambda = 1$ соответствует случаю равностороннего треугольника. Параметр вытянутости $\beta \in [0, 2\pi/3]$, где $\beta = 0$ соответствует линейной конфигурации, а $\beta = 2\pi/3$ соответствует равностороннему треугольнику. Средние значения λ' и β' конфигурационных параметров для наблюдаемых выборок для случайно заданных 20000 каталогов триплетов по N_{tr} триплетов внутри круга единичного радиуса с учетом эффекта проекции, их стандартные отклонения σ_{λ} , σ_{β} , а также отклонения от среднего в единицах среднего квадратичного отклоне-

Таблица 1. Средние значения конфигурационных параметров выборок триплетов галактик МС, Взаимодействующих (ВВ), Северных и Южных (СЮ)

Выборка триплетов	N_{tr}	λ	λ'	$\sigma_{\lambda'}$	$\frac{\lambda' - \lambda}{\sigma_{\lambda'}}$	β	β'	$\sigma_{\beta'}$	$\frac{\beta' - \beta}{\sigma_{\beta'}}$
МС	173	0.392	0.458	0.016	4.1	0.921	1.002	0.045	1.8
ВВ	42	0.422	0.459	0.033	1.1	0.892	1.002	0.090	1.2
СЮ	86	0.474	0.458	0.023	-0.7	1.108	1.001	0.063	-1.7

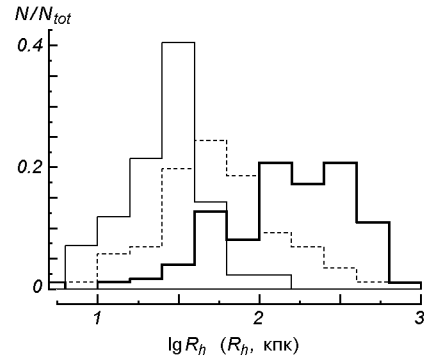
Таблица 2. Медианы кинематических и вириальных характеристик триплетов галактик МС, Взаимодействующих (ВВ) и Северных и Южных (СЮ), а также доля ранних типов галактик в них в зависимости от типа конфигурации

Тип галактики	N_{tr}	S_v , км/с	R_h , кпк	τ , $1/H_0$	$\lg(M_{vir}/M_{\odot})$	$\lg(L/L_{\odot})$	$\frac{M_{vir}/L}{M_{\odot}/L_{\odot}}$	$\frac{N(E/S_0)}{3N_{tr}}$
Н-конфигурация								
МС	82	33	103	0.45	11.47	10.24	24	0.21
ВВ	21	81	23	0.04	11.56	10.76	14	0.30
СЮ	24	95	50	0.09	12.00	10.62	21	0.27
М-конфигурация								
МС	47	26	188	0.94	11.63	10.17	40	0.19
ВВ	10	97	30	0.05	11.91	10.74	19	0.30
СЮ	25	95	59	0.09	12.24	10.54	51	0.23
L-конфигурация								
МС	10	22	251	2.36	11.44	9.99	46	0.13
ВВ	3	108	44	0.06	12.23	10.86	14	0.25
СЮ	6	108	82	0.14	12.33	10.74	62	0.25
А-конфигурация								
МС	34	27	271	1.81	11.68	10.14	43	0.13
ВВ	6	84	25	0.05	11.70	10.83	7	0.25
СЮ	9	128	73	0.15	12.45	10.63	70	0.25

ния $(\lambda' - \lambda)/\sigma_{\lambda'}$ и $(\beta' - \beta)/\sigma_{\beta'}$ представлены в табл. 1. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что триплеты из выборки МС показывают уверенную тенденцию к иерархичности (на уровне 4.1σ); слабую тенденцию к иерархичности показывают Взаимодействующие триплеты. Слабую тенденцию к вытянутости показывают также обе выборки и МС и Взаимодействующих триплетов, а Северные и Южные показывают очень слабую тенденцию к лагранжевой конфигурации.

