

УДК 524.7-17

В. Е. Караченцева¹, О. В. Мельник¹, И. Б. Вавилова¹, Д. И. Макаров²¹Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко
04053 Киев, ул. Обсерваторная 3²Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук
35747 Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз**Триплеты галактик Местного Сверхскопления.****2. Вириальные и суммарные массы**

Для компонентов 173 триплетов Местного сверхскопления (МС) получены оценки индивидуальных масс, заключенных в пределах стандартного радиуса, и отношений M_{25}/L . Медианное значение $M_{25}/L = 4.8M_{\odot}/L_{\odot}$ по всем типам галактик существенно не отличается от значений, полученных для компонентов триплетов других выборок и изолированных галактик (от $4.2M_{\odot}/L_{\odot}$ до $4.9M_{\odot}/L_{\odot}$). Медианное отношение вириальная масса/светимость для триплетов МС равно $35M_{\odot}/L_{\odot}$, что находится в хорошем согласии с оценками $\langle M_{\text{vir}}/L \rangle = 31M_{\odot}/L_{\odot}$ и $\langle M_{\text{orb}}/L \rangle = 34M_{\odot}/L_{\odot}$ для эталонной выборки близких групп Местного объема (Karachentsev I. D. *The Local Group and Other Neighboring Galaxy Groups* // *Astron. J.*—2005.—129, N 1.—P. 178—188). Медианное отношение вириальной массы к сумме индивидуальных масс компонентов $\{M_{\text{vir}}/\sum M_{25}\}_{1/2}$ для триплетов МС равно семи. Предполагается, что учет невидимого вещества, находящегося в индивидуальных гало больших размеров, может снять противоречие между вириальной и суммарной массой триплетов МС. Триплеты других выборок показывают существенное расхождение между вириальной и суммарной массами (10—40 раз), не объяснимое эффектами селекции, связанными с глубиной либо с морфологическим составом выборки.

ТРИПЛЕТИ ГАЛАКТИК МІСЦЕВОГО НАДСКУПЧЕННЯ. 2. ВІРІАЛЬНІ ТА СУМАРНІ МАСИ, Караченцева В. Ю., Мельник О. В., Вавилова І. Б., Макаров Д. І. — Для компонентів 173 триплетів Місцевого надскупчення (МН) отримано оцінки індивідуальних мас, що містяться в межах стандартного радіуса, та відношень M_{25}/L . Медіанне значення $M_{25}/L = 4.8M_{\odot}/L_{\odot}$ за всіма типами галактик суттєво не відрізняється від значень, отриманих для компонентів триплетів інших виборок та ізолюваних галактик (від $4.2M_{\odot}/L_{\odot}$ до $4.9M_{\odot}/L_{\odot}$). Медіанне відношення віриальна маса/світність для триплетів МН дорівнює $35M_{\odot}/L_{\odot}$, що добре узгоджується з оцінками $\langle M_{\text{vir}}/L \rangle = 31M_{\odot}/L_{\odot}$ та $\langle M_{\text{orb}}/L \rangle = 34M_{\odot}/L_{\odot}$ для

еталонної вибірки близьких груп Міццевого об'єму (Karachentsev I. D. *The Local Group and Other Neighboring Galaxy Groups* // *Astron. J.*—2005.—129, N 1.—P. 178—188). Медіанне відношення віриальної маси до суми індивідуальних мас компонентів $\{M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}\}_{1/2}$ для триплетів МН дорівнює семі. Висловлюється припущення, що врахування невидимої речовини, яка знаходиться в індивідуальних гало більших розмірів, може зняти протиріччя між віриальною та сумарною масою триплетів МН. Триплети інших вибірок показують суттєву розбіжність між віриальною та сумарною масами (10—40 разів), яку не можна пояснити ефектами селекції, пов'язаними з глибиною чи з морфологічним складом вибірки.

GALAXY TRIPLET IN THE LOCAL SUPERCLUSTER. 2. VIRIAL MASSES AND SUM OF INDIVIDUAL MASSES, by Karachentseva V. E., Melnyk O. V., Vavilova I. B., Makarov D. I. — For the components of 173 triplets of the Local Supercluster (LS) we derived estimates of individual masses which lie within the standard radius and ratios M_{25}/L . The median value of $M_{25}/L = 4.8M_{\odot}/L_{\odot}$ by all galaxy types does not differ significantly from the values obtained for the triplet components of other samples and samples of isolated galaxies (from $4.2M_{\odot}/L_{\odot}$ to $4.9M_{\odot}/L_{\odot}$). The median value of virial mass-to-luminosity ratio for the LS triplets is equal to $35M_{\odot}/L_{\odot}$, which is in good agreement with the estimates $\langle M_{\text{vir}}/L \rangle = 31M_{\odot}/L_{\odot}$ and $\langle M_{\text{orb}}/L \rangle = 34M_{\odot}/L_{\odot}$ obtained for the nearest groups of the Local Volume (Karachentsev I. D. *The Local Group and Other Neighboring Galaxy Groups* // *Astron. J.*—2005.—129, N 1.—P. 178—188). Median ratio of virial mass to the sum of individual masses of components $\{M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}\}_{1/2}$ for the LS triplets is equal to 7. It is suggested that hypothesis on hidden mass located in the large individual halos can remove the discrepancy between the values of virial mass and sum of individual masses. Another samples of triplets show a significant difference between the values of virial mass and sum of individual masses (10—40 times). This difference explained by the selection effects connected with distance or by morphological composition of samples.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о наличии скрытого вещества в тройных системах галактик как представителях малонаселенных групп остается актуальным по многим причинам [18]. Вклад скрытой материи в общую массу триплета характеризуется отношением масса/светимость M/L . Масса триплета может определяться из анализа кинематических параметров (использование теоремы вириала), а также как сумма полных масс компонентов. Оба способа имеют существенные недостатки. Как следует, например, из работ [1, 2, 10], достоверная вириальная оценка массы отдельного триплета невозможна из-за динамической нестационарности триплетов и эффекта проекции. Разброс индивидуальных оценок M_{vir} и M_{vir}/L для физических триплетов может составлять несколько порядков. Поэтому для описания свойств триплетов используются медианные значения вириальных масс и других характеристик, взятые по всему ансамблю. В предыдущей работе [3] мы получили медианную оценку $M_{\text{vir}}/L = 35M_{\odot}/L_{\odot}$ для 176 триплетов Местного сверхскопления (МС). Для других выборок физических триплетов эта величина изменяется от 32 до 158 в солнечных единицах, что свидетельствует о значительном вкладе скрытого вещества в массу триплетов.

