

## ТРИПЛЕТЫ ГАЛАКТИК И ПРОБЛЕМА СКРЫТОЙ МАССЫ

*И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева, В. С. Лебедев*

Рассмотрена однородная выборка 84 тройных систем с компонентами ярче  $15^m7$ , расположенных на северном небе и удовлетворяющих условию изолированности относительно соседних в проекции галактик. Распределения триплетов по основным динамическим параметрам характеризуются следующими медианными значениями: дисперсия лучевых скоростей 133 км/с, средний гармонический радиус системы 63 кпк, абсолютная величина галактик  $-20^m38$ , время пересечения системы  $0.04 \text{ Н}^{-1}$ . При разных способах оценки медиана отношения вириальной массы к светимости составляет  $(20-30) f_{\odot}$ . Сравнение последней величины с медианами отношения массы к светимости у одиночных и двойных галактик показывает наличие вириального избытка массы в триплетах  $\sim 4$  раз. Отношение масса / светимость почти не зависит от линейного размера тройной системы и морфологического типа ее компонентов. Отмечено, что существенную часть вириального избытка можно объяснить присутствием в выборке неизолированных тройных конфигураций, образованных фрагментами более населенных групп галактик.

We consider a homogeneous sample of 84 triple systems of galaxies with components brighter than  $15^m7$ , located at the northern sky and satisfying the isolateness criterion in respect to neighbouring galaxies in projection. Triplets' distribution according to basic dynamic parameters have such median values: a radial velocity dispersion — 133 km/s, mean — harmonic radius — 63 kpc, an absolute magnitude of galaxies —  $-20^m38$ , a crossing time —  $0.04 \text{ Н}^{-1}$ . Under different ways of estimations the median of mass-to-luminosity ratio consists  $(20-30) f_{\odot}$ .

A comparison of the last value with ones for single and binary galaxies shows a presence of a virial mass excess for triplets  $\sim 4$  times. The mass-to-luminosity ratio does not correlate practically with a linear size of a triplet or with a morphological type of its components.

We note, that an essential part of the virial excess may be explained by the presence of nonisolated triple configurations in the sample, which are produced by debris of more populated groups of galaxies.

**1. Введение.** Если сравнить недавний обзор по проблеме темной материи во Вселенной (Тримбл [1]) с предшествующим обзором на эту тему (Фабер, Галлахер [2]), то легко увидеть следующие тенденции.

Предположение о том, что на достаточно больших ( $l > 50$  кпк) масштабах скрытое вещество во Вселенной преобладает над видимым, становится все более популярным. Значительную роль здесь сыграло появление инфляционных космологических теорий. Что касается наблюдательных аргументов, то их количество и убедительность тем выше, чем больше масштаб или населенность системы галактик, которая рассматривается. Однако представления о природе темной материи и характере ее распределения по-прежнему остаются на весьма примитивном уровне. Наименее надежными выглядят свидетельства скрытой массы в системах галактик малой кратности. Согласно Караченцеву [3], совокупность наблюдательных данных по самой многочисленной ( $n \approx 600$ ) и однородной выборке двойных галактик можно объяснить вообще, не привлекая гипотезы о наличии там скрытого вещества на шкале 10—200 кпк.

Из этого ясна актуальность изучения систем галактик малой кратности и в их числе тройных систем. Первая и, насколько нам известно, пока единственная попытка систематического исследования триплетов галактик была предпринята Караченцевой и др. [4]. К видимому распределению галактик ярче  $15^m7$  применялся критерий локальной изолированности. Три галактики считались образующими изолированную систему, если «значимые» соседи отстояли от них по крайней мере втрое дальше, чем компоненты триплета друг от друга. Под значимыми соседями подразумевались окрестные галактики, чьи угловые

диаметры отличались не более чем в 2 раза по отношению к диаметру члена триплета. Такое условие обособленности выделяло системы с десятикратным и выше избытком поверхностной плотности числа галактик над средним фоном.

Если сопоставить критерий изолированности триплета с аналогичным критерием двойной системы (Караченцев [5]), то для тройных галактик он выглядит не столь жестким (зона избегания вокруг пары превышала 5 взаимных расстояний ее компонентов). Тем не менее среди 27 841 галактики северного неба ярче 15<sup>m</sup>7 условию изолированности удовлетворило всего 84 триплета, что в 7 раз меньше числа изолированных пар.

Важно отметить, что принадлежность галактики к тройной системе определялась безотносительно к значению ее лучевой скорости. Поэтому система могла быть изолированной только в проекции на небе, но не в реальном трехмерном пространстве.

Программа измерения лучевых скоростей у тройных галактик выполнялась преимущественно на 6-м телескопе САО АН СССР. Полученные результаты совместно с данными, собранными из литературы, мы систематизировали в предыдущей статье (Караченцева и др. [4]). Там представлена полная сводка лучевых скоростей для тройных галактик, данные об угловых диаметрах и видимых величинах, преобразованные к стандартной системе изофотных диаметров ( $a_{25}$ ) и звездных величин Холмберга ( $m_{Ho}^c$ ), а также более детальные определения морфологических типов галактик. Ниже мы рассмотрим, как распределены тройные системы по линейному размеру, дисперсии скоростей, светимости и другим характеристикам, позволяющим судить о динамических условиях в триплетах галактик.

**2. Основные параметры.** При описании тройных галактик мы будем использовать два взаимно дополняющих подхода.

Триплет как единая динамическая система. Его характеризуют следующие величины:

— средняя лучевая скорость центроида

$$\langle v \rangle = \sum_{k=1}^3 v_k / 3, \quad (1)$$

где  $v_k$  — лучевая скорость компонента, исправленная за движение Солнца по стандартной формуле Вокулера и др. [7];

— средняя квадратичная скорость галактик относительно центра

$$s_v = \left[ \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (v_k - \langle v \rangle)^2 \right]^{1/2}; \quad (2)$$

— проекция взаимного расстояния между компонентами

$$r_{ik} = x_{ik} \langle v \rangle H^{-1}, \quad (3)$$

где  $x_{ik}$  — взаимные угловые расстояния, а  $H$  — постоянная Хаббла, значение которой мы принимаем равным 75 км/с·Мпк;

— среднее гармоническое расстояние в проекции

$$r_H = \left[ \frac{1}{3} \sum_{i,k} r_{ik}^{-1} \right]^{-1}; \quad (4)$$

— светимость галактики в единицах светимости Солнца

$$L_k = \text{dex}[0.4(5.40 - M_k)], \quad (5)$$

где абсолютная величина  $M_k$  вычислена по средней лучевой скорости  $\langle v \rangle$  и видимой величине  $m_{Ho}^c$  в системе Холмберга с поправками за поглощение в нашей Галактике, космологическое ослабление света и внутреннее поглощение в рассматриваемой галактике;

— отношение вириальной массы триплета к его суммарной светимости

$$f = 3\pi\gamma^{-1}n(n-1)^{-1}s_v^2r_n / \left(\sum_k L_k\right), \quad (6)$$

где  $\gamma$  — постоянная тяготения;  $n=3$ , а  $3\pi$  — средний фактор проекции согласно Лимберу и Матью [8];

— статистически несмещенная оценка отношения вириальной массы к светимости

$$f^c = f [1 - 2\sigma_v^2/3s_v^2], \quad (7)$$

где  $\sigma_v$  — средняя квадратичная ошибка измерения лучевых скоростей у членов триплета;

— безразмерное «время пересечения» системы

$$\tau = 2Hr_n/s_v, \quad (8)$$

выраженное в единицах хаббловского времени  $H^{-1}$ .

Интегральные характеристики каждого триплета мы представляем в табл. 1. Исходными параметрами при их вычислении служили редуцированные данные из сводки [6].\* Аналогичные расчеты мы повторили в системе центра масс триплета, где каждой лучевой скорости галактики был придан вес, пропорциональный ее светимости. Различия между величинами без учета и с учетом взвешивания по светимости оказались в большинстве случаев несущественными.

Тройная система как совокупность пар. Предыдущая оценка массы триплета основывалась на предположении, что отношение кинетической энергии системы к модулю потенциальной  $k=2T/|U|$  не меняется во времени и равно единице. Моделируя эволюцию тройных систем, Аносова и Орлов [9] показали, что вириальный коэффициент  $k$  испытывает значительные флуктуации  $\langle \Delta k^2/k^2 \rangle \approx 1$ . Дополнительную неопределенность в вириальную оценку массы привносят факторы проекции. Как отметили Бакол и Тремейн [10], оценка  $f$  из выражения (6) не является статистически состоятельной. Поэтому они предложили определять  $f$  не по среднему гармоническому  $\langle r_{ik}^{-1} \rangle$ , а по средней величине  $\langle (v_i - v_k)^2 r_{ik} \rangle$ . Такой подход соответствует представлению триплета в виде совокупности галактик-спутников, обращающихся вокруг главного (наиболее массивного) компонента.

