

И. Д. Караченцев

## СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ГАЛАКТИК И ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ СКРЫТЫХ ВИРИАЛЬНЫХ МАСС

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы интерес к физическим условиям в метагалактической среде и системах галактик заметно возрос. Это обусловлено в первую очередь открытием очень далеких радиоисточников — квазаров, расстояние до которых порядка фотометрического радиуса Метагалактики, измерением изотропного рентгеновского и гамма-излучения, обнаружением реликтовых радиоквантов. Факты, полученные новыми методами наблюдений, позволяют ограничить мыслимые условия в межгалактической среде.

Важнейшим эмпирическим параметром является средняя плотность вещества в системах галактик и Метагалактике. Из косвенных соображений относительно динамики систем галактик и Метагалактики часто допускается существование, помимо наблюдаемого вещества, заключенного в галактиках, еще и скрытого, невидимого вещества (вириальные массы в системах галактик и космологический фон критической плотности  $\rho_{кр}$ ). Хотя до настоящего времени нет ни одного прямого свидетельства в пользу наличия скрытых масс вещества, предположение о его существовании кладется в основу многих теоретических выкладок и эволюционных построений [1—3] и др.

В данной работе приводятся средние параметры различных систем галактик (пар, триплетов, групп, скоплений, сверхскоплений) и Метагалактики при возможно более единообразных исходных предположениях. Излагаемые ниже

данные о средних размерах, дисперсии скоростей, плотности видимого и предполагаемого скрытого вещества в системах галактик, числе центров различных систем в единице объема Метагалактики и других, используемых при расчетах характеристиках, основываются на усреднении параметров 143 систем галактик, к которым в предыдущей работе [4] была применена теорема вириала.

Мы надеемся, что приводимые данные содержат не очень большую наблюдательную селекцию, и поэтому могут быть использованы для сопоставления с ними различных теоретических моделей. В одном из параграфов мы обсудим наблюдательные возможности проверки предположения о существовании скрытых масс вещества в системах галактик.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Статистическая зависимость между звездными величинами и лучевыми скоростями галактик фона [5] вместе с соотношением между звездными величинами и угловыми диаметрами изображений галактик на картах Паломарского атласа, с одной стороны, и подсчеты галактик на Паломарских картах до различных угловых диаметров [6] — с другой, позволяют определить следующие статистические величины:

среднюю светимость галактик данной видимой величины  $\bar{L} = 1.24 \cdot 10^{10} L_{\odot}$ ,

средний линейный радиус галактики данного углового диаметра  $\bar{R} = 12.6$  клс,

число таких „средних“ галактик в единице объема Метагалактики  $v_0 = 1.95 \cdot 10^{-2}$  галактик/млс<sup>3</sup>.

Эти величины, как и все последующие, рассчитаны при параметре Хаббла  $h = 75$  км/сек млс и абсолютной фотографической величине Солнца  $M_{\odot} = +5^m37$ . Произведение величин  $\bar{L}v_0$  с точностью до безразмерного фактора  $F = 0.6 \div 1.0$  [4] дает среднюю светимость единицы объема Метагалактики.

Важным параметром систем галактик является полное число членов системы. При наличии дисперсии абсолютных

величин галактик число их в данной системе определяется из подсчетов лишь до некоторой предельной абсолютной величины, зависящей от возможностей телескопа и расстояния до системы. Поэтому населенность богатых систем галактик удобно заменить некоей эффективной величиной

$N = L\bar{L}$ , где  $L$  — интегральная светимость системы. Данные о средних интегральных светимостях и эффективных населенностях систем галактик приведены в первом и втором столбцах табл. 1. В третьем столбце даны средние эффективные радиусы систем галактик  $\bar{R}$ . Для пар галактик  $\bar{R}$

определялось как  $\frac{\sqrt{2}}{2} R_{12}$ , где  $R_{12}$  — среднее линейное рас-

стояние между компонентами пары в проекции на картинную плоскость, а  $\sqrt{2}$  учитывает случайную ориентацию пар относительно луча зрения. У групп и тройных систем галактик в работе [4] были вычислены гармонические средние расстояния между членами систем, использованные для определения вириальных масс систем галактик. У скоплений галактик вириальные массы вычислялись по подсчетам галактик в параллельных полосах без прямого привлечения данных о размерах скоплений; поэтому  $\bar{R}$  в табл. 1 для групп и скоплений определены как радиусы однородных сфер, имеющих то же значение потенциальной энергии, что и данные системы. Например, для скоплений галактик  $\bar{R} = \gamma M_v / 5 \langle \Delta v_r^2 \rangle$ , где

$M_v$  — вириальная масса скопления,

$\langle \Delta v_r^2 \rangle$  — среднее значение дисперсии лучевых скоростей членов скопления,

$\gamma$  — постоянная тяготения. В качестве средних значений  $L$ ,  $N$  и  $\bar{R}$  для сверхскоплений галактик были взяты данные о сверхскоплении в Геркулесе. Ранее при статистическом анализе распределения скоплений нами [7] было получено, что типичное сверхскопление состоит в среднем из 8 скоплений и имеет линейный радиус  $\bar{R} = 21$  мпс. Из таблицы