Надежность второго способа оценки массы триплета зависит от того, насколько полно учитывается темная материя в гало отдельных галактик. Динамические оценки отношения M/L , основанные на измерениях кривых

вращения у отдельных галактик, изменяются от $5M_{\odot}/L_{\odot}$ для нормальных галактик, до $75M_{\odot}/L_{\odot}$ для карликовых галактик низкой поверхностной яркости [14]. Таким образом, необходимо значительное количество темной материи, чтобы объяснить плоские кривые вращения, наблюдаемые вне оптического диска. Изучая движения отдельных звезд в нескольких сфероидалных карликах Местной группы, Фабер и Лин (1983 г.) определили, что $M/L \approx 300M_{\odot}/L_{\odot}$. Перечисленные результаты рассматриваются при построении различных моделей темного гало вокруг галактики (см., например, [22]).

Один из наиболее обсуждаемых вопросов: где именно в малых группах локализуется скрытая масса — в протяженных гало отдельных галактик либо в объеме всей системы [9]. В. А. Минева [11] двумя независимыми методами рассчитала индивидуальные значения отношения массы к светимости для 39 компонентов изолированных триплетов из списка [7] и пришла к выводу, что поскольку среднее значение составило $M_{\text{ind}}/L_{\text{ind}} = (4.5 \pm 0.6)M_{\odot}/L_{\odot}$, то для компонентов этих триплетов в пределах a_{25} значительного количества скрытой массы нет. И. Д. Караченцев [8] определил, что среднее значение индивидуальных масс 227 галактик в парах составляет $M_{\text{ind}}/L_{\text{ind}} = (7.3 \pm 0.4)M_{\odot}/L_{\odot}$, а для изолированных галактик $M_{\text{ind}}/L_{\text{ind}} = (7.0 \pm 1.0)M_{\odot}/L_{\odot}$. Для выборки 286 пар отношение орбитальной массы к светимости равно $M/L = (7.8 \pm 0.7)M_{\odot}/L_{\odot}$. Сделан вывод, что практически вся масса галактик сосредоточена внутри их стандартных оптических границ a_{25} , а для объяснения плоских кривых вращения галактик достаточно предположения о наличии у них мини-корон с полной массой, в 1.5—2 раза большей, чем видимая масса галактики в пределах ее стандартного радиуса [8].

В работе [1] предложен метод статистической оценки динамических масс малых групп галактик и проверен на выборке 46 вероятно физических (компактных) триплетов [6, 7]. Метод модельных каталогов позволил сделать статистическую оценку скрытой массы в объеме триплета, равную приблизительно $M_0 = 5 M_T$, где M_T — суммарная масса компонентов. Этот метод был использован в работе [4] для построения динамических моделей Широких тройных систем галактик [12]. Статистическая оценка полной массы типичного Широкого триплета дает для численной модели индивидуальных гало галактик значение $M \approx 9 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ и для модели общего гало $M \approx 4 \cdot 10^{12} M_{\odot}$. В работе [4] считается, что расхождения с наблюдениями несколько больше для модели общей короны, но они не так велики, чтобы можно было определенно предпочесть ту или другую модель.

Наблюдательные данные о максимальной скорости V_{max} вращения галактики, представленные в базе данных LEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr>), позволяют определить индивидуальные массы в пределах радиуса a_{25} для большого количества галактик. Ниже мы используем взятые из LEDA значения V_{max} для определения масс M_{25} изолированных галактик из каталога [5] и некластеризованных, «изолированных», галактик МС. Эти результаты, представленные в зависимости от морфологического типа галактики, позволяют уточнить стандартные отношения $M/L = (4 \dots 6)M_{\odot}/L_{\odot}$, принятые в работах [2, 10].

Мы также рассчитали массы компонентов тройных систем галактик МС, Широких триплетов, триплетов Талли и объединенной выборки физических Северных и Южных триплетов. Полученные данные позволили сопоставить вириальные массы триплетов и суммарные массы их компонентов для всех выборок.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МАССЫ И ОТНОШЕНИЕ МАССА/СВЕТИМОСТЬ

Наиболее известным способом определения индивидуальных масс галактик в пределах данного радиуса является вычисление массы по ширине линии нейтрального водорода W_{50} (или по максимуму скорости вращения V_{\max}). Данные о лучевых скоростях V_{h} , ширине линии нейтрального водорода W_{50} , морфологическом типе галактик T , Галактическом поглощении, угловых диаметрах a и b , видимых звездных величинах B_T были взяты из баз данных LEDA и NED. Недостающие характеристики T , a , b , B_T были определены по картам обзоров POSS-I, ESO/SERC либо по изображениям DSS (<http://archive.eso.org/dss/dss>).

Масса галактики внутри стандартного скорректированного диаметра a_{25} рассчитывалась согласно [20]:

$$\lg(M_{25}/M_{\odot}) = 2\lg V_{\max} + \lg a_{25}^c + \lg(V_{\text{LG}}/H_0) + 4.52, \quad (1)$$

$$\lg a_{25}^c = \lg a_{25} - 0.2\lg(a/b) + 0.09a_g, \quad (2)$$

где $V_{\max} = W_{50}/(2 \sin i)$ — максимальная скорость вращения галактики, V_{LG} — гелиоцентрическая лучевая скорость галактики, скорректированная за движение Солнца согласно [21]; значение постоянной Хаббла принято равным $H_0 = 75$ км/с/Мпк, W_{50} — ширина линии H I на уровне 50 %, i — угол наклона галактики к лучу зрения; $\sin^2 i = [1 - (b/a)^2]/[1 - (b/a)_0^2]$, b , a — малый и большой диаметр галактики, a_{25}^c — угловой диаметр галактики, скорректированный за Галактическое поглощение.

Значение $(b/a)_0$ зависит от морфологического типа галактики T , выраженного в цифровой шкале де Вокулера [13]:

$$(b/a)_0 = 0.07 \text{ для } T = 6 \text{ и } 7,$$

$$(b/a)_0 = 0.12 \text{ для } T = 5 \text{ и } 8,$$

$$(b/a)_0 = 0.18 \text{ для } T = 4 \text{ и } 9.$$

Для остальных морфологических типов $(b/a)_0 = 0.20$.

Отметим, что для галактик, видимых анфас, для которых $b \approx a$, было принято значение $a/b = 1.2$, чтобы избежать заведомо нереальных значений V_{\max} . Доля таких галактик в наших выборках составляет не более 3 %.