Формально расчленив триплет на три пары галактик и предполагая для определенности круговой характер движений в этих парах, имеем оценку отношения орбитальной массы к светимости

$$f_{ik} = [32/(3\pi)] \gamma^{-1} r_{ik} (v_i - v_k)^2 / (L_i + L_k), \quad (9)$$

а также несмещенную оценку с поправкой за ошибки измерения лучевых скоростей

$$f_{ik}^c = f_{ik} [1 - (\sigma_i^2 + \sigma_k^2)/(v_i - v_k)^2]. \quad (10)$$

Здесь проекцию взаимного линейного расстояния между галактиками мы выражали через среднюю лучевую скорость пары

$$r_{ik} = x_{ik} H^{-1} (v_i + v_k)/2, \quad (11)$$

а светимость галактики — через ее индивидуальную лучевую скорость.\*\* Среднее значение отношения орбитальной массы к светимости  $\langle f_{ik}^c \rangle$  для каждого триплета указано в последнем столбце табл. 1.

Хотя выражение (10) содержит поправку за ошибки измерения скоростей, оно не является все же несмещенной оценкой отношения вириальной массы к светимости у триплета. Это легко видеть на примере тройной системы, где есть

\* Для триплета № 1, в который входит туманность Андромеды со спутниками, принято формальное значение средней лучевой скорости +52 км/с, соответствующее расстоянию 0.69 Мпк. Триплет № 69 в нашем списке отсутствует, поскольку он оказался одиночной пекулярной галактикой.

\*\* Эта схема редукиций и расчетов совпадала до деталей с той, которая использована при анализе каталога пар [3].

ТАБЛИЦА 1

## Интегральные характеристики триплетов

№	$\langle v_0 \rangle$ , км/с	$S_p$ , км/с	$\tau_{II}$ , км/с	$L$ , $10^{10} L_{\odot}$	$\lg \tau$	$f(f_{\odot})$	$f_{\Sigma}^e(f_{\odot})$	$\langle f_{ik}^e \rangle (f_{\odot})$
1	(52)	35	14.2	11.2	-1.22	0.5	0.5	1.3
2	5510	128	31.8	7.3	-1.43	23.4	21.2	65.0
3	4884	184	31.1	5.0	-1.60	68.9	61.4	154.
4	5519	160	31.0	8.6	-1.54	30.3	30.2	34.8
5	3471	1503	115.	14.8	-1.94	5780.	5771.	10484.
6	9240	1675	303.	13.7	-1.57	20293.	20291.	30545.
7	8913	2615	181.	16.0	-1.98	25354.	25348.	34187.
8	1444	1213	92.7	5.1	-1.94	8829.	8827.	27217.
9	5361	2325	87.8	11.7	-2.24	13308.	13307.	23161.
10	6229	667	80.8	5.7	-1.74	2084.	2079.	3111.
11	4943	49	63.7	3.4	-0.71	14.7	12.0	28.6
12	6276	93	77.4	6.8	-0.90	32.2	28.6	31.2
13	9015	4472	119.	11.7	-2.40	67082.	67081.	91074.
14	6097	36	21.6	4.2	-1.05	2.2	-0.7	-3.1
15	7335	130	56.8	6.5	-1.18	48.7	41.7	42.6
16	3882	58	133.	4.0	-0.46	36.9	31.1	34.5
17	5345	2012	63.1	3.2	-2.33	26008.	25991.	24682.
18	7061	3247	38.3	12.4	-2.75	10721.	10718.	52037.
19	7622	1453	165.	11.2	-1.77	10242.	10237.	9428.
20	4847	930	32.8	3.0	-2.28	3095.	3086.	4506.
21	4167	88	15.2	3.4	-1.59	11.6	11.1	16.3
22	1794	61	20.9	1.6	-1.29	16.1	15.4	43.7
23	1720	98	14.1	1.3	-1.67	35.3	27.4	30.3
24	7267	2691	107.	13.6	-2.23	18627.	18624.	37272.
25	1421	155	36.2	1.8	-1.46	154.	141.	147.
26	1425	54	339.	2.7	-0.03	122.	104.	112.
27	3748	3592	109.	8.3	-2.34	55841.	55839.	43579.
28	210	127	38.7	1.6	-1.34	128.	127.	128.
29	7328	1287	20.8	6.3	-2.62	1803.	1802.	2981.
30	4299	3953	159.	5.2	-2.22	158100.	158097.	206525.
31	7397	51	137.	5.3	-0.39	22.3	14.9	26.5
32	6779	803	71.2	7.4	-1.88	2036.	2032.	3278.
33	845	212	24.8	9.2	-1.76	39.7	39.3	70.0
34	7433	100	255.	13.8	-0.42	60.8	57.7	56.2
35	8040	2279	56.1	6.3	-2.42	15186.	15183.	17983.
36	7166	66	16.9	6.8	-1.42	3.6	1.1	-0.9
37	11631	7665	168.	21.3	-2.48	153527.	153520.	141128.
38	5001	164	51.8	8.1	-1.32	56.9	52.0	64.6
39	3129	60	33.2	5.4	-1.08	7.3	4.1	4.0
40	3686	4037	28.2	7.6	-2.98	19732.	19731.	100286.
41	7585	151	138.	7.6	-1.43	37.1	36.1	68.4
42	3904	96	24.1	7.1	-1.42	10.3	7.0	8.5
43	6748	125	35.7	4.1	-1.37	44.9	43.3	56.8
44	10989	130	92.5	12.5	-0.97	40.8	38.2	62.2
45	4777	98	43.2	5.1	-1.18	26.6	26.4	30.3
46	6186	137	150.	7.6	-0.78	122.	114.	122.
47	6745	94	59.8	6.3	-1.02	27.6	23.4	34.5
48	6881	53	71.1	8.1	-0.70	8.0	5.4	4.1
49	6905	147	40.5	5.2	-1.38	55.0	52.4	109.
50	2540	411	24.1	9.9	-2.06	136.	134.	143.
51	6123	136	45.6	8.9	-1.30	31.0	29.2	37.0
52	7407	8	62.8	8.6	0.07	0.1	-2.5	-2.8
53	5356	1736	90.3	4.6	-2.11	19370.	19369.	37047.
54	1622	94	32.3	4.1	-1.29	23.4	20.5	16.6
55	1535	106	33.4	2.9	-1.33	42.8	37.8	88.8
56	12863	4455	221.	20.4	-2.13	70697.	70691.	89434.
57	8532	411	102.	20.5	-1.43	276.	271.	359.
58	10045	1140	145.	17.0	-1.72	3652.	3650.	3869.
59	6954	78	63.2	4.1	-0.92	30.7	2.3	16.3
60	11213	103	134.	19.2	-0.71	24.3	21.2	53.6
61	8483	114	31.2	8.9	-1.39	14.8	12.5	11.6
62	1989	93	16.9	2.7	-1.56	17.7	15.0	140.
63	3017	1517	161.	5.9	-1.80	20741.	20736.	50629.
64	2894	178	72.3	11.3	-1.22	66.9	66.2	63.2
65	10934	1922	285.	20.6	-1.65	16773.	16753.	19546.
66	9230	326	63.5	12.7	-1.53	175.	172.	318.



ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

№	$\langle v_0 \rangle$ , км/с	$s_p$ , км/с	$r_H$ , кпк	$\frac{L_i}{10^{10} L_\odot}$	$\lg \tau$	$f (f_\odot)$	$f^c (f_\odot)$	$\langle f_{ik}^c \rangle (f_\odot)$
67	3390	40	245.	3.9	-0.09	28.2	20.9	29.4
68	4286	389	87.2	4.3	-1.47	1007.	999.	1133.
70	4189	68	81.2	3.3	-0.74	37.4	34.5	42.5
71	4841	127	135.	10.7	-0.80	66.8	65.1	70.7
72	9535	49	56.1	11.3	-0.77	3.9	0.2	0.4
73	4684	166	170.	20.9	-0.81	74.1	70.6	83.0
74	9098	210	54.2	10.0	-1.41	78.7	76.5	422.
75	7547	86	87.5	6.1	-0.82	34.2	27.0	23.3
76	9820	109	87.5	18.3	-0.92	18.6	17.4	34.7
77	11757	83	54.3	13.1	-1.01	9.3	6.1	19.6
78	5119	76	77.2	10.1	-0.82	14.6	6.1	5.4
79	6122	127	41.8	4.7	-1.31	47.6	46.3	47.0
80	717	101	164.	1.1	-0.61	504.	498.	1827.
81	4447	128	55.1	2.4	-1.19	122.	115.	196.
82	4546	26	41.7	17.0	-0.62	.5	-2.0	-4.1
83	8803	385	41.4	12.8	-1.79	158.	152.	178.
84	5561	1315	66.5	19.8	-2.12	1905.	1904.	20956.