Таблица 1

Системы	$L/L_{\odot}$	$N$	$\bar{R}$ пс	$\langle \Delta V_r^2 \rangle^{1/2}$ км/сек	$f/f_{\odot}$	$\rho_{II}$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{V}$ г/см <sup>3</sup>	$n_e$ см <sup>-3</sup>
Галактики	$1.2 \cdot 10^{10}$	1	$1.26 \cdot 10^4$	—	8.2	$8.2 \cdot 10^{-25}$	—	$4.0 \cdot 10^{-3}$
Пары	$4.2 \cdot 10^{10}$	2	$2.86 \cdot 10^4$	120	62	$2.3 \cdot 10^{-25}$	$1.5 \cdot 10^{-24}$	0.9
Триплеты	$4.9 \cdot 10^{10}$	3	$8.76 \cdot 10^4$	121	85	$1.1 \cdot 10^{-26}$	$1.0 \cdot 10^{-25}$	$6.0 \cdot 10^{-2}$
Группы	$10.5 \cdot 10^{10}$	8.5	$3.93 \cdot 10^5$	287	331	$2.2 \cdot 10^{-28}$	$8.8 \cdot 10^{-27}$	$5.3 \cdot 10^{-3}$
Бедные скопления	$4.3 \cdot 10^{11}$	$3.5 \cdot 10^1$	$1.14 \cdot 10^6$	354	446	$3.8 \cdot 10^{-29}$	$2.0 \cdot 10^{-27}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Богатые скопления	$2.7 \cdot 10^{12}$	$2.2 \cdot 10^2$	$2.71 \cdot 10^6$	827	841	$1.8 \cdot 10^{-29}$	$1.8 \cdot 10^{-27}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$
Сверхскопления	$1.5 \cdot 10^{13}$	$1.2 \cdot 10^3$	$1.64 \cdot 10^7$	1096	1270	$4.5 \cdot 10^{-31}$	$6.0 \cdot 10^{-29}$	$3.6 \cdot 10^{-5}$
Метагалактика	$6.5 \cdot 10^{19}$	$5.2 \cdot 10^9$	$4.00 \cdot 10^9$	—	1650	$1.1 \cdot 10^{-31}$	$1.1 \cdot 10^{-29}$	$6.3 \cdot 10^{-6}$

Продолжение табл. 1

Системы	$\tau_{\text{гомс}}$	$ME$	$H$ гаусс	$T$ $K^{\circ}$	$z_{II}$	$\chi_i$ мпс <sup>-3</sup>	$\sigma_i$	$t_{\text{экеп}}$ лет
Галактики	$1.0 \cdot 10^{-4}$	0.2	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^4$	—	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$3.9 \cdot 10^{-2}$	—
Пары	$5.2 \cdot 10^{-2}$	$\geq 2.3 \cdot 10^4$	$9.1 \cdot 10^{-5}$	$1.7 \cdot 10^6$	0.14	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$2.6 \cdot 10^8$
Триплеты	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$3.0 \cdot 10^3$	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$1.8 \cdot 10^6$	—	—	—	$4.5 \cdot 10^8$
Группы	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$9.7 \cdot 10^6$	0.36	$8.2 \cdot 10^{-4}$	1.6	$1.1 \cdot 10^9$
Бедные скопления	$2.8 \cdot 10^{-3}$	5.2	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^7$	—	—	—	$2.0 \cdot 10^9$
Богатые скопления	$6.1 \cdot 10^{-3}$	13	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$8.2 \cdot 10^7$	0.29	$5.2 \cdot 10^{-5}$	2.0	$1.8 \cdot 10^9$
Сверхскопления	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$	$0.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^8$	0.26	$4.2 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^1$	$8.7 \cdot 10^9$
Метагалактика	$5.2 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—	—	$1.3 \cdot 10^{10}$

видно, что характеристики сверхскопления в Геркулесе весьма близки к независимым статистическим оценкам. Величины  $L$  и  $N$  Метагалактики вычислены для объема, ограниченного

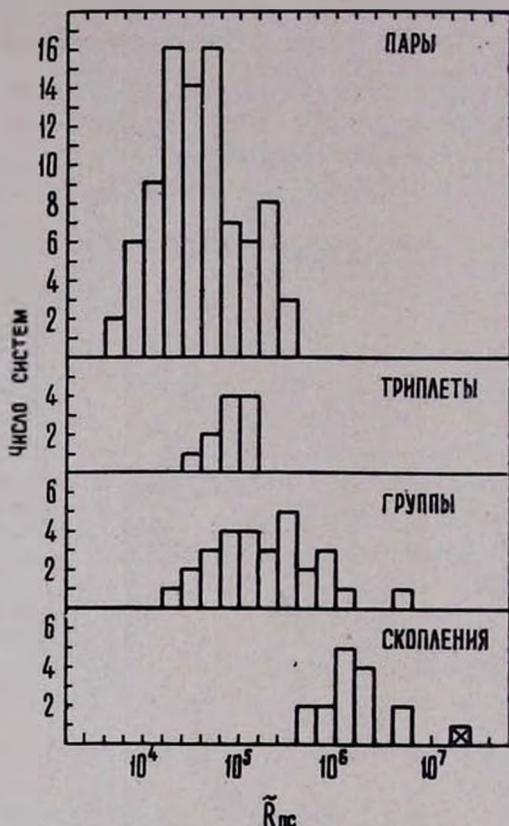


Рис. 1. Распределение числа систем галактик по значениям эффективного радиуса  $\bar{R}$  в парсеках.

На этом и последующих рисунках косым крестом отмечено сверхскопление.

Նկ. 1. Գալակտիկաների համակարգությունների բաշխումը ըստ պարսեկներով արտահայտված էֆեկտիվ շառավիղի արժեքների:

Այս և հաջորդ նկարների վրա խաչով նշանակված է գերկուլտը:

фотометрическим радиусом  $R = c/h$ , где  $c$  — скорость света.