Светимость каждой галактики (в солнечных единицах) рассчитывалась по формуле:

$$\lg(L) = 2\lg(V_{\text{LG}}/H_0) - 0.4[B_T - (a_g + a_1)] + 12.16, \quad (3)$$

где полная B -величина B_T , поправка a_g за поглощение в нашей Галактике и поправка a_1 за внутреннее поглощение галактики взяты из LEDA.

Для того чтобы сравнить индивидуальные значения масс компонентов триплетов с индивидуальными значениями масс изолированных галактик, мы использовали две выборки: изолированные галактики каталога В. Е. Караченцевой [5] (КИГ) и некластеризованные галактики Местного сверхскопления (ИГ МС).

Каталог КИГ [5] составлен на основе Паломарского атласа неба и содержит 1051 изолированную галактику с видимыми величинами $m \leq 15.7$ и склонениями $\delta > -3^\circ$. Галактика КИГ считалась изолированной, если все соседние с угловыми диаметрами a_1 находились на расстоянии x_{1i} не ближе $20a_1$, т. е. выполняются два условия: $x_{1i} \geq 20a_1$ и $1/4a_1 \leq a_i \leq 4a_1$, где индексы «1» и «i» относятся к фиксированной и соседним галактикам соответственно. Здесь мы рассматриваем 482 галактики КИГ с известными

лучевыми скоростями и ширинами линии H I W_{50} , а также 396 галактик без измеренных величин W_{50} , но с известными лучевыми скоростями. Таким образом, для определения масс было использовано 878 галактик, т. е. 87 % объектов каталога КИГ.

Выборка некластеризованных галактик MC с параметром $\kappa > 30$ («строго» изолированные*) составляет 1147 объектов, из них 743 имеют оценки ширины линии W_{50} . Отметим, что каталог КИГ составлен как выборка, ограниченная по видимой звездной величине, а выборка ИГ MC ограничена по объему.

В табл. 1 представлены медианные значения масс M_{25} , светимостей L и отношения масса/светимость M_{25}/L (в солнечных единицах) для 482 изолированных КИГ галактик в зависимости от морфологического типа галактики. Указано также число галактик N и доля галактик данного типа в выборке. Затем медианные значения M_{25}/L данного типа были использованы для расчета тех же характеристик для всех галактик КИГ с известными лучевыми скоростями.

Видно, что значительное увеличение объема выборки мало изменило медианы значений $\lg M_{25}$ и $\lg L$, а медианы отношений M_{25}/L совпадают. Среди изолированных галактик КИГ доля ранних типов E + S0 составляет 18 %, карликовых — 5 %. Наблюдается уменьшение в три раза значений $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ от ранних к поздним типам; по всем типам медиана равна $4.3M_{\odot}/L_{\odot}$.

Таким же образом мы определили медианные характеристики для ИГ MC, а также для галактик из выборки триплетов MC (табл. 1).

Для некластеризованных галактик MC не наблюдается зависимости $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ от типа (исключение — галактики E + S0). Медианное значение $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ по всем типам составляет $4.9M_{\odot}/L_{\odot}$, что мало отличается от величины $4.3M_{\odot}/L_{\odot}$, полученных для изолированных галактик КИГ.

Далее в табл. 2 приводятся аналогичные медианные характеристики компонентов триплетов из выборок Северных и Южных, Широких и триплетов Талли.

Из сравнения результатов, представленных в табл. 1 и 2, видно, что расширение выборок триплетов мало изменяет медианные оценки M_{25} , L и оставляет стабильными отношения M_{25}/L для разных типов. Медианы значений M_{25}/L по всем типам галактик изменяются несущественно.

В целом все выборки триплетов демонстрируют уменьшение медианных значений M_{25}/L при переходе от ранних типов галактик к поздним. У триплетов MC контраст между E + S0 и Sm + Ig выражен несколько слабее (1.6 раза), чем у триплетов Талли (2.3) и Широких триплетов (2.7). Самый большой контраст (4.3) наблюдается для галактик Северных и Южных триплетов. Компоненты тройных галактик из разных выборок триплетов по медианным значениям M_{25}/L мало отличаются от изолированных, одиночных галактик, для которых медианы M_{25}/L составляют $(4.3...4.9)M_{\odot}/L_{\odot}$.

Рассмотрим функции светимости и функции масс галактик из выборок табл. 1, 2. Для корректности сравнения галактики объединены в два блока по три выборки: на рис. 1 представлены выборки, ограниченные по объему (ИГ MC, компоненты триплетов MC и триплетов Талли), а на рис. 2 —

* В алгоритме [17] параметром κ задается отношение полной массы галактики к ее массе в пределах a_{25} . Для всех галактик $\kappa = 3$, при этом доля некластеризованных галактик составляет 45 % от общего числа. Если увеличивать значение κ и заново кластеризовать галактики, то доля некластеризованных уменьшается, и при $\kappa = 30$ составляет всего 17 %. Таким образом, «строго» изолированной является галактика, если при $\kappa > 30$ она все еще остается несвязанной.

Таблица 1. Медианные отношения масса/светимость для галактик из выборок КИГ, ИГ МС и триплетов МС

Тип	N	N/ΣN, %	$\lg M_{25}/M_{\odot}$	$\lg L/L_{\odot}$	$(M_{25}/L)/(M_{\odot}/L_{\odot})$
Галактики КИГ с известными W_{50}					
E + S0	22	5	10.79	9.89	8.1
Sa	42	9	11.04	10.17	6.9
Sb	127	26	10.94	10.35	4.3
Sc	189	39	10.66	10.17	3.4
Sd	61	12	10.38	9.62	4.3
Sm + Irr	41	9	9.66	9.18	2.7
Все типы	482	100	10.70	10.14	4.1
Все галактики КИГ					
E + S0	155	18	11.03	10.12	8.1
Sa	74	8	11.01	10.17	6.9
Sb	179	21	10.95	10.31	4.3
Sc	358	41	10.73	10.20	3.4
Sd	65	7	10.29	9.65	4.3
Sm + Irr	47	5	9.69	9.26	2.7
Все типы	878	100	10.83	10.16	4.3
Галактики ИГ МС с известными W_{50}					
E + S0	24	3	9.51	8.94	3.9
Sa	27	4	10.22	9.46	5.9
Sb	53	7	10.47	9.80	4.3
Sc	128	17	10.24	9.54	4.3
Sd	175	24	9.93	9.17	5.2
Sm + Irr	336	45	9.15	8.35	5.6
Все типы	743	100	9.71	8.98	4.9
Все галактики ИГ МС					
E + S0	126	11	9.73	9.14	3.9
Sa	49	4	10.11	9.34	5.9
Sb	80	7	10.31	9.68	4.3
Sc	191	17	10.02	9.38	4.3
Sd	234	21	9.81	9.10	5.2
Sm + Irr	467	40	9.09	8.35	5.6
Все типы	1147	100	9.66	8.96	4.9
Триплеты МС с известными W_{50}					
E+S0	24	7	10.59	9.68	7.5
Sa	31	9	10.73	10.04	5.9
Sb	57	15	10.78	10.16	4.6
Sc	97	27	10.44	9.86	3.9
Sd	62	17	9.95	9.46	3.6
Sm+Irr	93	25	9.58	8.90	4.8
Все типы	364	100	10.21	9.63	4.5
Все триплеты МС					
E + S0	95	18	10.54	9.66	7.5
Sa	49	9	10.61	9.84	5.9
Sb	69	13	10.68	10.01	4.6
Sc	112	22	10.43	9.84	3.9
Sd	77	15	9.95	9.40	3.6
Sm + Irr	117	23	9.58	8.90	4.8
Все типы	519	100	10.22	9.59	4.8