две карликовые галактики — спутники гигантской. Разность лучевых скоростей у пары карликов, а также оценка их орбитальной массы определяются в основном потенциальным полем главного члена триплета. При низкой суммарной светимости пары ее оценка  $f_{ik}$  может оказаться существенно завышенной по сравнению с оценкой  $f$  для триплета в целом. Несмотря на это, рассмотрение тройной системы как совокупности пар хорошо дополняет собой первый подход, а в ряде случаев (проектирование одиночной галактики на пару) имеет и очевидные преимущества.

Как было упомянуто выше, критерий изолированности тройной системы галактик был выбран более мягким по сравнению с критерием пары. Поскольку, согласно данным [3], только 57 % двойных систем каталога [5] являются истинно изолированными парами, то можно ожидать, что и в нашем списке триплетов значительную часть составляют ложные тройные системы. Для проверки этого предположения мы привлекли результаты моделирования на ЭВМ видимого распределения галактик [11]. Применительно к триплетам основные итоги численного моделирования мы уже обсуждали [12]. Бегло очертим суть проведенных экспериментов. В достаточно большом объеме пространства ( $\sim 10^6$  Мпк<sup>3</sup>) генерировалось пуассоновское поле центров методом Монте-Карло. Каждому центру с вероятностью  $p_k$  сообщалась населенность  $k$  из набора значений: 1, 2, 3, 30, 1000. Распределение галактик внутри системы по координатам и проекциям скоростей определялось экспоненциальным законом с показателями  $(\sigma_r)_k$  и  $(\sigma_v)_k$ , зависящими от населенности системы.\* Индивидуальная лучевая скорость галактики состояла из суммы хаббловской скорости центра и пекулярного компонента. Далее задавались функция светимости галактик (близкая к стандартной по Шехтеру) и статистическая связь между угловыми диаметрами и звездными величинами галактик. Картина трехмерного распределения проектировалась на участок неба  $6^\circ \times 6^\circ$  и к нему применялся тот же самый критерий изолированности триплета, что и в реальном случае.

На 127 полях, имитирующих карты Паломарского атласа, среди 9433 галактик ярче  $15^m7$  была выделена 71 изолированная тройная система. Этой выборкой моделированных (М) триплетов мы воспользуемся в качестве ориентира при анализе свойств каталожных (К) триплетов. Не вдаваясь в детали, отметим два важных результата моделирования. 1. Критерий изолированности обрезает около 2/3 тройных систем, попавших в выборку ярче  $15^m7$  тремя компонентами; критерий обладает сильной избирательностью, благоприятствуя «выживанию» наиболее тесных систем. 2. Условию изолированности удовлетворяет большое

\* Конкретно для триплета ( $k=3$ ) были приняты такие параметры:  $p_3=0.15$ ,  $\sigma_r=20$  кпк,  $\sigma_v=75$  км/с. Последним двум величинам соответствуют  $\langle r_{ik}^2 \rangle^{1/2}=57$  кпк и  $s_p=106$  км/с.

число ложных тройных систем. Среди 71 М-триплета только 5 (или 7%) являются истинно физическими тройными системами; 31 триплет (44%) образован галактиками, входящими совместно в группу или скопление, а остальную часть выборки (49%) составляют оптические тройки галактик. В последней категории числятся 5 полностью оптических триплетов, когда на луче зрения в тесной проекции оказались совсем не связанные друг с другом объекты, и 30 «полуоптических» тройных, т. е. пара членов одной системы + фоновая галактика. К опыту численного моделирования и разграничению триплетов на указанные категории мы будем адресоваться далее довольно часто.

Рассмотрим характер распределения тройных галактик по взаимным лучевым скоростям. Эти данные представлены на рис. 1. В левом верхнем углу его показана зависимость числа каталожных триплетов от величины средней квад-

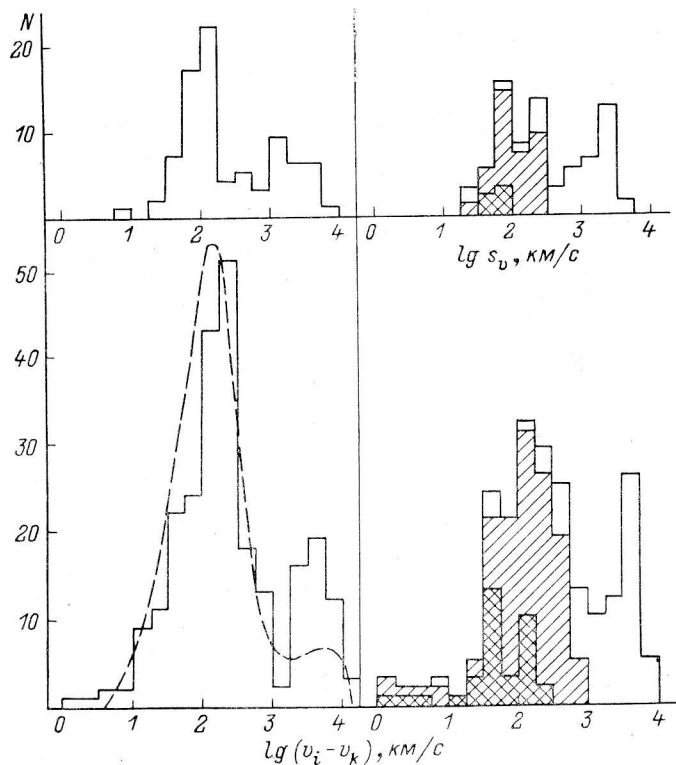


Рис. 1. Распределение тройных галактик по разности лучевых скоростей (внизу) и средней квадратичной скорости относительно центра (вверху).

Каталожные триплеты — слева, моделированные — справа. Двойной штриховкой отмечены физические системы, одинарной — неизолрированные члены групп и скоплений. Штриховая кривая отражает распределение по разности скоростей у 585 изолированных пар.

ратичной пекулярной скорости, определяемой выражением (2). Чтобы охватить весь широкий диапазон значений  $s_v$ , мы использовали логарифмическую шкалу. Гистограмма в нижнем левом углу изображает распределение числа К-триплетов по разности лучевых скоростей компонентов ( $v_i - v_k$ ). Общее число парных сочетаний здесь составляет  $3.83 = 249$ . Штриховой кривой для сравнения указано распределение относительных лучевых скоростей у 585 пар каталога [5]. Правая часть рис. 1 представляет аналогичные данные для моделированных триплетов. Истинные физические триплеты отмечены двойной штриховкой, неизолрированные тройные, состоящие из членов группы или скопления, — одинарной, а оптические системы не заштрихованы.

Как видим, распределение  $N(\lg s_v)$  у К-триплетов имеет асимметричный вид. Кроме главного максимума на  $s_v \approx 100$  км/с наблюдается вторичный подъем в области  $10^3 - 10^4$  км/с. Более отчетливо эта особенность заметна на распределении разностей лучевых скоростей, которое не затушено процедурой усреднения (2). Очевидная причина вторичного пика — вклад оптических членов

тройных систем. Пары галактик из каталога [5], отобранные по более жесткому критерию изолированности, также показывают избыток случаев в данной области, но амплитуда его (см. штриховую кривую) в 2.5 раза меньше, чем у триплетов.\*

Обращаясь к правой половине рис. 1, мы можем отметить удовлетворительное соответствие между распределениями моделированных и каталожных триплетов. Двухгорбый характер распределения имеет место для обеих выборок, причем вторичный максимум целиком обусловлен случаями оптической проекции. Хотя оптические и физические триплеты слегка перекрываются, различать их не составляет большой трудности. По результатам моделирования оптические триплеты преобладают в области  $s_p > 300$  км/с или  $(v_i - v_k) > 600$  км/с.