Распределение 143 систем галактик по значениям  $\bar{R}$  приведено на рис. 1. Напомним, что у пар галактик из-за эффек-

та случайной ориентации изображенное распределение  $N(\bar{R})$  может существенно отличаться от истинного.

Важной динамической характеристикой систем галактик является дисперсия лучевых скоростей членов системы относительно их общего центра тяжести. Средние значения этих величин приведены в четвертом столбце табл. 1. Для сверхскопления в Геркулесе  $\langle \Delta v_r^2 \rangle^{1/2}$  определено по лучевым скоростям скоплений галактик относительно средней у сверхскопления.

Средние значения вириальных отношений массы к светимости  $f$  у систем галактик и Метагалактики представлены в пятом столбце таблицы. Методика их определения подробно описана в предыдущей работе [4]. Распределение числа систем галактик каждого типа по величинам  $f$  изображено на рис. 2.

Если известны средние размеры, интегральные светимости и отношения массы к светимости систем галактик, то среднюю плотность наблюдаемого ( $\rho_{II}$ ) и скрытого ( $\rho_{в}$ ) вещества в них можно определить из очевидных соотношений:

$$\rho_{II} = \frac{3Lf_{II}}{4\pi\bar{R}^3}, \quad (1)$$

$$\rho_{в} = \frac{f_{в} - f_{II}}{f_{II}} \rho_{II}, \quad (2)$$

где  $f_{в}$  — вириальное отношение массы к светимости у системы, а  $f_{II}$  — среднее нормальное отношение, вычисленное по внутренним движениям в галактиках ( $8.2 f_{\odot}$  для оптимальной смеси хаббловских типов). Значения  $\rho_{II}$  и  $\rho_{в}$  приведены в шестом и седьмом столбцах таблицы. В качестве средней плотности скрытого вещества в Метагалактике использовано значение критической плотности  $\rho_{кр} = 3h^2/8 \pi \gamma$ .

Наблюдения последних лет [8, 9] убедительно показали, что плотность нейтрального водорода и в скоплениях галактик, и в Метагалактике слишком мала по сравнению с вириальными плотностями. Поэтому сложилось мнение, что межгалактический газ сильно нагрет и ионизирован.

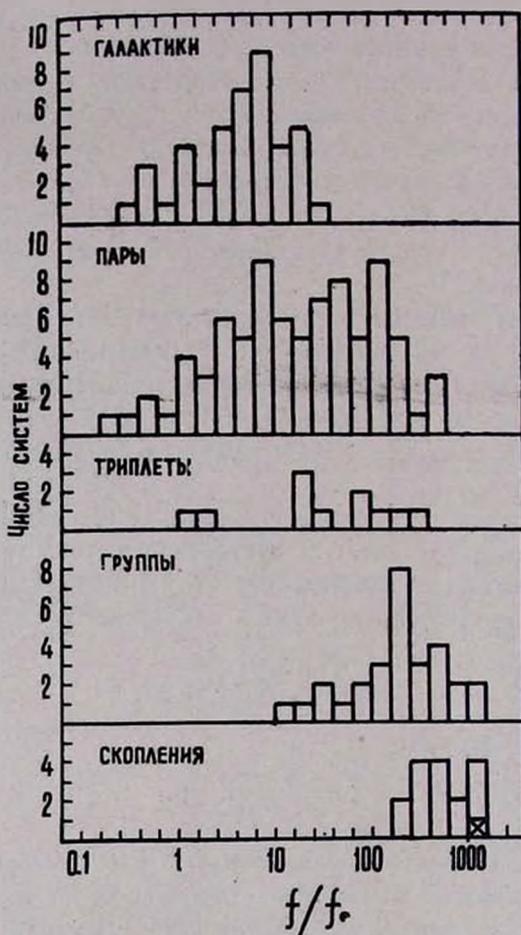


Рис. 2. Распределение числа систем галактик по величине отношения массы к светимости  $f/f_{\odot}$ .

Նկ. 2. Գալակտիկաների համակարգությունների բաշխումը ըստ զանգված-լուսատվության  $f/f_{\odot}$  հարաբերության մեծությունների:

Если распространенность химических элементов в межгалактическом газе нормальная, то электронную концентрацию можно определить соотношением  $n_e = \rho_v / m_p$ , где  $m_p$  — масса протона. Вычисленные таким образом средние

вириальные электронные концентрации у систем галактик приведены в восьмом столбце табл. 1. При определении среднего  $n_e$  у отдельных галактик считалось, что ионизированный водород составляет  $\sim 1\%$  от полной массы средней галактики.

Чтобы судить о возможностях наблюдательной проверки предполагаемого существования вириальных масс, в девятом и десятом столбцах таблицы даны средние значения томсоновской оптической толщи  $\tau_{\text{томс}} = S_T n_e \bar{R}$  (где  $S_T$  — сечение томсоновского рассеяния фотонов на свободных электронах) и меры эмиссии  $ME = n_e^2 \bar{R}$  для различных систем галактик.

Некоторое представление об условиях в межгалактической среде дают следующие величины: напряженность магнитного поля  $H$ , в равновесии с которым может находиться ионизированный газ в системах галактик, и кинетическая температура газа  $T$ , если скорости движений газа такие же, как у галактик — членов системы. Средние величины  $H$  и  $T$ , вычисленные из соотношений

$$\frac{H^2}{8\pi} = \frac{1}{2} \rho_v \frac{3 \langle \Delta v_r^2 \rangle}{2} \quad \text{и} \quad (3)$$

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT = m_p \frac{3 \langle \Delta v_r^2 \rangle}{2}, \quad (4)$$

(где  $\bar{E}$  — средняя энергия тепловых движений, а  $k$  — постоянная Больцмана) приведены в одиннадцатом и двенадцатом столбцах таблицы.