В табл. 2 представлены медианные характеристики рассматриваемых выборок триплетов для разных конфигураций. Здесь N_{tr} — количество триплетов, имеющих соответствующую конфигурацию, S_v — средняя квадратичная скорость галактик в группе, R_h — среднегармонический радиус системы, τ — характерное время пересечения системы, $\lg(M_{vir}/M_{\odot})$ — логарифм вириальной массы, $\lg(L/L_{\odot})$ — логарифм общей светимости группы, $(M_{vir}/L)/(M_{\odot}/L_{\odot})$ — отношение вириальной массы к светимости, $N(E/S_0)/(3N_{tr})$ — доля галактик ранних типов в каждой подвыборке. Все вычисления произведены по формулам, приведенным в работе [4], постоянная Хаббла принята равной $H_0 = 75$ км/с/кпк. Из данных табл. 2 можно видеть, что триплеты МС — это молодые системы с большим временем пересечения, малой средней квадратичной скоростью галактик в группе и большим среднегармоническим радиусом, в то время как триплеты двух

Рис. 3. Распределение триплетов галактик по среднегармоническому радиусу R_h . Жирная линия — выборка МС, тонкая — Взаимодействующие триплеты, короткие штрихи — Северные и Южные триплеты



других выборок имеют малое время пересечения системы, что может говорить об их старшем возрасте.

Из табл. 2 и рис. 3 видно, что рассматриваемые системы отличаются характерным расстоянием между галактиками. Взаимодействующие триплеты — самые тесные системы галактик, у которых характерное расстояние порядка размера галактики. Триплеты МС — самые широкие, а Северные и Южные триплеты имеют промежуточное значение R_h , хотя по всем другим характеристикам ближе к Взаимодействующим системам. Несмотря на такие, как мы полагаем, эволюционные различия рассматриваемых систем, некоторые зависимости от типа (Н, М, L, А) конфигураций наблюдаются для всех выборок. Такие характеристики как время пересечения системы τ , $\lg(M_{vir}/M_\odot)$ и $\lg(L/L_\odot)$, а также отношение масса—светимость имеют систематически меньшее значение для триплетов галактик из всех рассмотренных выборок, имеющих иерархическую конфигурацию. Наибольшие значения этих характеристик присущи триплетам лагранжевой и/или линейной конфигурации. Исключение составляют Взаимодействующие триплеты, поскольку линейную конфигурацию триплета здесь представляют очень тесные системы типа цепочек.

Зависимость среднегармонического радиуса R_h триплета от конфигурационного параметра λ дает следующие уравнения регрессии (где R — коэффициент корреляции, SD — среднее квадратичное отклонение): для триплетов МС — $\lg R_h = 0.58 \lg \lambda + 2.46$, $R = 0.58$, $SD = 0.32$; для Взаимодействующих триплетов — $\lg R_h = 0.09 \lg \lambda + 1.45$, $R = 0.32$, $SD = 0.32$; для Северных и Южных триплетов — $\lg R_h = 0.51 \lg \lambda + 1.93$, $R = 0.44$, $SD = 0.35$.

Таким образом, самая сильная корреляция и наибольшая зависимость проявляется у триплетов МС, немного слабее зависимость у Северных и Южных триплетов, у тесных Взаимодействующих систем эта зависимость не наблюдается. Действительно, если ограничивать количество триплетов в выборке по R_h , то чем меньше R_h , тем больше иерархических систем остается в выборке, однако такие зависимости присущи только выборкам МС и Северных и Южных триплетов. Во Взаимодействующих триплетах такой зависимости нет, и кинематические и вириальные характеристики триплета слабо зависят от типа конфигурации. Можно предположить, согласно рис. 3, что хотя Северные и Южные триплеты в среднем компактны, однако среди них встречаются и относительно широкие системы (система отбиралась в каталог не по критерию компактности, как во Взаимодействующих системах, а по степени изолированности). Поэтому среди Северных и Южных триплетов могут встречаться как разреженные

системы, сходные по свойствам с триплетами МС, так и довольно тесные системы, свойства которых близки к Взаимодействующим триплетам.