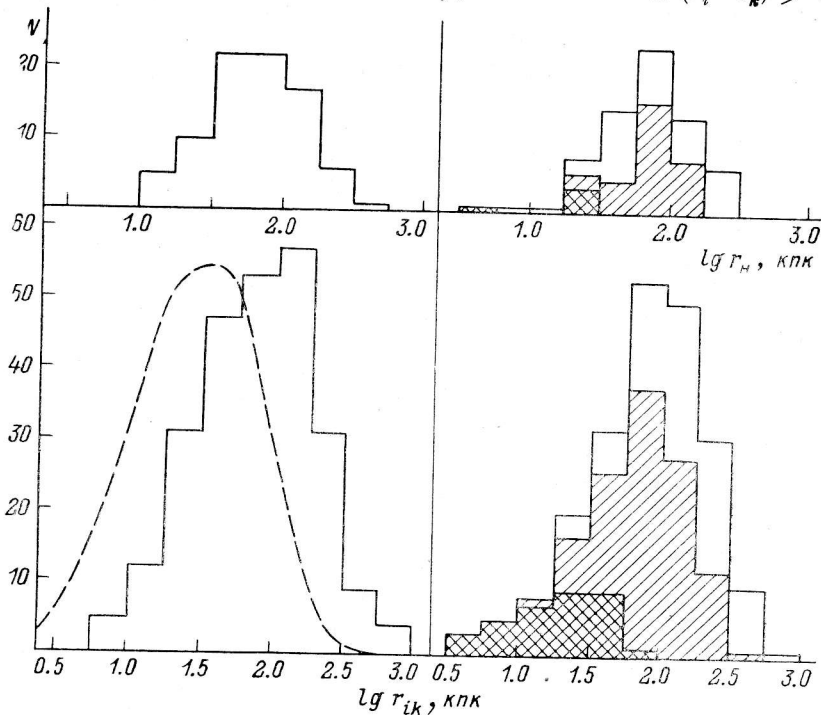


Рис. 2. Распределение тройных систем по проекции линейного расстояния между компонентами (внизу) и среднему гармоническому радиусу системы (вверху).

Штриховкой обозначены те же категории объектов, что и на рис. 1.

Иначе обстоит дело с тройными системами, члены которых принадлежат к какой-либо группе или скоплению. Степень их перекрытия с истинно изолированными триплетами настолько значительна, что мы не видим простого способа, как разделять по взаимным скоростям физические триплеты и маскирующиеся под них неизоллированные тройные конфигурации.

Разумеется, представительство и конкретные области распределения трех типов населения среди М-триплетов зависят от выбора различных параметров, использованных в процессе моделирования. Дополнительные опыты с вариацией этих параметров в достаточно широких пределах показали, однако, что общая картина не претерпевает принципиальных изменений.

У распределений случайной переменной с большим коэффициентом асимметрии величина выборочного среднего сильно зависит от одного-двух максимальных значений на хвосте выборки. Из-за этого многие авторы предпочитают пользоваться медианой распределения вместо неустойчивой оценки среднего. Последуем и мы данной традиции. Для распределения каталожных и моделированных триплетов по дисперсии лучевых скоростей имеем соответственно медианные значения 133 и 195 км/с.

\* Сообразно различию в условиях изолированности ожидаемое отношение вторичных пиков должно быть близко к  $(5/3)^2 \approx 2.8$ .

Распределения попарной разности лучевых скоростей у членов К- и М-триплетов характеризуются медианами 198 и 217 км/с. Для сравнения укажем, что у выборки 585 изолированных пар медиана заметно меньше и составляет 130 км/с.

На рис. 2 изображены распределения каталожных (слева) и моделированных триплетов по среднему гармоническому расстоянию между галактиками  $r_{\Pi}$  и проекции взаимных линейных расстояний между ними  $r_{ik}$  (внизу). Разметка разных типов М-триплетов такая же, как и на рис. 1. Штриховая кривая показывает сглаженное распределение 585 изолированных пар по проекции взаимных расстояний компонентов. Медианные значения  $\langle r_{\Pi} \rangle_{1/2}$  равны для К- и М-триплетов соответственно 63 и 76 кпк, а медианы  $\langle r_{ik} \rangle_{1/2}$ , как и следовало ожидать, несколько выше: 77 и 90 кпк. Изолированные пары (штрихи) являются в среднем заметно более тесными системами, чем пары из галактик в триплетах, медиана их распределения по проекции линейных расстояний составляет всего 30 кпк.

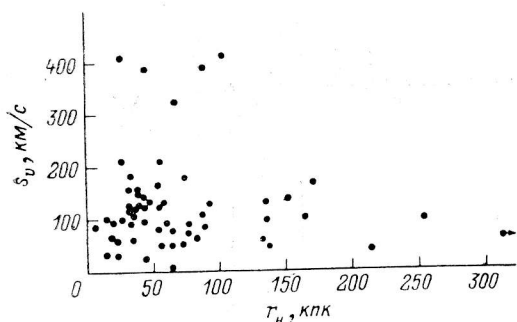


Рис. 3. Зависимость между дисперсией лучевых скоростей и проекцией линейного размера у триплетов.

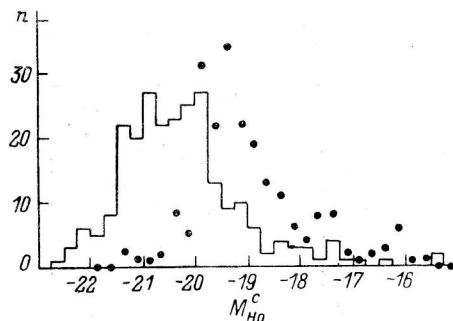


Рис. 4. Распределение каталожных тройных систем по абсолютной величине компонентов (гистограмма).

Точками указано аналогичное распределение для моделированных триплетов.

Характер распределения каталожных триплетов галактик в координатах  $\{s_p, r_{\Pi}\}$  показан на рис. 3. Тройные системы на этой диаграмме сосредоточены отдельными группами, что может указывать на динамическую или структурную разнородность выборки.

В целом заметна тенденция к уменьшению дисперсии скоростей в триплете при переходе от тесных систем к широким. Такая особенность проявляется и у распределения  $\{(v_i - v_k), r_{ik}\}$ , где триплеты расчленены на отдельные пары. Наличие слабой отрицательной корреляции между взаимными скоростями и расстояниями галактик следовало бы ожидать, если их движения в триплетах близки к кешлеровским.

Гистограмма на рис. 4 изображает выборочное распределение К-триплетов по абсолютным величинам. Вид его мало отличается от стандартного, а медиана равна  $-20^m 38$ . Функция светимости моделированных триплетов показана на этом рисунке точками. Она имеет систематическое смещение к слабому концу. Медиана для М-триплетов составляет  $-19^m 52$ . Причины различия в функции светимости двух выборок тройных систем мы уже обсуждали [5]. Одна из причин — разница в нуль-пунктах шкалы абсолютных величин, другие же обусловлены эффектами избирательности, связанными с фотометрическим пределом выборки и действием критерия изолированности.

Как показывают результаты численного моделирования, селективные эффекты в тройных системах достаточно сильны и разнообразны. Едва ли не все каталожные параметры тройных галактик искажены и условиями отбора, и примесью ложных триплетов. Некоторые примеры этого мы приведем ниже.

**3. Отношение вириальной массы к светимости.** Как было отмечено, отношение вириальной массы к светимости у триплетов мы определяли разными способами. Результаты представлены на рис. 5. Верхняя гистограмма (А) показы-

ваит распределение числа систем по логарифму величины  $f$ , вычисленной из соотношения (6). Средняя гистограмма ( $W$ ) отражает распределение оценок  $f_W$ , которые учитывают вес каждой галактики пропорционально ее светимости. На нижней диаграмме ( $P$ ) изображено распределение попарных оценок  $f_{ik}$ , т. е. отношения орбитальной массы к светимости для каждой пары из членов триплета согласно (9). Штриховой кривой указана аналогичная зависимость для 585 каталожных пар. У всех трех гистограмм можно отметить общие черты: широкий интервал значений  $f$ , охватывающий 6—7 порядков; положение основного максимума вблизи  $f \approx 30f_\odot$ ; наличие вторичного подъема в области  $(10^3 - 10^5)f_\odot$ .