Хорошо известно, что галактики распределены в пространстве неоднородно и существует структурная соподчиненность или иерархия систем галактик. Для ее характеристики введем следующие обозначения. Пронумеруем последовательность систем галактик в таком порядке: 1 — отдельные галактики, 2 — пары, 3 — группы, 4 — скопления и 5 — сверхскопления. Через  $x_{ij}$  обозначим вероятность того, что случайно выбранная система  $i$ -го порядка входит в состав  $j$ -й системы. Тогда матрица вероятностей

$$|x_{ij}| = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ & & x_{33} & x_{34} & x_{35} \\ & & & x_{44} & x_{45} \\ & & & & x_{55} \end{pmatrix} \quad (5)$$

полностью определяет структурную соподчиненность систем галактик. Условия нормировки для  $x_{ij}$  имеют вид

$$\begin{aligned} x_{11} + x_{12}x_{22} + x_{13}x_{33} + x_{14}x_{44} + x_{15}x_{55} &= 1, \\ x_{22} + x_{23}x_{33} + x_{24}x_{44} + x_{25}x_{55} &= 1, \\ x_{33} + x_{34}x_{44} + x_{35}x_{55} &= 1, \\ x_{44} + x_{45}x_{55} &= 1, \\ x_{55} &= 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Заметим, что  $x_{ii}$  определяют вероятность обнаружить изолированную систему  $i$ -го порядка, а  $x_{1i}$  — вероятность того, что случайно выбранная галактика данной видимой величины принадлежит  $i$ -й системе.

Плотность центров систем  $i$ -го порядка в единице объема Метагалактики выражается соотношением

$$v_i = x_{1i} \frac{v_0}{N_i}, \quad v_1 = v_0, \quad (7)$$

$$i = 2, 3, 4, 5,$$

где  $N_i$  — средняя эффективная населенность  $i$ -й системы, а  $v_0$  — число „средних“ галактик в единице объема. Аналогичным образом можно определить и другую важную характеристику — математическое ожидание числа систем галактик на луче зрения до расстояния, равного фотометрическому радиусу Метагалактики,

$$\bar{\sigma}_i = \pi c h^{-1} \bar{R}_i^2 v_i. \quad (8)$$

Средняя плотность вещества в Метагалактике, обусловленная вириальными массами различных систем галактик, определяется выражением

$$\bar{\rho}_{M2} = \sum_{l=1}^5 x_{1l} f_l L_l v_l = \sum_{l=1}^5 x_{1l} v_{1l} f_l \bar{L} v_0, \quad (9)$$

где  $\bar{L}$  — средняя светимость галактики.

Для оценки вероятностей  $x_{ij}$  поступим следующим образом. Будем считать, что 42 галактики из табл. 1 [4], у которых известно отношение массы к светимости, представляют собой случайную выборку. Внутри нее можно определить, какая доля галактик является членами пар, групп и скоплений галактик. При увеличении объема выборки наблюдаемые частоты  $k_{ij}$ , естественно, стремились бы к соответствующим пределам  $x_{ij}$ . Аналогично, по данным о 87 парах и 29 группах из таблиц 2 и 4 [4], можно вычислить частоты  $k_{2i}$  и  $k_{3i}$ . Считая, что найденные таким образом  $k_{ij}$  близки к  $x_{ij}$ , для матрицы  $\|x_{ij}\|$  имеем выражение:

$$\begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ & x_{22} & x_{23} & x_{24} \\ & & x_{33} & x_{34} \\ & & & x_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.33 & 0.14 & 0.36 & 0.29 \\ & 0.61 & 0.18 & 0.24 \\ & & 0.79 & 0.21 \\ & & & 1.00 \end{vmatrix} \quad (10)$$

Откуда, в частности, видно, что изолированные галактики составляют одну треть общего числа\*. Условия нормировки для элементов матрицы (10) выполняются с точностью до 2%. Средняя плотность вещества в Метагалактике, обусловленная вириальными массами систем галактик, получается равной 0.35  $\rho_{кр}$ . Описанный способ не годится для определения  $x_{45}$ , поскольку большинство галактик с известными  $f$  и пар и групп галактик с измеренными лучевыми скоростями располагаются в пределах Местного Сверхскопления. Однако, зная из статистического анализа распределения сверхскоплений [7] величину  $v_s = 4.2 \cdot 10^{-5} \text{ мпс}^{-3}$ , по формуле (7) можно определить вероятность  $x_{45}$ . Тогда матрица  $\|x_{ij}\|$  принимает вид

$$\begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ & & x_{33} & x_{34} & x_{35} \\ & & & x_{44} & x_{45} \\ & & & & x_{55} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} - & 0.14 & 0.36 & 0.29 & 0.26 \\ & - & 0.18 & 0.24 & - \\ & & - & 0.21 & - \\ & & & 0.53 & 0.47 \\ & & & & 1.00 \end{vmatrix} \quad (11)$$

\* Оценка  $x_{11}$ , по-видимому, несколько завышена, так как в рассмотренных окрестностях Галактики отсутствуют богатые скопления типа Сота.

Здесь для определения  $x_{45}$  были еще использованы данные о 15 скоплениях из табл. 5 [4]. Средняя плотность вещества в Метагалактике получается в этом случае несколько больше:  $\bar{\rho}_{Mz} = (0.52 \div 0.65) \rho_{кр}$  (за счет вклада вириальных масс сверхскоплений галактик). Интервал значений  $\bar{\rho}_{Mz}$  обусловлен неопределенностью величин  $x_{11}$ ,  $x_{22}$  и  $x_{33}$  в рамках условий нормировки.