ограниченные по видимой звездной величине (галактики КИГ, компоненты Северных и Южных триплетов, Широких триплетов).

На рис. 1, а представлено распределение галактик первого блока по светимостям. Компоненты триплетов и изолированные галактики МС имеют более широкий диапазон светимостей и более высокую долю карликов, чем триплеты Талли. Это обусловлено тем, что при формировании групп в

Таблица 2. Медианные значения отношений масса/светимость для галактик с известными V_n из выборок Северных и Южных, Широких и триплетов Талли

Тип	N	N/ΣN, %	$\lg M_{25}/M_{\odot}$	$\lg L/L_{\odot}$	$(M_{25}/L)/(M_{\odot}/L_{\odot})$
Северные и Южные триплеты					
E + S0	68	27	10.87	10.01	7.3
Sa	48	19	10.76	10.00	5.8
Sb	55	23	10.90	10.28	4.2
Sc	48	19	10.52	10.00	3.3
Sd	12	5	10.22	10.02	1.6
Sm + Irr	18	7	9.97	9.74	1.7
Все типы	249	100	10.75	10.07	4.2
Широкие триплеты					
E + S0	29	26	10.78	9.88	7.9
Sa	9	8	10.69	9.92	5.8
Sb	26	24	10.86	10.17	4.9
Sc	13	12	10.70	10.11	3.9
Sd	16	14	9.87	9.52	2.2
Sm + Irr	18	16	9.86	9.46	2.5
Все типы	111	100	10.57	9.85	4.9
Триплеты Талли					
E + S0	39	23	10.82	9.91	8.2
Sa	12	7	10.72	9.96	5.8
Sb	21	13	10.72	10.04	4.7
Sc	37	22	10.54	9.91	4.3
Sd	25	15	9.97	9.47	3.2
Sm + Irr	34	20	9.60	9.08	3.3
Все типы	168	100	10.47	9.73	4.3

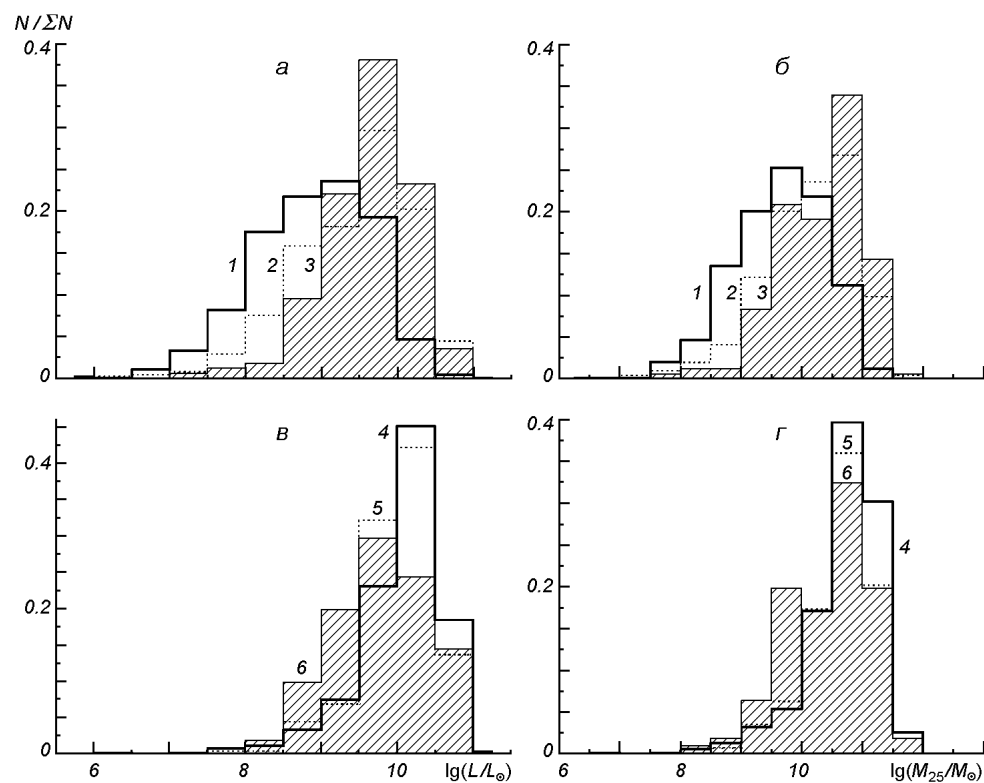


Рис. 1. Дифференциальные функции светимостей (а, б) и масс (в, г) для отдельных галактик из выборок изолированных МС (1), триплетов МС (2), триплетов Талли (3), изолированных КИГ (4), Северных и Южных триплетов (5), Широких триплетов (6)

исходную выборку Талли [24] включались галактики с $M_B < -17$. Наличие нескольких более слабых галактик Талли на графике объясняется использованием новых оценок B_T . Более интересно различие функции светимости у ИГ МС и триплетов МС. По-видимому, критерий связанности [17], использованный при создании каталога групп МС, отбрасывает значительную долю карликовых галактик. Напомним, что в нашей работе учтены только «строго» изолированные галактики МС.

На рис. 1, б представлены функции масс для тех же выборок, что и на рис. 1, а. Изолированные галактики МС — наименее массивные галактики, их распределение по массам сильнее отличается от соответствующих распределений для триплетов Талли и МС, чем последние между собой.