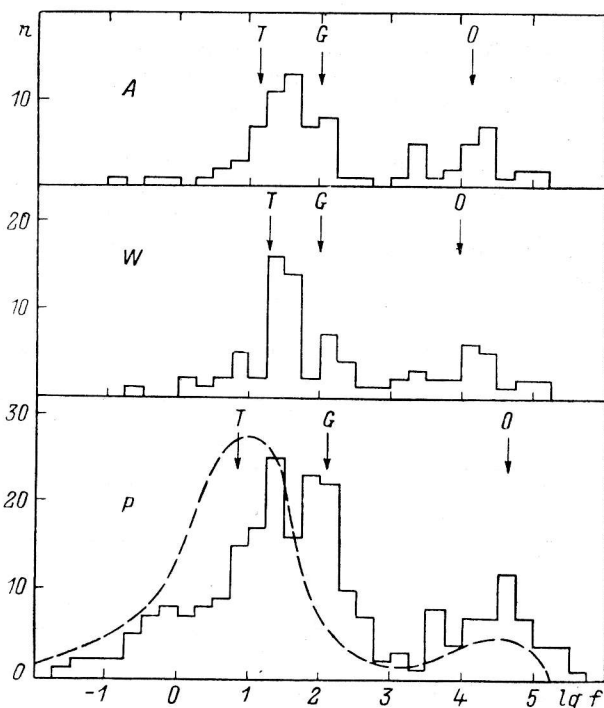


Рис. 5. Распределение триплетов по величине отношения вириальной массы к светимости в солнечных единицах.

Вверху — средние арифметические оценки ( $A$ ), посередине — средние взвешенные по светимости ( $W$ ), внизу — попарные оценки орбитальной массы. Стрелками отмечены медианные значения для истинных триплетов ( $T$ ) членов группы ( $G$ ) и оптических систем ( $O$ ) по результатам численного моделирования.

Используя данные о взаимных скоростях, расстояниях и светимостях у компонентов моделированных триплетов, мы определили для них вириальные отношения  $f$ ,  $f_W$  и  $f_{ik}$  по тем же формулам, что и для реальных систем. Хотя такой подход является сугубо формальным, он все же имеет практический смысл, так как позволяет оценить роль факторов проекции и присутствия фоновых объектов среди членов тройной системы. Медианы распределения отдельно для физических триплетов ( $T$ ), членов групп и скопления ( $G$ ) и оптических систем ( $O$ ) указаны стрелками на каждой из диаграмм  $A$ ,  $W$ ,  $P$  рис. 5. По результатам численных экспериментов мы можем утверждать, что при всех способах оценки  $f$  область вторичного максимума  $(10^3 - 10^5)f_\odot$ , занята преимущественно оптическими триплетами. Пространственно изолированные триплеты и ложные тройные системы (из галактик одной группы или скопления) имеют близкие значения медиан распределения и с трудом различимы в пределах общего главного максимума. На гистограммах  $W$  и  $P$  ожидаемое различие едва намечается, но его замывают случайные факторы проекции.

В табл. 2 собраны медианные оценки вириального отношения массы к светимости, полученные при различных способах определения величины  $f$ . Наряду со смещенными значениями  $f$  мы приводим также медианы для величин  $f^c$ , ко-

ТАБЛИЦА 2

Медианы отношения вириальной массы к светимости для 83 триплетов

Способ оценки	Вся выборка		Объекты с $f < 10^3$		Объекты с $\Delta v_{ik} < 500$ км/с	
	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$
A	1.83	1.76	1.53	1.46	1.49	1.43
W	1.70	1.66	1.49	1.46	1.49	1.43
P	1.73	1.69	1.44	1.38	1.35	1.30
Пары ( $n=585$ )	0.93	0.86	0.83	0.70	0.75	0.60

торые исправлены за ошибки измерения лучевых скоростей согласно выражениям (7) и (10). Чтобы учесть влияние, вносимое оптическими тройными системами, мы помещаем в табл. 2 данные для усеченных выборок. В одном случае были исключены 25 триплетов, имеющих  $f > 10^3 f_{\odot}$ , в другом — 30 систем, где хотя бы для одной пары компонентов взаимная разность лучевых скоростей превышала 500 км/с. Последняя строка таблицы указывает медианы для 585 пар каталога [5]; условия  $f < 10^3 f_{\odot}$  и  $(v_i - v_k) < 500$  км/с сохраняют в этой выборке соответственно 531 и 497 двойных систем. Анализ данных табл. 2 позволяет сделать следующие заключения.

ТАБЛИЦА 3

Медианы отношения вириальной массы к светимости для триплетов Геллер, Хукры

Способ оценки	Вся выборка $n = 58$		Объекты с $f < 10^3$ $n = 38$		Объекты с $\Delta v_{ik} < 500$ $n = 41$	
	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$	$\lg \{f\}_{1/2}$	$\lg \{f^c\}_{1/2}$
A	2.44	2.37	2.01	1.84	2.09	2.00
W	2.44	2.38	2.07	1.90	2.15	1.95
P	2.42	2.33	1.95	1.79	2.08	1.95

а) Учет или игнорирование ошибок измерения лучевых скоростей слабо влияют на медианную оценку вириального отношения массы к светимости. Типичное различие между ними составляет всего dex (0.07);

б) медиана распределения мало зависит от способа, которым производилась оценка отношения массы к светимости. Между простой арифметической оценкой (A) и взвешенной по светимости (W) наблюдается среднее различие  $\sim$  dex (0.04), т. е. у ярких и слабых галактик признаки равномерного распределения по энергии практически отсутствуют. Описание триплета в виде суммы пар с круговыми движениями галактик дает медиану, близкую к оценкам другими способами. Заметим попутно, что для наилучшего согласования совокупности медианных значений в разных строках табл. 2 достаточно предположить эллиптический характер орбитальных движений с эксцентриситетом  $e=0.40 \div 0.55$ ;

в) из последних строк можно видеть, что по сравнению с изолированными парами триплеты имеют систематический избыток отношения вириальной массы к светимости. Как для всей выборки тройных систем, так и для усеченных выборок (за счет оптических членов) величина избытка приблизительно одинакова и составляет фактор  $\sim 5$ . Указанное различие отчетливо проявляется на нижней диаграмме рис. 5;

г) при разных способах исключения оптических систем (условие  $f < 10^3 f_{\odot}$  или  $\Delta v_{ik} < 500$  км/с) и разных способах оценки вириальной массы (A, W, P) медианы  $\{f^c\}_{1/2}$  заключены в нешироком интервале значений  $[20-29]f_{\odot}$ . Сопоставляя их с медианой отношения индивидуальной массы к светимости  $\{f_{\text{инд}}\}_{1/2} = 5.9 f_{\odot}$ , которая была определена по 227 галактикам [13], мы получаем оценку избытка вириальной массы в триплетах 3.4—4.9, т. е. близкую к предыдущей.



Необходимо отметить, что попытки прямого сравнения вириальной массы триплета с суммой индивидуальных масс его компонентов носили пока эпизодический характер. По данным Миневой [14], определившей массы у 29 галактик в триплетах, медиана отношения индивидуальной массы (в пределах стандартного радиуса  $R_{25}$ ) к светимости составляет всего  $3.8f_{\odot}$ . Только у 3 триплетов нашего списка индивидуальные массы измерены для каждого компонента системы.

Прежде чем обсуждать аргументы за и против наличия в триплетах скрытой массы, приведем еще некоторые наблюдательные данные.

В исходном списке тройные системы были разбиты по видимой конфигурации галактик на такие типы: T — треугольник, более-менее близкий к равно-стороннему, L — компоненты расположены в линию, D — две тесные галактики с далеким спутником. Последнюю конфигурацию часто называют иерар-

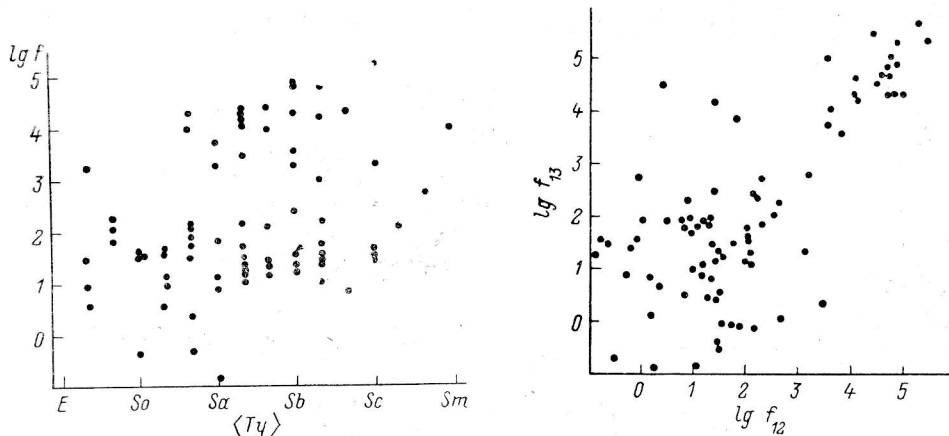


Рис. 6. Зависимость между отношением вириальной массы к светимости и средним морфологическим типом галактики в триплетах.