Интересно, что средняя плотность  $\bar{\rho}_{Mz}$  довольно слабо зависит от вида матрицы  $[x_{ij}]$ . Например, при полной структурной соподчиненности систем галактик (изолированные системы отсутствуют)  $\bar{\rho}_{Mz} = 1.57 \rho_{кр}$ ; при отсутствии иерархии (чистая суперпозиция) и равновероятности встретить галактику в составе любой системы  $\bar{\rho}_{Mz} = 0.57 \rho_{кр}$ .

Для матрицы  $[x_{ij}]$  вида (11) значения величин  $x_{ij}$ ,  $\nu_i$  и  $\sigma_i$  приведены соответственно в тринадцатом, четырнадцатом и пятнадцатом столбцах табл. 1.

Отметим, что  $\sigma_i$  (при  $\sigma_i < 1$ ) показывают, какую долю неба покрывают  $i$ -е системы галактик, расположенные до характерного фотометрического расстояния  $c/h$ . Величина  $\sigma_4$  может быть проверена наблюдениями; ею определяется число линий поглощения  $L_\alpha$  в спектрах далеких квазаров, на которые проектируются скопления галактик. Используемое в [9] значение  $\sigma_4 = 4.0$ , по-видимому, несколько завышено, так как требует ожидаемого числа линий поглощения  $L_\alpha$  у 8 отождествленных квазаров с  $z \geq 1.65$  около  $4 \div 16$  (в зависимости от типа космологической модели), а наблюдается пока что только одна линия поглощения [10]. Из этих соображений вычисленное нами значение  $\sigma_4 = 2.0$  кажется более вероятным. То обстоятельство, что  $\sigma_3/\sigma_4 \sim 1$ , приводит к выводу, что помимо линий поглощения от скоплений в спектрах квазаров должны встречаться и более узкие линии поглощения от групп галактик. Накопление данных о спектрах далеких квазаров может стать важным источником информации о характеристиках систем галактик на ранних стадиях эволюции.

3. ПРОБЛЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ВИРИАЛЬНЫХ МАСС

Как показывают данные девятого столбца табл. 1, средние томсоновские толщи систем галактик слишком малы ( $10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2}$ ), чтобы вызвать заметное ослабление света. Поэтому эффекты рассеяния света на свободных электронах не могут дать сведений о существовании вириальных масс в системах галактик. Однако однозначный вывод по обсуждаемому вопросу сделать все же можно.

Обратимся к рис. 3, на котором изображено распределение числа систем галактик по значениям вириальных элек-

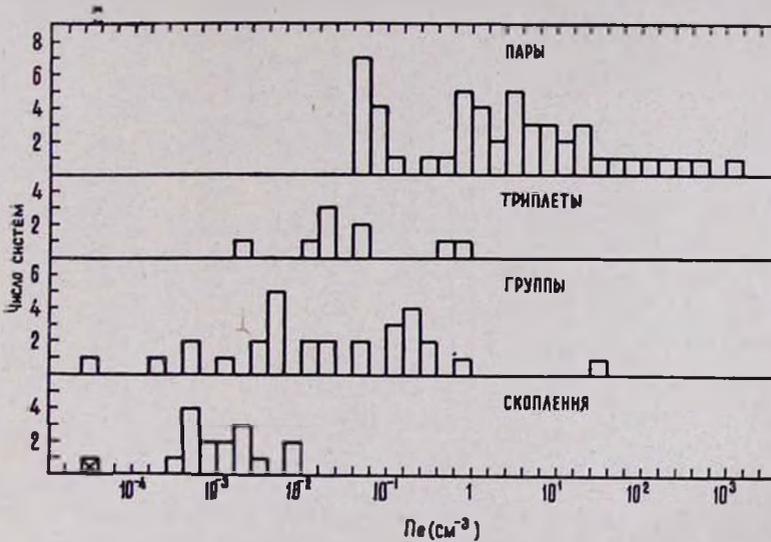


Рис. 3. Распределение систем галактик по значениям вириальных электронных концентраций  $n_e$  в  $\text{см}^{-3}$ .

Նկ. 3. Գալակտիկաների համակարգում թույլների բաշխումը ըստ  $n_e$  սմ<sup>-3</sup> վիրիալային էլեկտրոնային կոնցենտրացիաների:

тронных концентраций  $n_e$ . Мы видим, что у большей части пар галактик  $n_e = 1 \div 10^3 \text{ см}^{-3}$  ( $\rho_b \approx 10^{-24} \div 10^{-21} \text{ г/см}^3$ ). Статистический расчет показывает, что определенная доля пар попала в область значений  $n_e > 1 \text{ см}^{-3}$  из-за эффекта проекции компонентов пар относительно луча зрения. Но после

учета эффекта проекции существенная часть пар галактик в области  $n_e > 1 \text{ см}^{-3}$  все же остается. Такие большие значения вириальных плотностей у пар галактик, превышающие среднюю звездную плотность в галактиках, привели бы к искажению динамики периферийных частей галактик и увеличению отношения массы к светимости у членов пар по сравнению с галактиками фона. Поскольку эти эффекты наблюдениями не подтверждаются, от возможности присутствия скрытых масс в количестве, необходимом для стабилизации пар галактик, следует отказаться.



Рис. 4. Распределение систем галактик по величине меры эмиссии  $ME$ .