На рис. 1, в представлены функции светимости для галактик из выборок второго блока. Распределения выглядят более компактно по сравнению с рис. 1, а. Функции светимости галактик КИГ, Северных и Южных триплетов практически одинаковы. Распределение для галактик из Широких триплетов по сравнению с двумя предыдущими показывает недобор ярких галактик. Это может объясняться разными условиями формирования выборок: предельная звездная величина компонентов Широких триплетов равна 14.5^m , а галактик КИГ, Северных и Южных триплетов — 15.7^m . Широкие триплеты также отличаются глубиной выборки по сравнению с КИГ, Северными и Южными триплетами: медианные лучевые скорости КИГ, Северных и Южных триплетов, Широких триплетов равны соответственно 5960, 4690 и 1943 км/с.

На рис. 1, г приведены функции масс галактик из выборок второго блока. И здесь распределение по массам у компонентов Северных и Южных триплетов и КИГ очень близки, а Широкие триплеты существенно отличаются от них недостатком массивных галактик.

Медианные значения $\lg M_{25}$ и $\lg L$ для всех галактик из рассмотренных выборок приведены в табл. 1 и 2.

Результаты, полученные в этом разделе, показывают, что значения медианного отношения M_{25}/L для галактик, входящих в триплеты, и для изолированных галактик практически одинаковы и составляют 4-5 солнечных единиц. Иными словами, принадлежность галактики к тесной или широкой тройной системе не обуславливает отличие ее отношения масса/светимость M_{25}/L от M_{25}/L изолированной галактики того же типа. Еще раз подчеркнем, что мы сравниваем медианные значения, взятые по ансамблю, а индивидуальные оценки имеют большой разброс.

С другой стороны, наблюдается слабое уменьшение медиан M_{25}/L от ранних морфологических типов галактик к поздним для пяти рассмотренных выборок. Для выборки ИГ МС, где доля карликов самая большая (40 %), значения $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ увеличиваются от ранних типов к поздним. Для выборок КИГ, Северных и Южных триплетов, Широких триплетов, где усредненная доля карликов составляет около 9 %, усредненная медиана равна $2.3M_{\odot}/L_{\odot}$. Для выборок ИГ МС, триплетов МС, триплетов Талли, где усредненная доля галактик самых поздних типов составляет около 28 %, соответствующая медиана $M_{25}/L \approx 4.9M_{\odot}/L_{\odot}$.

СРАВНЕНИЕ ВИРИАЛЬНОЙ МАССЫ ТРИПЛЕТА С ЕГО СУММАРНОЙ МАССОЙ ДЛЯ РАЗНЫХ ВЫБОРОК

Схема расчета вириальной массы триплета и результаты вычисления M_{vir} и M_{vir}/L_{tr} для триплетов МС, Северных и Южных, Широких и триплетов Талли была приведена в работе [3]. В предыдущем разделе приведены оценки индивидуальных масс галактик — компонентов тройных систем.

Таблица 3. Медианные значения характеристик тройных систем галактик

Выборка	$\langle V_{LG} \rangle$	N_{tr}	E+S0	Sm+Irr	S_v	R_h	$\lg M_{vir}$	$\lg \Sigma M_{25}$	$\lg L_{tr}$	$\frac{M_{vir}}{L_{tr}}$	$\frac{\Sigma M_{25}}{L_{tr}}$	$\frac{M_{vir}}{\Sigma M_{25}}$
МС	2040	173	18	22	30	159	11.56	10.92	10.20	35.2	4.7	7.1
Северные и Южные	4702	83	27	7	96	54	12.30	10.75	10.07	50.2	4.8	10.0
Широкие	1940	37	26	16	66	396	12.65	11.19	10.44	173.4	4.9	40.4
Талли	1395	56	23	20	56	269	12.42	11.06	10.31	111.3	5.1	24.0

Табл. 3 содержит данные о вириальных массах и суммарных массах триплетов, вычисленных как сумма индивидуальных согласно (1), (2). Здесь рассматриваются только предполагаемые физические триплеты, у которых $S_v \leq 300$ км/с. Указаны медианные значения характеристик триплетов для разных выборок: средняя лучевая скорость триплета $\langle V_{LG} \rangle$ в км/с, число триплетов N_{tr} , процентное содержание галактик самых ранних (E + S0) и самых поздних (Sm + Irr) морфологических типов, средняя квадратичная скорость S_v в км/с, проекционный среднегармонический радиус триплета R_h в кпк, логарифм вириальной массы $\lg M_{vir}$, логарифм суммарной массы по трем компонентам $\lg \Sigma M_{25}$, логарифм суммарной светимости $\lg L_{tr}$, отношение вириальная масса/светимость M_{vir}/L_{tr} , отношение суммарной массы триплета к его суммарной светимости $\Sigma M_{25}/L_{tr}$, отношение вириальной массы к суммарной массе триплета $M_{vir}/\Sigma M_{25}$. Суммарные массы определялись для полных выборок с учетом полученных выше отношений M_{25}/L для компонентов триплетов в зависимости от морфологического типа.

Как видно из табл. 3, медианы отношений суммарной массы к суммарной светимости триплета для всех выборок практически одинаковы и равны $\{\Sigma M_{25}/L_{tr}\}_{1/2} \approx 5M_{\odot}/L_{\odot}$. Это не сильно отличается от полученных выше значений $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ как для отдельных компонентов триплетов, так и для некластеризованных, «изолированных», галактик. Отметим также, что эти величины не зависят от глубины выборки. У всех триплетов из всех четырех выборок суммарная масса и суммарная светимость линейно связаны соотношением $\lg(\Sigma M_{25}) = 1.01 \cdot \lg L_{tr} + 0.56$ со стандартом $SD = 0.11$ и коэффициентом корреляции $r = 0.97$. Однако значения $\{M_{vir}/\Sigma M_{25}\}_{1/2}$ для разных выборок различаются существенно. Если для согласования с вириальной массой суммарную массу надо увеличить в семь раз для триплетов МС, то для Широких триплетов это отношение составляет 40 раз, несмотря на одинаковую глубину выборок.

Расхождение между вириальной и суммарной массой триплета принято объяснять наличием неучтенных масс темных гало вокруг отдельных компонентов, наличием темной материи во всем объеме триплета либо сочетанием обоих этих факторов. Для объяснения наблюдаемых различий (табл. 3) предположим вначале самое естественное: селективность параметров, используемых для расчета масс, от расстояния.