Рис. 7. Зависимость между оценками отношения орбитальной массы к светимости по двум ярчайшим членам триплета ( $f_{12}$ ) и яркому+слабому ( $f_{13}$ ).

хической. Она является наиболее устойчивой в ходе динамической эволюции [9]. Ранжировав триплеты по величине отношения вириальной массы к светимости, мы не нашли существенных различий между иерархической конфигурацией и другими.

Аналогичная проверка не обнаружила явной зависимости вириального отношения  $f$  от степени изолированности триплета на фоне окрестных галактик, а также от удаленности тройной системы по лучу зрения.

Рис. 6 показывает характер распределения триплетов по логарифму отношения вириальной массы к светимости и среднему структурному типу компонентов. Корреляция между ними практически отсутствует. Если исключить объекты с  $f > 10^3$  как оптические, то можно отметить слабое возрастание величины  $f$  от ранних хаббловских типов к поздним. В противоположность этому индивидуальные оценки  $f$  у галактик, а также отношения орбитальной массы к светимости в изолированных парах обнаруживают убывающую зависимость  $f(T_y)$  от E- к Sm-типам [3].

Выделяя в тройной системе главный компонент и предполагая кеплеровские движения вокруг него более слабых галактик, мы вправе ожидать положительную корреляцию в оценках  $f_{ik}$ , сделанных по двум разным спутникам. Корреляция отношений орбитальной массы к светимости должна наблюдаться в том случае, когда основная доля массы тройной системы приходится не на галактики, а сосредоточена в объеме между ними. Наблюдательные данные, однако, не согласуются с этим очевидным соображением. На рис. 7 мы приводим совместное распределение тройных систем по оценкам орбитального отношения массы к светимости  $f_{ik}$ . Нумерация индексов соответствует убыванию светимости компонентов. То есть по горизонтальной оси отложены значения масса/свети-

мость для самых ярких галактик, по вертикали — для крайних по яркости членов. Если исключить область  $f_{ik} > 10^3$ , то ожидаемой концентрации точек вдоль восходящей диагонали мы не наблюдаем. Причина группирования точек в правом верхнем углу вызвана случаями оптической проекции какой-либо галактики на физическую пару. Заметим, что диаграмма  $\{f_{12}, f_{23}\}$  в общих чертах похожа на рис. 7. Оценки орбитального отношения массы к светимости мало зависят от ранга галактик по их яркости. Так, медианные значения попарных оценок, исправленные за ошибки измерения лучевых скоростей, составляют:

$$\{f_{12}^c\}_{1/2} = 37, \quad \{f_{13}^c\}_{1/2} = 54 \quad \text{и} \quad \{f_{23}^c\}_{1/2} = 49$$

в солнечных единицах. Для истолкования особенностей распределения триплетов на двумерных диаграммах  $\{f_{12}, f_{i3}\}$  полезно привлекать результаты численного моделирования динамики тройных систем.

Одним из главных тестов на присутствие в системах галактик скрытой материи является характер зависимости между вириальной массой и размером си-

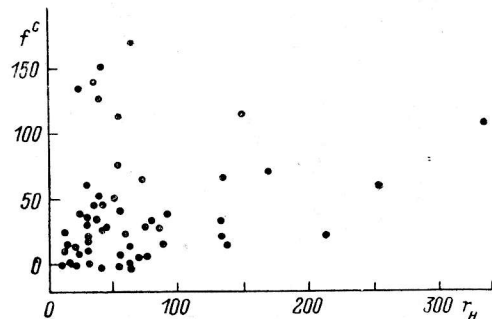


Рис. 8. Распределение тройных систем по несмещенным оценкам отношения массы к светимости и линейному гармоническому размеру системы (в килопарсеках).

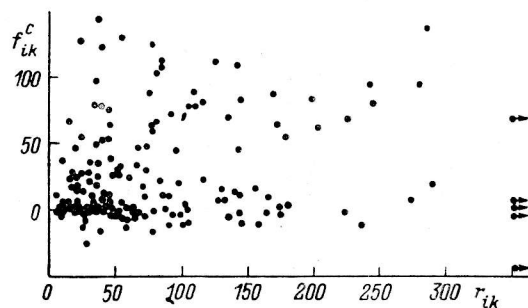


Рис. 9. Зависимость между отношением орбитальной массы к светимости и проекцией взаимного линейного расстояния галактик в триплетях.

Стрелками отмечены пары со взаимными расстояниями более 350 кпк.

стемы. Для триплетов такие данные содержатся на рис. 8 и 9. Первый из них отражает распределение триплетов по несмещенному отношению вириальной массы к светимости и среднему гармоническому размеру системы. Как и на рис. 3, заметна неравномерность распределения: большая часть триплетов сосредоточена в области  $r_n < 100$  кпк и  $f^c < 80f_\odot$ . Ожидаемое при наличии скрытой массы возрастание  $f^c(r_n)$  выражено крайне слабо и имеет низкую статистическую достоверность.

Попарные оценки отношения орбитальной массы к светимости представлены на рис. 9 в зависимости от проекции взаимного расстояния компонентов тройной системы. Отрицательные значения  $f_{ik}^c$  соответствуют случаям, когда ошибки измерения скоростей превышают разность самих лучевых скоростей. Судя по относительному числу таких случаев и амплитуде отрицательных значений, ошибки измерения скоростей в целом не сильно влияют на динамические параметры выборки. Как и на предыдущем рисунке, возрастание орбитального отношения масса/светимость с увеличением расстояния между галактиками проявляется лишь в виде слабой тенденции. У широких пар с  $r_{ik} > 100$  кпк можно увидеть две подсистемы: для одной значения  $f_{ik}^c$  лежат в горизонтальной полосе  $[+25, -10]f_\odot$ , для второй — на восходящей ветви. Разделение объектов на две подсистемы не сопровождается каким-либо значимым различием галактик по морфологическим типам, светимостям или другим интегральным параметрам.

**4. Время пересечения в тройных системах.** При вычислении вириальных масс необходимо удостовериться в том, что триплеты галактик располагали достаточным временем для релаксации. Используя проекцию среднего гармонического радиуса триплета  $r_n$  и среднюю квадратичную скорость по лучу зрения  $s_p$ , мы определили из выражения (8) безразмерное время пересечения системы  $\tau$ . Распределение тройных галактик по  $\lg \tau$  представлено в верхней части

рис. 10. Оно имеет вполне симметричный вид с медианой  $\tau_{1/2} = \text{dex} \{-1.40\}$ . Другую оценку  $\tau$  мы получили, рассматривая попарные сочетания галактик в триплете.

Если движение двух галактик происходит по круговой орбите, то период обращения вокруг их общего центра тяжести можно выразить как

$$\tau_{ik} = 4H r_{ik} / (v_i - v_k),$$

где численное значение коэффициента получено в предположении хаотической ориентации орбит относительно луча зрения. Распределение безразмерных периодов обращения изображено в логарифмическом масштабе на нижней гистограмме рис. 10. Некоторая часть пар, составленных из членов триплетов, имеет

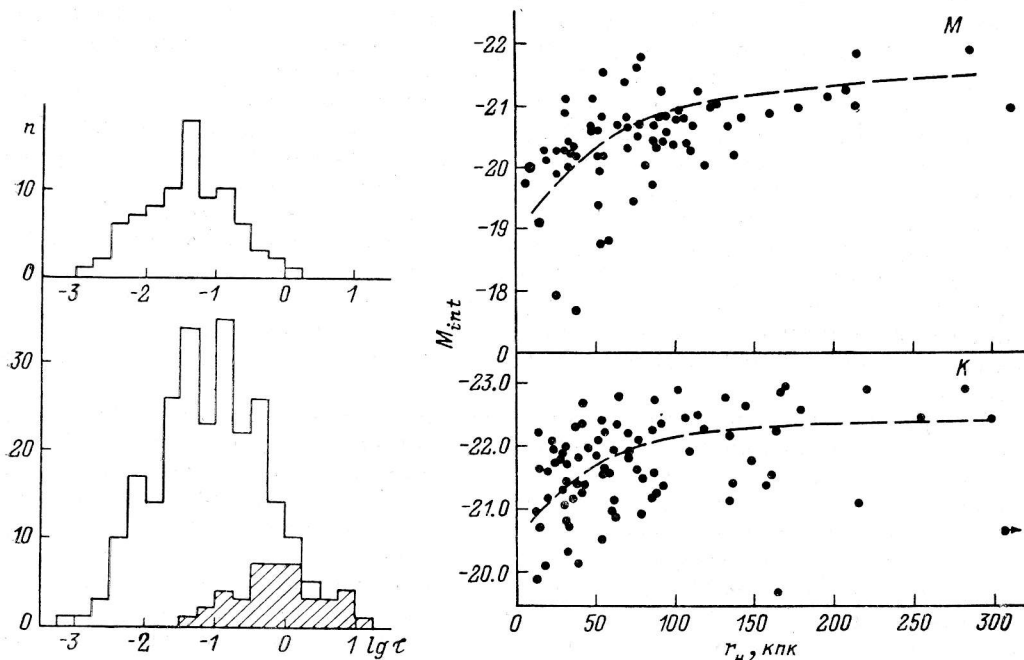


Рис. 10. Распределение тройных систем по величине времени пересечения (вверху) и орбитальному периоду (внизу) в единицах хаббловского времени  $H^{-1}$ .