Морфологический анализ рассмотренных триплетов показывает (табл. 2), что в триплетах МС в средних и иерархических конфигурациях доля галактик ранних типов больше, чем в лагранжевых и линейных. При этом доля галактик E/S0 для всех триплетов МС — 18 %. В 35 тройных системах МС содержатся 46 взаимодействующих галактик из каталога Воронцова-Вельяминова [29], половина из них также имеют иерархическую конфигурацию. Два триплета, где все три галактики взаимодействуют, имеют лагранжевую конфигурацию. Эти данные можно интерпретировать и по-другому: из 82 Н-триплетов с тесной парой 11 пар взаимодействуют (13 %).

Анализ расположения конфигураций триплетов в объеме МС показал, что количество триплетов различных конфигураций в зависимости от средней лучевой скорости триплета не показывает статистически достоверного избытка в расположении ни для одной из конфигураций.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Мы выявили различия кинематических и вириальных характеристик триплетов галактик трех выборок триплетов в зависимости от типа их конфигурации Н (иерархическая), М (средняя), L (лагранжевая), А (линейная). Значения таких характеристик как время пересечения системы τ , $\lg(M_{vir}/M_{\odot})$ и $\lg(L/L_{\odot})$, а также отношение масса—светимость $(M_{vir}/L)/(M_{\odot}/L_{\odot})$ систематически меньше для триплетов галактик, имеющих иерархическую конфигурацию для всех рассмотренных выборок. Наибольшие значения этих характеристик присущи триплетам лагранжевой и/или линейной конфигурации.

Используя методы конфигурационной диаграммы Агекяна—Аносовой [1] и конфигурационных параметров [3, 12], мы установили уверенный избыток иерархических конфигураций в выборке триплетов МС (на уровне значимости 2.9σ и 4.1σ в зависимости от метода, соответственно). Согласно [14] иерархическая конфигурация может образоваться уже в течение первых нескольких времен пересечения. Поскольку медианное значение времени пересечения по всему ансамблю триплетов галактик МС равно 0.87, а для иерархических конфигураций — 0.45, то это свидетельствует, что в системах уже произошли 1—3 пересечения, которые могли привести к образованию иерархических конфигураций. Этот результат согласуется с выводами динамического моделирования [5, 17]. Например, в работе [17] в модельных триплетах был найден избыток иерархических конфигураций на уровнях 6.4σ и 7.3σ в зависимости от наличия или отсутствия скрытой массы, находящейся в гало. В работе [5] при исследовании ансамбля тройных систем с индивидуальными гало показано, что уже после 2.5 времен пересечения нельзя проследить начальное положение триплета на конфигурационной диаграмме. Там же сделано заключение о преобладании иерархических конфигураций среди других типов конфигураций в моделируемых триплетах в случае распределения скрытого вещества в гало отдельных галактик.

Отметим, что мы сравнивали реальные триплеты со случайными, задавая случайным образом три точки в круге единичного радиуса и проецируя их на случайно ориентированную картинную плоскость. Другим способом могло бы быть сравнение наблюдаемых триплетов с равномерным распределением того же количества точек на конфигурационной диаграмме, тогда относительная плотность галактик α_i была бы равна единице (рис. 2),

а избыток иерархических конфигураций еще больше, т. е. выбранный нами критерий является более строгим. Важным обстоятельством является также то, что мы не проводим моделирования физических триплетов, однако данные моделирования других исследователей [5, 17] позволяют сделать выводы о распределении скрытой массы с помощью анализа распределения конфигураций конкретной выборки.