При вычислении вириальных масс основными характеристиками являются S_v и R_h , а при вычислении индивидуальных масс — W_{50} и линейный размер галактики A_{25} . Зависимости этих характеристик от средней лучевой скорости триплета представлены в табл. 4. Приведены уравнения линейной регрессии вида $y = ax + b$, а также стандартное отклонение SD и коэффициент корреляции r .

Видно, что при вычислении вириальных масс для всех выборок триплетов эффекты селекции по расстоянию невелики, и что имеется слабая

Таблица 4. Зависимости величин S_v , R_h , W_{50} и A_{25} от средней лучевой скорости триплета V_{LG}

Выборка	a	b	SD	r
$\lg S_v = a \lg V_{LG} + b$				
МС	0.44 ± 0.11	0.01 ± 0.36	0.33	0.28
Северные и Южные	0.16 ± 0.08	0.33 ± 0.29	0.28	0.21
Широкие	-0.14 ± 0.35	2.30 ± 1.17	0.49	-0.06
Талли	0.25 ± 0.18	0.93 ± 0.56	0.26	0.18
Все	0.41 ± 0.06	0.26 ± 0.21	0.37	0.32
$\lg R_h = a \lg V_{LG} + b$				
МС	0.11 ± 0.13	1.78 ± 0.44	0.40	0.06
Северные и Южные	0.34 ± 0.11	0.53 ± 0.39	0.37	0.32
Широкие	-0.24 ± 0.31	3.27 ± 1.04	0.43	-0.12
Талли	0.37 ± 0.21	1.23 ± 0.67	0.31	0.23
Все	-0.20 ± 0.07	2.79 ± 0.25	0.45	-0.13
$\lg V_{\max} = a \lg V_{LG} + b$				
МС	0.33 ± 0.05	0.96 ± 0.16	0.23	0.32
Северные и Южные	0.23 ± 0.05	1.32 ± 0.19	0.25	0.36
Широкие	0.41 ± 0.10	0.73 ± 0.34	0.23	0.38
Талли	0.34 ± 0.09	0.98 ± 0.30	0.23	0.27
Все	0.29 ± 0.03	1.08 ± 0.09	0.23	0.34
$\lg A_{25} = a \lg V_{LG} + b$				
МС	0.69 ± 0.06	-1.18 ± 0.19	0.27	0.51
Северные и Южные	0.36 ± 0.04	0.01 ± 0.15	0.21	0.59
Широкие	0.64 ± 0.09	-0.96 ± 0.32	0.22	0.56
Талли	0.47 ± 0.08	-0.34 ± 0.25	0.20	0.42
Все	0.52 ± 0.03	-0.59 ± 0.1	0.25	0.51

корреляция V_{\max} с расстоянием ($r \approx 0.3...0.4$) и более существенная корреляция ($r \approx 0.4...0.6$) линейного размера галактики с расстоянием, т.е. селективность выборки по глубине относительно карликовых галактик. Однако эти зависимости проявляются одинаковым образом для всех выборок, независимо от глубины.

Различие в морфологическом составе выборок также не может объяснить неодинаковые величины расхождений между вириальными и суммарными массами триплетов. Это видно, например, из сравнения доли самых поздних типов галактик с оценками $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ и $\{M_{vir}/\Sigma M_{25}\}_{1/2}$ для разных выборок (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение отношения медиан M_{25}/L для компонентов тройных систем (МС, Северных и Южных триплетов, Широких и триплетов Талли) с медианами M_{25}/L изолированных галактик КИГ и МС показало, что компоненты триплетов не содержат большего количества скрытого вещества в пределах стандартного радиуса a_{25} , чем изолированные галактики. Величина $\{M_{25}/L\}_{1/2}$ составляет $(4...5)M_{\odot}/L_{\odot}$ для всех выборок и не селективна относительно глубины. Эти данные находятся в хорошем согласии с медианой индивидуальных оценок M_{25}/L для галактик Местного объема (МО), равной $3.1M_{\odot}/L_{\odot}$ [20]. Естественно, отношение суммарной массы компонентов триплета к сумме их светимостей также невелико и равно примерно $\Sigma M_{25}/L_{vir} = 5M_{\odot}/L_{\odot}$.

Результаты, полученные нами здесь и в работе [3], показывают, что ансамблевые значения $\{M_{\text{vir}}/L_{\text{tr}}\}_{1/2}$ и $\{M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}\}_{1/2}$ достаточно велики и различаются от выборки к выборке. Эти различия слабо подвержены эффектам наблюдательной селекции и не зависят от морфологического состава выборки. Для триплетов МС $\{M_{\text{vir}}/L_{\text{tr}}\}_{1/2} = 35M_{\odot}/L_{\odot}$, для Широких триплетов — $173M_{\odot}/L_{\odot}$. Этим оценкам соответствуют превышения вириальной массы над суммарной соответственно в 7 и 40 раз.

В настоящее время наиболее корректные оценки вириальных масс и отношения вириальная масса/светимость сделаны И. Д. Караченцевым [19] для близких ($R \leq 5$ Мпк) групп МО. В этой работе максимально полно учтены карликовые члены групп, а также наряду с лучевыми скоростями использованы прямые оценки расстояний до галактик. Средневзвешенные по близким группам МО значения $\langle M_{\text{vir}}/L \rangle = 31M_{\odot}/L_{\odot}$ и $\langle M_{\text{orb}}/L \rangle = 34M_{\odot}/L_{\odot}$ (разброс $(8...88)M_{\odot}/L_{\odot}$). Для этих же групп И. Д. Караченцев оценил полные массы M_{t} , используя метод «радиуса нулевой сферы» [23]. Разброс значений M_{t}/L составляет 10—40, а усредненное значение $\langle M_{\text{t}}/L \rangle = 21M_{\odot}/L_{\odot}$. Эти оценки очень хорошо согласуются между собой. С другой стороны, для галактик МО $M_{25}/L \approx 3M_{\odot}/L_{\odot}$ [20], а для групп МО $M_{\text{vir}}/L \approx (20...30)M_{\odot}/L_{\odot}$ [19].