Штриховкой отмечены пары, у которых разность лучевых скоростей меньше ошибки ее измерения.

Рис. 11. Зависимость интегральной абсолютной величины триплета от проекции среднего гармонического расстояния между компонентами.

Внизу — каталожные системы, вверху — моделированные.

периоды обращения больше, чем хаббловское время. В этой области ( $\tau_{ik} > 1$ ) преобладают случаи, когда проекция разности скоростей у двух галактик меньше ошибки ее измерения (отмечены штриховкой). Медианное значение орбитального периода составляет  $\text{dex} \{-1.05\}$ .

Следует отметить, что время пересечения может быть определено через наблюдаемые величины различными способами. Так, Готт и др. [15] использовали «вириальное» время пересечения, которое меньше вычисленного по (8) времени в  $20\sqrt{5}/(3\pi) \approx 4.7$  раза. Джексон [16] предложил выражать оценку  $\tau$  через средний квадратичный радиус системы и  $s_v$  («инерциальное» время пересечения). Готт и Тернер [17] отдают предпочтение «линейному» времени  $\tau_L = (2H/\pi) \times \langle r_{ik} \rangle / \langle v_i - v_k \rangle$ , которое менее чувствительно к присутствию тесных в проекции пар и фоновых объектов. Согласно численным экспериментам по моделированию коллапса и релаксации группы галактик [17], тройная система достигает вириального равновесия, если время ее пересечения  $\tau = 2H r_n / s_v \leq 0.4$ . Как видно из рис. 10, около 95 % триплетов удовлетворяет этому условию, другими словами, почти все тройные системы уже прошли начальный период своей динамической эволюции.

В достаточно тесных кратных системах, каковыми являются многие триплеты, заметную роль в эволюции могут играть эффекты динамического трения. При сближениях членов системы до соприкосновения окраинными областями происходит перекачка энергии относительного (орбитального) движения в энергию внутренних звездных движений. Процесс приливного торможения приводит к тому, что за время в 3—5 орбитальных периодов галактики сливаются в единую звездную систему [18—20]. Чем выше масса (или светимость) у взаимодействующих галактик, тем быстрее они должны сливаться. Острайкер и Тернер [21] предположили, что по этой причине следует ожидать положительной корреляции между светимостью и взаимным расстоянием у двойных галактик. Такая зависимость проявляется и в тройных системах. На нижней диаграмме рис. 11 изображено распределение каталожных триплетов по среднему гармоническому расстоянию  $r_n$  и абсолютной величине  $M_{int}$ , соответствующей суммарной светимости трех галактик. Ожидаемый эффект хорошо заметен и имеет амплитуду  $\sim 1^m$ . Поскольку типичный период обращения у членов триплета составляет  $\sim 0.1$  от хаббловского времени, то представляется вполне оправданным объяснить наблюдаемую зависимость действием механизма слияний. Однако аналогичная зависимость имеет место и для моделированных триплетов (верхняя часть рис. 11). При численном моделировании взаимные расстояния и светимости галактик в триплетах предполагались независимыми. Корреляция между размером и светимостью для триплетов в выборке возникает из-за влияния эффекта избирательности: чем ярче галактики в рассеянной системе, тем выше у них шансы удовлетворить критерию изолированности. Этот пример лишней раз напоминает о том, что пренебрежение многоликими эффектами селекции в мире систем галактик нередко приводит к далеко идущим ложным выводам.

**5. Проблема скрытой массы — pro и contra.** Как мы уже отмечали в § 3, наблюдательные оценки вириальной массы триплетов можно объяснить, предположив существование в них невидимой материи, превышающей в 4—5 раз суммарную массу галактик триплета. При этом характерный масштаб, на котором реализуется избыток массы, составляет около 70 кпк. С другой стороны, изолированные пары галактик, имеющие типичные взаимные расстояния компонентов  $\sim 30$  кпк, избытка орбитальной массы не показывают [13]. Поскольку в распределении по  $\lg f$  (рис. 5) наблюдается значительное различие между парами и триплетами, причину его естественно было бы связать с присутствием в объеме тройных систем скрытой массы.

Накопление эффекта вириального избытка при переходе от пар к триплетам можно трактовать двояко: а) чем выше населенность системы, тем глубже ее потенциальная яма, в которой сосредоточена скрытая материя; б) чем больше масштаб (объем) системы, тем значительнее вклад в ее массу некой однородной среды, скажем, нейтринного «моря». Для проверки этих предположений мы ранжировали триплеты сперва по суммарным светимостям, затем по линейным размерам системы. В обоих случаях корреляция с отношением вириальной массы к светимости практически отсутствует. Таким образом, внутри выборки тройных систем сделать выбор между эффектом населенности (массы) и эффектом размера не представляется возможным.

Дополнительные аргументы мы попытались найти, привлекая данные других авторов. Геллер и Хукра [22] опубликовали каталог 176 групп галактик, которые были выделены среди галактик ярче  $14^m.5$  с измеренными лучевыми скоростями в высоких галактических широтах. Достоинством своего каталога авторы считают объективную процедуру выделения систем из окружающего фона. Превышение объемной плотности над средним фоном составляет для этих групп величину  $\geq 20$ . Если оставить в каталоге Геллер и Хукра только тройные галактики, то такая подвыборка будет содержать 58 систем. Исходные наблюдательные данные для них мы редуцировали аналогично данным для К-триплетов и вычислили вириальные массы, времена пересечения и другие характеристики. Медианные значения отношения вириальной массы к светимости у GN-триплетов представлены в табл. 3. Способы оценки  $f$  у них, а также условия ограничения оптических систем были такими же, как и для К-триплетов. Сравнение между собой медианных значений  $f_{1/2}$  из табл. 3 и 2 показывает, что

избыток вириальной массы выражен у GN-триплетов значительно сильнее. Повторяя рассуждения § 3 при сопоставлении тройных с одиночными и двойными галактиками, мы получаем величину вириального избытка массы 15—20, т. е. еще в 4 раза выше, чем у K-триплетов. Внутренние движения галактик в GN-триплетах невелики и характеризуются медианами  $\{v_i - v_k\}_{1/2} = 165$  км/с,  $\{s_p\}_{1/2} = 112$  км/с. Однако взаимные линейные расстояния у них на порядок больше по сравнению с K-системами:  $\{r_{ik}\}_{1/2} = 830$  кпк и  $\{r_n\}_{1/2} = 615$  кпк. Последнее обстоятельство легко истолковать в пользу «эффекта объема» как причины вириального избытка. Но очевидность такого вывода обманчива. Согласно Маггесяну [23], средние динамические параметры GN-триплета сильно зависят от его расстояния по лучу зрения. Радиальная избирательность критерия Геллер, Хукры равнозначна тому, что физическая автономность многих GN-триплетов выглядит весьма сомнительной. Косвенным подтверждением этому является большое время пересечения  $\{\tau\}_{1/2} = 0.54$  и  $\{\tau_{ik}\}_{1/2} = 1.05$ , которое не гарантирует выполнение вириального равновесия для GN-триплетов.

Другой алгоритм выделения кратных галактик, иерархический метод дендрограмм, был использован Венником [24]. В его списке близких групп содержится 23 тройные системы. Медианы линейного размера этих триплетов  $\{r_n\}_{1/2} = 720$  кпк и отношения вириальной массы к светимости  $\{f\}_{1/2} = 73f_{\odot}$  хорошо соответствуют аналогичным параметрам GN-триплетов. Из-за малой дисперсии внутренних скоростей  $\{s_p\}_{1/2} = 56$  км/с триплеты Венника имеют типичное время пересечения порядка возраста Вселенной.