Նկ. 4. Գալակտիկաների համակարգումների բաշխումը ըստ  $ME$  անջարման չափի:

Противоречит наблюдательным данным и предполагаемое существование вириальных масс в группах и тройных системах галактик. На рис. 4 изображено распределение числа систем галактик по величине меры эмиссии  $ME$ . Роль факторов проекции для этих систем невелика. Средняя мера эмиссии у тройных систем и групп (без учета квадруплета NGC 6166 с  $ME \sim 2 \cdot 10^7$ ) составляет 3000. Примерно такие же значения  $ME$  и у газовых эмиссионных туманностей в нашей Галактике. Так как угловые размеры большинства рассматриваемых групп не меньше, чем у туманностей Га-

лактики, то они, как и газовые туманности, являлись бы легко регистрируемыми радиоисточниками. Однако радионаблюдения такую возможность не подтверждают.

Средняя мера эмиссии у скоплений галактик ( $ME \sim 10$ ) заметно меньше, чем у групп и триплетов. Но здесь требуется некоторое уточнение. В табл. 1 приведено среднее значение величины  $\overline{n_e^2 R}$  по всем скоплениям галактик. В действительности мера эмиссии определяется как интеграл квадрата электронной концентрации вдоль луча зрения, пересекающего скопление. Усредняя  $ME(l)$  по всем прицельным расстояниям  $l$  луча зрения относительно центра скопления, получаем

$$ME = \alpha \overline{n_e^2 R}, \quad (12)$$

где безразмерный параметр

$$\alpha = \frac{4}{9} R^3 \frac{\int_0^R l dl \int_e^R \frac{n_e^2(r) r}{\sqrt{r^2 - l^2}}}{\left[ \int_0^R n_e(r) r^2 dr \right]^2} = \frac{4}{9} R^3 \frac{\int_0^R n_e^2(r) r^2 dr}{\left[ \int_0^R n_e(r) r^2 dr \right]^2}. \quad (13)$$

Здесь  $R$  обозначает радиус скопления, а  $n_e(r)$  — распределение объемной электронной концентрации. При  $n_e(r) = \text{const}$   $\alpha = 4/3$ . Если распределение вириальных масс аналогично распределению галактик в скоплении Волосы Вероники, то  $\alpha \approx 5$ , и среднее исправленное значение меры эмиссии у скоплений получается  $\sim 50$ . Существенное различие между  $\overline{n_e^2}$  и  $\overline{n_e}^2$  при наличии градиента электронной концентрации в скоплениях приводит к тому, что в центральных частях скоплений мера эмиссии имеет довольно большое значение. Например, у скопления типа Волосы Вероники средняя мера эмиссии в центральной области диаметром 0.8 мпс (30' на расстоянии 92 мпс) составляет  $\overline{ME}_{30'} \approx 2000$ .

Покажем, что в случае скоплений галактик существование вириальных масс с наблюдательными данными не согла-

суется. Пусть вириальный газ в скоплениях нагрет до температуры  $T = 10^6 \div 10^7 K^\circ$ . Тогда тепловое рентгеновское излучение его будет определяться выражением

$$\frac{dE}{dt dV d\omega} = n_e^2 \frac{16 e^6}{3 \sqrt{3} m^2 c^3} \left( \frac{2 \pi m}{kT} \right)^{1/2} e^{-\frac{\hbar \omega}{kT}} \quad (14)$$

(приближение Гаунта [11] при  $x = \frac{\hbar \omega}{kT} > 1$ ), где  $e$ ,  $m$  — заряд и масса электрона,  $\hbar$  — постоянная Планка, а  $\omega$  — частота излучения. Перекрываясь друг другом, скопления галактик будут создавать квазиизотропный поток

$$F(\omega_1, \omega_2) = \frac{2.5 \cdot 10^6}{\sqrt{T}} \overline{ME \sigma} [Eix_1 - Eix_2] \text{ квантов/см}^2 \text{ сек стер}, \quad (15)$$

где  $Eix$  — интегральная показательная функция. Из наблюдений [12] известно, что изотропный рентгеновский поток в интервале  $2 \text{ \AA} \div 8 \text{ \AA}$  составляет 6 квантов/см<sup>2</sup> сек стер. Подставляя в (15)  $ME = 50$ ,  $\sigma = 2.0$ , для  $T = 10^7 K^\circ$  имеем  $F(2 \text{ \AA} \div 8 \text{ \AA}) = 5 \cdot 10^3$  квантов/см<sup>2</sup> сек стер. При температуре  $T = 2 \cdot 10^6 K^\circ$   $F(2 \text{ \AA} \div 8 \text{ \AA}) = 23$  кванта/см<sup>2</sup> сек стер. Следовательно, наблюдательные данные говорят о том, что температура вириального газа в скоплениях не превышает  $2 \cdot 10^6 K^\circ$ . Однако при этих температурах у скоплений галактик должно наблюдаться интенсивное радиоизлучение. К примеру, на расстоянии скопления Девы при  $T \leq 2 \cdot 10^6 K^\circ$  ожидаемый радиопоток на длине волны  $\lambda = 1 \text{ м}$  составляет  $F > 100 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ цу}$ . При  $T = 10^4 K^\circ$   $F = 900 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ цу}$ , что даже больше, чем у сильного радиисточника Дева А. Яркостная температура в центральных частях скоплений оказывается порядка  $100 K^\circ$  (при  $\lambda = 1 \text{ м}$  и  $T = 10^4 K^\circ$ ). Таким образом, существование вириальных масс в скоплениях галактик данными рентгеновских и радионаблюдений исключается\*.