Выборки Взаимодействующих и Северных и Южных триплетов, в свою очередь, не показывают статистически достоверного преобладания иерархических конфигураций. Ранее подобный результат был получен для тройных систем из списка Северных триплетов [3, 5, 12, 18, 19, 30]. Модель скрытой массы, распределенной в объеме триплета, могла бы дать объяснение этим данным, поскольку Н-конфигурации триплетов галактик становятся короткоживущими при таких условиях [5, 13, 16, 19, 25]. В работе [17] показано, что в моделируемых триплетах со скрытой массой, сосредоточенной в общем гало, не наблюдается избытка иерархических конфигураций, как и в наблюдаемых Северных триплетах. Кроме теоретических моделей, об общих коронах тесных групп свидетельствуют данные наблюдений. В компактных группах галактик найдены обширные рентгеновские гало, в частности у триплета VV118 [24], входящего в выборку Взаимодействующих триплетов, а также в Северных и Южных триплетах KTS48 = HCG67*, KTS66 = HCG90, KTG50 = HCG68 (у последнего триплета $S_v = 410$ км/с, поэтому в результирующую выборку он не вошел) [27]. В работе [21] найдена диффузная звездная составная гало в нескольких компактных группах в оптическом диапазоне. Однако таких наблюдений очень мало, и о каких-либо зависимостях говорить преждевременно. Однако есть некоторые предположения эволюционного характера, например, что наличие общего гало (рентгеновского или диффузного) зависит от уровня эволюции группы, который может характеризоваться морфологическим составом группы, активностью галактик в группе и расстоянием между компонентами, характерным временем пересечения τ [19—21]. Взаимодействующие триплеты, Северные и Южные триплеты находятся на более поздней стадии эволюции по сравнению с выборкой триплетов галактик MC ($\tau = 0.04, 0.09, 0.87$ соответственно). Поскольку в этих двух выборках медианное значение среднегармонического радиуса системы практически совпадает с размером одной галактики (30—50 кпк), то и различить в таких тесных системах, индивидуальные и общее гало триплета не представляется возможным.

Морфологический состав галактик группы может служить показателем того, были ли у группы слияния в прошлом [19, 30]. В выборке триплета MC 18 % галактик ранних типов (E/S0), а среди изолированных галактик MC — 11 % (выборка MC ограничена по лучевой скорости $V_{LG} < 3100$ км/с). Оказалось также, что в триплетах MC в средних и иерархических конфигурациях доля галактик ранних типов больше, чем в лагранжевых и линейных. Среди выборок, ограниченных по звездной величине, во Взаимодействующих триплетах есть 33 % галактик ранних типов E/S0 [15], в изолированных КИГ [7] — 19 %, в Северных и Южных триплетах — 23 %. Это свидетельствует о том, что максимальный избыток галактик ранних типов в триплетах по сравнению с изолированными галактиками наблюдается в выборке Взаимодействующих триплетов, которые являются самыми «старыми» системами.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для динамически «молодых» триплетов MC более подходит гипотеза о скрытых массах, сосредоточенных в гало отдельных галактик. Отметим, что подо-

* HCG — компактные группы Хиксона [23]

бный вывод был сделан в нашей работе [10] на основании анализа вириальных и суммарных масс триплетов галактик. Гипотеза о скрытых массах, сосредоточенных в общем гало триплета, согласуется с компактными системами, какими являются Взаимодействующие триплеты и часть Северных и Южных систем.

Авторы благодарят В. Е. Караченцеву за полезные комментарии к статье.

Работа поддержана грантом Ф7/267-2001 Государственного фонда фундаментальных исследований Министерства образования и науки Украины.