Если сравнить между собой списки тройных галактик Венника и Геллер, Хукры, то обнаруживается удивительный факт: на пересечении двух выборок нет ни одного общего триплета! При этом некоторые тройные системы Венника входят как фрагменты в состав более населенных GN-групп, встречаются и обратные ситуации. Такую же картину мы наблюдаем, сопоставляя списки K- и GN-триплетов. Как показывают данные табл. 2 [6], ни одна тройная система Геллер, Хукры не удовлетворяет условию изолированности K-триплетов. Заметим, что различия обсуждаемых трех выборок по исходным данным (области неба, полноте измерения лучевых скоростей, предельной звездной величине) не столь велики, чтобы быть причиной впечатляющего отсутствия общих объектов. Если состав каталожной выборки так сильно зависит от способа, которым выделяются тройные галактики, то и величина среднего вириального избытка массы у триплетов становится несколько условной категорией.

Здесь будет уместным напомнить, что, согласно численным экспериментам (§ 2), пространственно изолированные триплеты составляют лишь малую долю выборки. Помимо оптических систем, которые легко различимы, значительную часть любой выборки (ограниченной предельной видимой величиной галактик) должны составлять ложные триплеты. Засоренность списка K-триплетов неизолированными тройными системами мы считаем главной причиной полученного выше избытка вириальной массы. В немалой степени указанный эффект обязан проявляться и в выборках Геллер, Хукры и Венника. Отсутствие общих объектов в упомянутых списках тройных систем не вызывает удивления, если среди них преобладают необособленные тройные конфигурации галактик из состава групп, «волокон», «стенок» и других элементов крупномасштабной структуры Вселенной.

**6. Заключение.** При разных способах оценки вириальной массы и различных приемах исключения оптических систем мы нашли, что медиана отношения массы к светимости для выборки 84 триплетов лежит в интервале  $(20-30)f_{\odot}$ . Эта величина в 3—4 раза меньше, чем полученная по тройным системам из списков групп Геллер, Хукры [22] и Венника [24]. Однако она примерно в 4 раза превышает медианное значение отношения массы к светимости ( $\sim 6f_{\odot}$ ), которое следует из кривых вращения отдельных галактик или анализа орбитальных движений в парах.

Для объяснения этого избытка достаточно предположить, что около 80 % полной массы триплетов приходится на невидимую материю. Но есть веские основания полагать, что рассматриваемая выборка сильно засорена ложными неизолированными «триплетами», представляющими собой фрагменты систем более высокой населенности. По этой причине весь вириальный избыток может



быть «артефактом», происходящим от крайней редкости истинно автономных тройных систем.

Чтобы убедиться в этом, следовало бы отбирать триплеты галактик по более жесткому критерию изолированности. К сожалению, такой путь выглядит мало перспективным, поскольку резко сокращает статистическую представительность выборки (члены К-триплетов составляют менее 1 % галактик ярче  $15^m$ ). Увеличить объем выборки можно было бы за счет объектов южного полушария или более слабых галактик. Но простое расширение наблюдательной выборки вряд ли сможет решить указанную дилемму. В качестве критического эксперимента мы предлагаем сосредоточить наблюдательные усилия на измерении лучевых скоростей у галактик в окрестностях тех триплетов, чьи оценки вириального отношения заключены в интервале  $30 < f < 300f_{\odot}$ . Таким способом можно было бы подтвердить или опровергнуть соображение о роли неизоллированных членов групп в происхождении вириального избытка массы у триплетов.

Поясним это на примере ближайших систем, где полнота измерения лучевых скоростей достаточно высокая. Выделим из списка К-триплетов самые яркие, у которых все компоненты имеют  $m_{H\alpha} < 12^m$ . Таких триплетов всего 4, их номера: 1, 28, 33 и 50. Первый из них, туманность Андромеды со спутниками, является вполне динамически обособленной тройной системой с  $f^{\circ} \approx 1f_{\odot}$ . Следующий по расстоянию триплет (№ 28) представляет собой центральную часть известной группы галактик M81/82 (GN 52) и имеет  $f^{\circ} = 127f_{\odot}$ . Остальные два триплета, № 33 и № 50, также входят в состав рассеянных групп галактик, соответственно GN 68 с числом членов  $n_p = 23$  и GN 123 с  $n_p = 17$ . Этим, вероятно, и обусловлены высокие значения вириальных отношений ( $39f_{\odot}$  и  $134f_{\odot}$ ), которые получились для неизоллированных тройных систем.

Одним из подходов к решению вириального парадокса на уровне триплетов могло бы стать дополнение сложившихся методов выделения кратных систем (метод дендрограмм, кластер-анализ) таким условием, которое бы явно отражало пространственную изолированность триплета на фоне окрестных галактик.

Сформулировать его и применить к сплошному обзору лучевых скоростей галактик до фиксированной видимой величины представляет собой непростую задачу, поскольку радиальные координаты галактик «замыты» вириальными движениями. Надежду на успех здесь дает возможность прямого измерения расстояний до близких галактик безотносительно к их лучевым скоростям.

#### Литература

1. Trimble V. Existence and nature of dark matter in the Universe // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1987, in press.
2. Faber S. M., Gallagher J. S. Masses and mass-to-light ratios of galaxies // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1979. 17. P. 135—187.
3. Караченцев И. Д. Двойные галактики. М.: Наука, 1987.
4. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д., Щербановский А. Л. Изолированные триплеты галактик. 1: Список // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1979. 11. С. 3—39.
5. Караченцев И. Д. Каталог изолированных пар галактик северного неба // Сообщ. САО. 1972. 7. С. 5—91.
6. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д., Лебедев В. С. Изолированные триплеты галактик: полная сводка лучевых скоростей и редуцированные данные // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1987. 26.
7. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. G. Second Reference Catalogue of Bright Galaxies. Univ. of Texas Press, Austin, 1976.
8. Limber D. N., Mathews W. G. // Astrophys. J. 1960. 132. P. 286.
9. Аносова Ж. П., Орлов В. В. Динамическая эволюция тройных систем // Учен. зап. ЛГУ. Сер. мат. 1985. 82, № 416. С. 66—144.
10. Bahcall J. N., Tremaine S. Methods for determining the masses of spherical system // Astrophys. J. 1981. 244. P. 805—820.
11. Караченцев И. Д., Щербановский А. Л. Моделирование видимого распределения галактик. 1: Описание процесса // Сообщ. САО. 1978. 24. С. 5—46.
12. Караченцева В. Е., Караченцев И. Д. Изолированные триплеты галактик. Вириальные отношения масса—светимость // Астрофизика, 1982. 18. С. 5—16.
13. Караченцев И. Д. Индивидуальные массы галактик в парах // Астрон. журн. 1985. 62. С. 417—431.
14. Минева В. А. Индивидуальные массы галактик в триплетах // Астрофизика, 1987, в печати.



15. Gott J. R., Wrixon G. T., Wannier P. A study of three groups of galaxies: plausible explanation of the virial mass discrepancy // *Astrophys. J.* 1973. **186**. P. 777—785.
16. Jackson J. C. Are nearby small groups of galaxies expanding with the Universe? // *Mon. Not. R. astron. Soc.* 1975. **173**. P. 41.
17. Gott J. R., Turner E. L. Groups of galaxies. III: Mass-to-light ratios and crossing times // *Astrophys. J.* 1977. **213**. P. 309—322.
18. White S. D. M. Simulations of merging galaxies // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 1978. **184**. P. 185—203.
19. White S. D. M. Further simulations of merging galaxies // *Mon. Not. R. astron. Soc.* 1979. **189**. P. 831—852.
20. White S. D. M. The dynamics of binary galaxies // *Mon. Not. R. astron. Soc.* 1981. **195**. P. 1037—1056.
21. Ostriker J. P., Turner E. L. The correlation between luminosity and separation in binary galaxies: an effect of dynamical friction? // *Astrophys. J.* 1979. **234**. P. 785—792.
22. Geller M. J., Huchra J. P. Groups of galaxies. III: The CfA survey // *Astrophys. J. Suppl.* 1983. **52**. P. 61—87.
23. Магтесян А. // Письма в Астрон. журн. 1987, в печати.
24. Венник Я. А. Строеие групп галактик: Дис. Тарту, 1986.

Поступила в редакцию 19 марта 1987 г.