Обращаясь к результатам табл. 3, видим, что триплеты Местного сверхскопления имеют медианное значение $M_{\text{vir}}/L_{\text{tr}} = 35M_{\odot}/L_{\odot}$, практически такое же, как для эталонных групп МО [19]. В работе [19] приводятся недавние оценки параметров темных гало для галактик поля и членов рассеянных групп, полученных в [15] и [16]. Для галактик со средней светимостью $L_{\text{B}} = 2 \cdot 10^{10}L_{\odot}$ ($H_0 = 72$ км/с/Мпк) характерное отношение M/L оценено в $41M_{\odot}/L_{\odot}$ на шкале 250 кпк. Наличие темных корон вокруг галактик, которые имеют размеры, в 5—10 раз большие, чем стандартный диаметр A_{25} , может объяснить наши оценки $M_{\text{vir}}/L_{\text{tr}}$ для триплетов МС и Северных и Южных триплетов. Однако при характерных размерах триплетов $R_{\text{h}} = 50$ —150 кпк эти индивидуальные гало должны перекрываться и занимать весь объем, занимаемый тройной системой. Что же касается триплетов Талли и Широких, то даже наличие таких мощных корон не может объяснить величины вириального избытка массы $(111...173)M_{\odot}/L_{\odot}$.

Данные табл. 3 не противоречат предположению о наличии скрытой массы, распределенной в объеме триплета [2, 4]: по четырем выборкам видно, что значения $\{M_{\text{vir}}/L_{\text{tr}}\}_{1/2}$ выше для выборок с большим R_{h} . В модели [2] есть предсказание, которое можно проверить по нашим данным, а именно, должно наблюдаться увеличение скрытой массы в объеме триплета с увеличением дисперсии масс компонентов, связанное с более далекими выбросами тел наименьших масс. Мы построили зависимость $\lg(M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25})$ от $\lg\sigma_{M_{25}}$, где $\sigma_{M_{25}}$ характеризует разброс масс компонентов в отдельном триплете. Коэффициенты линейной регрессии $\lg(M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}) = a \lg\sigma_{M_{25}} + b$ представлены в табл. 5.

Таблица 5. Значения коэффициентов линейной регрессии $\lg(M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}) = a \lg(\sigma_{M_{25}}) + b$

Выборка	a	b	SD	r
МС	-0.12 ± 0.09	1.94 ± 0.93	0.65	-0.10
Северные и Южные	-0.24 ± 0.18	3.42 ± 1.91	0.66	-0.14
Широкие	-0.40 ± 0.41	5.73 ± 4.29	1.11	-0.16
Талли	-0.66 ± 0.17	8.20 ± 1.82	0.58	-0.45
Все	-0.14 ± 0.08	2.47 ± 0.86	0.79	-0.09

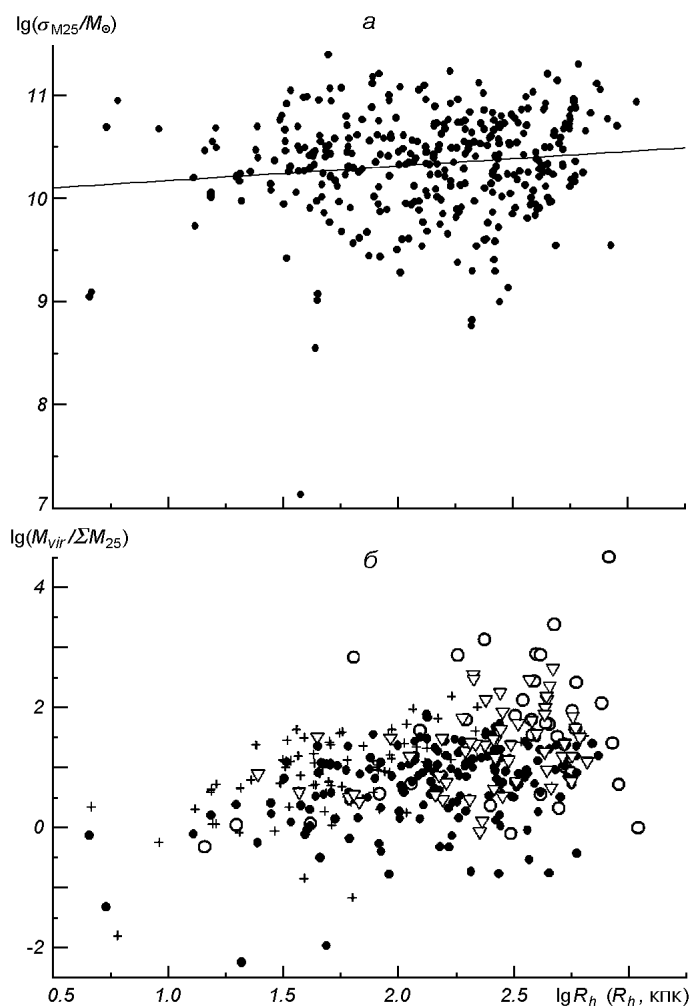


Рис. 2. Зависимость дисперсии индивидуальных масс компонентов (а) и отношения вириальной массы триплета к суммарной (б) от среднего гармонического радиуса триплета для разных выборок: кружки — Широкие триплеты, точки — триплеты МС, крестики — Северные и Южные триплеты, треугольники — триплеты Талли

Ожидаемая корреляция ни для одной выборки здесь не наблюдается. По всем выборкам не видно увеличения разброса масс компонентов с увеличением объема триплета (рис. 2, а). Линейная регрессия имеет вид $\lg \sigma_{M25} = (0.14 \pm 0.05) \lg R_h + (10.03 \pm 0.12)$. Зависимость отношения вириальной массы к суммарной от среднего гармонического радиуса триплета для разных выборок представлено на рис. 2, б. Видно, что в триплетах МС и Северных и Южных такой зависимости практически нет, а в триплетах Талли и Широких наблюдается слабое увеличение отношения вириальной массы к суммарной с увеличением среднего гармонического размера триплета.

Похоже, что модель индивидуальных гало для триплетов МС и Северных и Южных триплетов лучше объясняет наши результаты, чем модель скрытой массы, распределенной в объеме триплета. Для триплетов Талли и Широких нельзя определенно выбрать ни одну из моделей.

Известно, что формальное использование теоремы вириала для определения масс триплетов неприменимо ни к компактным, ни к широким триплетам, о чем подробно сказано в работе [4]. Надо помнить также, что

Широкие триплеты, возможно, не прошли стадию тесных сближений и, естественно, не вириализованы.

Поскольку мы вынуждены работать с ансамблевыми характеристиками, качество исходной выборки имеет определяющее значение. Представляется необходимым постановка специальных наблюдений для определения полных масс компонентов триплета за пределами нескольких их стандартных радиусов (с использованием, например, модели [25]), а также определение полных масс систем по рентгеновским наблюдениям.