1. Агекян Т. А., Аносова Ж. П. Исследование динамики тройных систем методом статистических испытаний // Астрон. журн.—1967.—44, № 6.—С. 1261—1272.
2. Аносова Ж. П. Обобщенный статистический критерий выделения оптических и физических кратных систем — случайных и неслучайных группировок объектов // Астрофизика.—1987.—27, № 3.—С. 535—548.
3. Аносова Ж. П., Иванов А. В., Киселева Л. Г. и др. Конфигурации триплетов галактик // Астрон. журн.—1993.—70, № 5.—С. 943—952.
4. Вавилова И. Б., Караченцева В. Е., Макаров И. Д., Мельник О. В. Триплеты Местного сверхскопления. I. Кинематические и вириальные свойства // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—21, № 1.—С. 3—20.
5. Иванов А. В., Филистов Е. А., Чернин А. Д. Эволюция тройных систем: стохастическое поведение и динамическая неустойчивость // Астрон. журн.—1995.—72, № 3.—С. 416—431.
6. Иванов А. В., Чернин А. Д. Признаки стохастичности в динамике модельных триплетов галактик // Письма в Астрон. журн.—1991.—17, № 7.—С. 569—574.
7. Караченцева В. Е. Каталог изолированных галактик // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.—1973.—№ 8.—С. 3—72.
8. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д. Южные изолированные триплеты галактик // Астрон. журн.—2000.—77, № 8.—С. 569—590.
9. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д., Лебедев В. С. Изолированные триплеты галактик: полная сводка лучевых скоростей и редуцированные данные // Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.—1987.—26.—С. 42—54.
10. Караченцева В. Е., Мельник О. В., Вавилова И. Б., Макаров И. Д. Триплеты Местного сверхскопления 2. Вириальные и суммарные массы // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—21, № 3.—С. 217—230.
11. Киселева Л. Г. Численная модель тройной системы со скрытыми массами // Кинематика и физика небес. тел.—1987.—3, № 4.—С. 67—69.
12. Киселева Л. Г., Орлов В. В. Конфигурационные характеристики моделированных и наблюдаемых триплетов галактик // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.—1989.—№ 60.—С. 23—28.
13. Киселева Л. Г., Чернин А. Д. Численные модели триплетов галактик // Письма в Астрон. журн.—1988.—14, № 11.—С. 970—978.
14. Киселева Л. Г., Чернин А. Д. Динамика малых систем галактик // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.—1989.—№ 60.—С. 5—22.
15. Мельник О. В. Взаимодействующие галактики в малонаселенных группах // Письма в Астрон. журн.—2006.—32, № 5.—С. 302—307.
16. Трофимов А. В., Чернин А. Д. Широкие триплеты галактик и проблема скрытых масс // Астрон. журн.—1995.—72, № 3.—С. 308—317.
17. Чернин А. Д., Трофимов А. В., Иванов А. В. Статистика конфигураций и распределение скрытой массы в триплетах галактик // Астрон. циркуляр.—1989.—№ 1540.—С. 3—4.
18. Aceves H. Dynamical evolution of triplets of galaxies // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2002.—326, N 4.—P. 1412—1422.
19. Chernin A. D., Ivanov A. V., Trofimov A. V., Mikkola S. Configurations and morphology of triple galaxies: evidence for dark matter? // Astron. and Astrophys.—1994.—281, N 1.—P. 685—690.
20. Coziol R., Brinks E., Bravo-Alfaro H. The relation activity and the dynamics of compact groups of galaxies // Astron. J.—2004.—128, N 1.—P. 68—88.
21. Da Rocha C., de Oliveira C. M., Ziegler B. L. Intra-group light in Hickson compact groups // EAS Publs Ser.—2006.—20.—P. 273—274.
22. Geller M. J., Huchra J. P. Groups of galaxies. III. CfA Survey // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1983.—52.—P. 61—87.

23. *Hickson P., Kindl E., Auman J. R.* A photometric catalog of compact groups of galaxies // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1989.—70.—P. 687—698.
24. *Huo Z. Y., Xia X. Y., Xue S. J., et al.* Chandra observations of ultraluminous infrared Galaxies: extended hot gaseous halos in merging galaxies // *Astrophys. J.*—2004.—611, N 1.—P. 208—219.
25. *Kiseleva L.* The connections between dark matter, internal motions and configurational properties of triple galaxies // *ASP Conf. Ser.*—2000.—209.—P. 388—392.
26. *Maia M. A. G., da Costa L. N., Latham D. W.* A Catalog of Southern groups of galaxies // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1989.—69, N 2.—P. 809—829.
27. *Mulchaey J. S., Davis D. S., Mushotzky R. F., Burstein D.* An X-ray atlas of groups of Galaxies // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2003.—145, N 1.—P. 39—64.
28. *Valtonen M., Mikkola S.* The few-body problem in astrophysics // *Annu. Rev. Astron. and Astrophys.*—1991.—29.—P. 9—29.
29. *Vorontsov-Velyaminov B. A., Noskova R. I., Arkhipova V. P.* The catalog of interacting galaxies by Vorontsov-Velyaminov // *Astron. and Astrophys. Trans.*—2001.—20.—P. 717—959.
30. *Zheng J.-Q., Valtonen M., Chernin A. D.* Computer simulations of interacting galaxies in compact groups and the observed properties of triple galaxies // *Astron. J.*—1993.—106, N 6.—P. 2047—2053.

Поступила в редакцию 13.07.06