\* Независимые соображения, основанные на анализе ситуации, когда в спектрах далеких квазаров образуются линии поглощения  $L_\alpha$  из-за проектирования скоплений галактик, также приводят к выводу [18], что плотность водорода в скоплениях значительно меньше вириальных оценок.

## 4. НЕСТАЦИОНАРНОСТЬ СИСТЕМ ГАЛАКТИК

Помимо изложенных данных, в работах [4, 13] мы привели ряд соображений, по которым следует отказаться от стационарности большинства систем галактик и от присутствия в них вириальных масс вещества.

Если большинство систем галактик пребывает в состоянии нестационарности и распада, то характерный возраст их можно определить временем экспансии  $t_{\text{эксн}} = \bar{R}/(3 \langle \Delta V_r^2 \rangle)^{1/2}$ . Для пар галактик при радиальном характере движений компонентов  $\bar{t}_{\text{эксн}} = \left( \frac{R_{12}}{V_{r12}} \right)$ , где  $R_{12}$  и  $V_{r12}$  соответственно взаимные расстояния и относительные лучевые скорости компонентов пары. Распределение числа систем галактик по значениям  $t_{\text{эксн}}$  изображено на рис. 5. В последнем столбце табл. 1 приведены средние величины времени экспансии для каждого типа систем. Обращает на себя внимание монотонное возрастание времени экспансии при переходе от пар и триплетов через группы к скоплениям и сверхскоплениям галактик. При этом экспансионный возраст Метагалактики (пунктир на рис. 5) является как бы верхним пределом возможных значений  $t_{\text{эксн}}$  у систем галактик. Обнаруженная закономерность приводит к мысли, что, располагая системы галактик в порядке возрастания их населенности, мы тем самым располагаем их во временной, эволюционной последовательности. По нашему мнению, это свидетельствует о происходящем процессе „размножения“ галактик в согласии с космогонической концепцией В. А. Амбарцумяна [14].

Обратим внимание на следующую любопытную деталь. Существует категория систем галактик, члены которых имеют пекулярные структурные свойства: „хвосты“, „перемычки“ и т. д. Б. А. Воронцов-Вельяминов [15] называет их „взаимодействующими“ галактикамм. Как указано В. А. Амбарцумяном [16], эти системы образовались сравнительно недавно, так что пекулярная структура не успела еще разрушиться индивидуальными вращениями галактик. Поэтому следует ожидать, что возраст „взаимодействующих“ систем

окажется порядка периода обращения галактики вокруг своей оси ( $\sim 2 \cdot 10^8$  лет). Это подтверждают данные табл. 2, в которой приведены общее число групп галактик и число „взаимодействующих“ групп для разных интервалов  $t_{\text{экс}}$ . К категории „взаимодействующих“ группы причислялись по данным каталога [15].

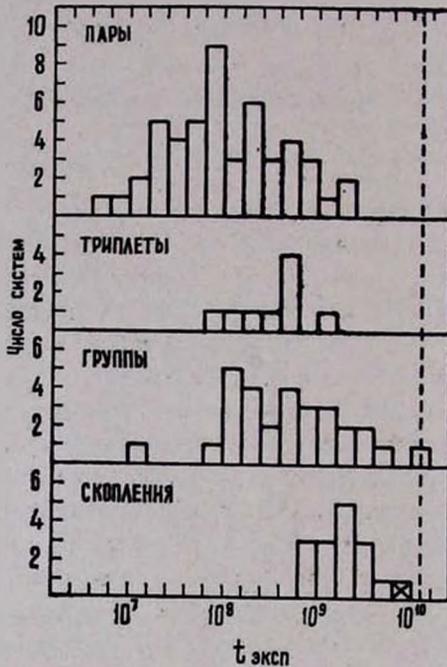


Рис. 5. Распределение систем галактик по значениям времени экспансии  $t_{\text{экс}}$ . Пунктиром отмечено значение  $t_{\text{экс}}$  для Метагалактики.

Նկ. 5. Գալակտիկաների համակարգությունների բաշխումը ըստ  $t_{\text{экс}}$  լայնացման ժամանակի արժեքների: Ընդհանուր առմամբ նշանակված է  $t_{\text{экс}}$  արժեքը Մետագալակտիկայի համար:

У пар галактик рассматриваемая закономерность несколько затухает из-за эффектов случайной ориентации. В табл. 3 среднее время экспансии у „взаимодействующих“ пар, триплетов и групп галактик сопоставлено со средним

Таблица 2

$t_{\text{экс}}$	Общее число групп	Число „взаимодействующих“
$< 2 \cdot 10^8$ лет	10	6
$(2 \div 10) \cdot 10^8$ лет	10	1
$> 10^9$ лет	9	0

Таблица 3

Системы	$t_{\text{экс}}$ общее	$t_{\text{экс}}$ „взаимодействующих“
Пары	$2.6 \cdot 10^8$ лет	$1.1 \cdot 10^8$ лет
Триплеты,	$4.5 \cdot 10^8$ лет	$2.9 \cdot 10^8$ лет
Группы	$11.4 \cdot 10^8$ лет	$2.1 \cdot 10^8$ лет

$t_{\text{экс}}$  у всех соответствующих систем. В каждом случае время экспансии „взаимодействующих“ систем заметно меньше, чем у остальных систем данного типа, и практически совпадает с характерным периодом обращения галактики вокруг своей оси. Отмеченное обстоятельство трудно объяснить в рамках стационарности систем галактик.