ВЫВОДЫ

1. Для компонентов 173 триплетов Местного сверхскопления получены оценки индивидуальных масс, заключенных в пределах стандартного радиуса, и отношений M_{25}/L . Медианное значение $\{M_{25}/L\}_{1/2} = 4.8M_{\odot}/L_{\odot}$ по всем типам галактик и существенно не отличается от медиан, полученных для компонентов триплетов Талли ($4.3M_{\odot}/L_{\odot}$), Северных и Южных триплетов ($4.2M_{\odot}/L_{\odot}$), Широких триплетов ($4.9M_{\odot}/L_{\odot}$). Галактики из выборок сравнения (изолированные КИГ и некластеризованные МС) имеют такие же медианные величины ($4.3M_{\odot}/L_{\odot}$ и $4.9M_{\odot}/L_{\odot}$ соответственно).

2. Медианное отношение вириальная масса/светимость для триплетов МС равно $35M_{\odot}/L_{\odot}$, что находится в очень хорошем согласии с оценками $\langle M_{\text{vir}}/L \rangle$ и $\langle M_{\text{orb}}/L \rangle$ для эталонной выборки близких групп Местного объема ($31M_{\odot}/L_{\odot}$ и $34M_{\odot}/L_{\odot}$) [19]. Отношение вириальной массы к «полной» массе (определенной как суммарная масса компонентов в пределах стандартного радиуса) для триплетов МС равно семи. Предполагается, что учет невидимого вещества, находящегося в индивидуальных гало больших размеров, может снять противоречие между вириальной и суммарной массой триплетов МС.

3. Триплеты других выборок показывают существенное расхождение между вириальной и суммарной массами (от $\{M_{\text{vir}}/\Sigma M_{25}\}_{1/2} = 10$ у Северных и Южных триплетов до 40 у Широких триплетов). Эти различия нельзя объяснить эффектами селекции, связанными с глубиной либо с морфологическим составом выборки.

4. Сравнение предсказаний методов статистического моделирования динамики триплетов с нашими результатами по всем выборкам поддерживает скорее гипотезу индивидуальных гало, чем общего, сосредоточенного в объеме триплета.

5. Особенностью определения вириальных масс триплетов является невозможность точно вычислить M_{vir} для отдельной системы [1, 2, 10]. В связи с необходимостью оперировать ансамблевыми характеристиками проблема создания выборки становится определяющей. Мы считаем, что критерий отбора [17], примененный для создания каталога групп Местного сверхскопления, позволяет выделить триплеты, по своим вириальным характеристикам близкие к репрезентативным группам Местного объема [19].

Работа была поддержана грантом Ф7/267-2000 Государственного фонда фундаментальных исследований Министерства образования и науки Украины. Д. И. Макаров благодарен Российскому фонду содействия отечественной науке.

1. Аносова Ж. П., Киселева Л. Г., Орлов В. В., Чернин А. Д. О динамических оценках масс малых групп галактик // Астрон. журн.—1991.—68, № 3.—С. 449—455.
2. Аносова Ж. П., Киселева Л. Г., Орлов В. В., Чернин А. Д. Скрытая масса в триплетах галактик // Астрон. журн.—1992.—69, № 3.—С. 461—468.
3. 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.—21, № 1.—С. 3—20.
4. Долгачев В. П., Дожжилова Л. М., Чернин А. Д. Темные гало широких тройных систем галактик // Астрон. журн.—2002.—79, № 4.—С. 291—299.
 5. Караченцева В. Е. Каталог изолированных галактик // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.—1973.—№ 8.—С. 3—72.
 6. 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.
 7. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д., Щербановский А. Л. Изолированные триплеты галактик. I. Список // Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.—1979.—11.—С. 3—16.
 8. Караченцев И. Д. Двойные галактики. — М.: Наука, 1987.—248 с.
 9. Караченцев И. Д., Караченцева В. Е., Лебедев В. С. Триплеты галактик и проблема скрытой массы // Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.—1989.—27.—С. 67—82.
 10. Киселева Л. Г., Чернин А. Д. Динамика малых систем галактик // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории.—1989.—№ 60.—С. 5—22.
 11. Минева В. А. Индивидуальные массы у галактик в тройных системах // Астрон. журн.—1987.—64, № 6.—С. 1155—1160.
 12. Трофимов А. В., Чернин А. Д. Широкие триплеты галактик и проблема скрытых масс // Астрон. журн.—1995.—72, № 3.—С. 308—317.
 13. de Vaucouleurs G., de Vaucouleurs A., Corwin H. Jr., et al. Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. — New York: Springer, 1991.
 14. Giraud E. Dark matter distribution in low-density spiral and dwarf galaxies // Astron. J.—1998.—116.—P. 2177—2190.
 15. Guzik J., Seljak U. Virial masses of galactic haloes from galaxy-galaxy lensing: theoretical modelling and application to Sloan Digital Sky Survey data // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2002.—335.—P. 311—324.
 16. Hoekstra H., Yee H. K. C., Gladders M. D. Properties of Galaxy Dark Matter Halos from Weak Lensing // Astrophys. J.—2004.—606.—P. 67—77.
 17. Karachentsev I. D. Criterion for bound groups of galaxies. Application to the Local Volume // Astron. and Astrophys. Trans.—1994.—6.—P. 1—35.
 18. Karachentsev I. D. Observational properties of triple galaxies // ASP Conf. Ser.—2000.—209.—P. 1—10.
 19. Karachentsev I. D. The Local Group and Other Neighboring Galaxy Groups // Astron. J.—2005.—129, N 1.—P. 178—188.
 20. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Huchtmeier W. K., Makarov D. I. A catalog of neighboring galaxies // Astron. J.—2004.—127.—P. 2031—2068.
 21. Karachentsev I. D. Makarov D. I. The Galaxy Motion Relative to Nearby Galaxies and the Local Velocity Field // Astron. J.—1996.—111.—P. 794—803.
 22. Salucci P., Persic M. Maximal halos in high-luminosity spiral galaxies // Astron. and Astrophys.—1999.—351.—P. 442—446.
 23. Sandage A. The redshift-distance relation. IX. Perturbation of the very nearby velocity field by the mass of the Local Group // Astrophys. J.—1986.—307.—P. 1—19.
 24. Tully R. B. Nearby galaxies catalog. II. An All-Sky survey within 3000 kilometers per second // Astrophys. J.—1987.—321.—P. 280—304.
 25. van den Bosch F. C. Measuring the Virial Masses of Disk Galaxies // Proc. of the ESO Workshop held in Venice, Italy, 24—26 October 2001, p. 250.

Поступила в редакцию 25.03.05