#### ВЫВОДЫ

Мнение о том, что процесс образования галактик происходил не только в далеком прошлом, но и происходит в настоящую эпоху, стало почти общепринятым. Однако имеются принципиально разные точки зрения на механизм процесса образования галактик.

Если допустить, что системы галактик пребывают в стационарном состоянии, то необходимые для стабилизации систем скрытые вириальные массы вещества могут служить исходным материалом для формирования новых галактик. При этом конкретным путем образования галактик считается гравитационное конденсирование их из диффузной среды.

Космогоническая концепция В. А. Амбарцумяна также предполагает существование невидимых масс вещества. Однако она исходит из нестационарности систем галактик, следствием которой является формирование членов системы в малых объемах пространства из относительно плотных тел, причем масса их, очевидно, не находится в какой-либо связи с вириальными массами.

Поскольку существование диффузного вещества в количестве, необходимом для стабилизации систем галактик,

противоречит наблюдательным данным, то тем самым гипотезы образования галактик путем гравитационного конденсирования диффузной среды лишаются основного резервуара вещества, способного сформировать новые галактики. Имеющиеся данные наблюдений еще не позволяют сделать вывод о том, существует ли в Метагалактике однородная диффузная среда с плотностью порядка  $\rho_{кр}$ . Но то обстоятельство, что молодые „взаимодействующие“ галактики составляют примерно одну и ту же долю общего числа галактик как в скоплениях, так и в фоне между скоплениями (5—10% по данным [15, 17]), делает предположение о наличии диффузной среды с  $\rho \sim \rho_{кр}$  маловероятным.

Автор благодарит академика В. А. Амбарцумяна и В. Ю. Теребижа за обсуждение результатов работы.

Ի. Դ. ԿԱՐԱՉԵՆՑԵՎ

ԳԱՎԱԿՏԻԿԱՆԵՐԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԻՋԻՆ  
ՀԱՏԿԱՆԻՇՆԵՐԸ ԵՎ ԱՆՏԵՍԱՆԵԼԻ ՎԻՐԻԱԼԱՅԻՆ ԶԱՆԳՎԱԾՆԵՐԻ  
ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ՊՐՈՐԱՅԸ

Ա մ փ ո վ ու մ

Գալակտիկաների 143 համակարգությունների վերլուծության հիման վրա [4] բերվում են տվյալներ գալակտիկաների զույգերի, խմբերի, կույտերի և գերկույտերի համար նրանց միջին լուսատվությունների, չափսերի և նրանց մեջ գտնվող տեսանելի և ենթադրվող անտեսանելի նյութի խտության մասին: Հաշվվում է Մետա-գալակտիկայի միավոր ծավալում գտնվող տարբեր համակարգությունների կենտրոնների խտությունը և այդ համակարգությունների կողմից ծածկվող երկնքի մակերեսը:

Ցույց է տրված, որ գալակտիկաների համակարգություններում գազի վիրիալային զանգվածների գոյության ենթադրությունը հակասում է դիտողական տվյալներին: Քննարկվում է գալակտիկաների համակարգությունների ոչ կայունության գաղափարը:

I. D. KARACHENTSEV

THE AVERAGE CHARACTERISTICS OF SYSTEMS  
OF GALAXIES AND THE PROBLEM OF EXISTENCE  
OF LATENT VIRIAL MASSES

## S u m m a r y

Taking as a basis the analysis of the 143 systems of galaxies [4] the data on the average luminosities, dimensions, dispersion of velocities, density of observed and hypothetical latent matter for pairs, groups, clusters and superclusters are given. The numbers of centres of various systems in a unite of volume of the Metagalaxy and the area of sky, covered by various systems of galaxies are calculated.

It is shown, that the assumption about the existence of virial masses of gases in systems of galaxies contradicts to the observational data. The concept of the instability of the systems of galaxies is discussed.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Л. Гинзбург, Л. М. Озерной, *Астрон. журнал*, 42, 943, 1965.
2. Я. Б. Зельдсвич, *УФН*, 89, 647, 1966.
3. А. Г. Дорошкевич, Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, *АЖ*, 44, 295, 1967.
4. И. Д. Караченцев, *Астрофизика*, 2, 81, 1966.
5. M. L. Hiltazon, N. U. Mayall, A. R. Sandage, *A. J.*, 61, 97, 1956.
6. И. Д. Караченцев, *ДАН СССР*, 158, 815, 1964.
7. И. Д. Караченцев, *Астрофизика*, 2, 307, 1966.
8. J. N. Koehler, *Ap. J.*, 146, 504, 1966.
9. J. N. Bahcall, E. E. Salpeter, *Ap. J.*, 144, 847, 1956.
10. J. N. Bahcall, B. A. Peterson, M. Schmidt, *Ap. J.*, 145, 369, 1966.
11. W. H. Tucker, R. J. Gould, *Ap. J.*, 144, 244, 1966.
12. S. Bowyer, E. T. Byram, T. A. Chubb, H. Friedman, *Nature*, 201, 1307, 1964.
13. И. Д. Караченцев, *Астрофизика*, 1, 303, 1965.
14. В. А. Амбарцумян, *Научные труды*, 2, 298, Ереван, 1960.
15. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красноярская, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик*, I, II, III, МГУ, 1964.
16. В. А. Амбарцумян, *Труды шестого совещания по вопросам космогонии*, М., АН СССР, 1959.
17. И. Д. Караченцев. *Изв. АН АрмССР, физ.-мат. сер.*, 17, 103, 1964; 17, 109, 1964.
18. И. Д. Караченцев, *Астрофизика*, 3, 89, 1967.