АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4 АВГУСТ, 1968 ВЫПУСК 3

К СТАТИСТИКЕ „ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ“ ГАЛАКТИК

И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ, В. Ю. ТЕРЕБИЖ

Поступила 4 ноября 1967

Обсуждаются данные о пространственном распределении систем „взаимодействующих“ галактик ярче $15^{m}.0$. Результаты статистического анализа свидетельствуют о том, что процессы, приводящие к образованию „взаимодействующих“ галактик, обусловлены внутренними причинами.

Наблюдения на больших светосильных телескопах привели к обнаружению кратных систем галактик, между членами которых имеется слабо светящаяся среда в виде „перемычек“, „хвостов“ или общей „атмосферы“ [1]. У членов таких систем часто заметны сильные искажения нормальной структуры. Должное внимание к этим объектам привлек Б. А. Воронцов-Вельяминов, опубликовав Атлас „взаимодействующих“ галактик [2] и Морфологический каталог галактик [3].

Несомненная физическая связь между членами „взаимодействующих“ систем галактик, крайне малая доля оптических, случайно спроектировавшихся систем среди них делает „взаимодействующие“ галактики весьма удобными объектами для статистического исследования. Анализ распределения „взаимодействующих“ галактик дает критерии для проверки различных гипотез об их происхождении. Перечислим основные из этих гипотез.

1. Отмеченные возмущения структуры и формы галактик могут явиться следствием столкновений или тесных сближений галактик [1]. В этом случае число „взаимодействующих“ галактик в некотором объеме должно быть пропорционально квадрату общего числа галактик. Известно, однако, что доля „взаимодействующих“ галактик на много порядков превышает то значение, которое следует из гипотезы о столкновениях. Это, а также некоторые из приведенных ниже со-

ображений определенно показывают, что рассматриваемая гипотеза не соответствует действительности.

2. Значительная часть „взаимодействующих" систем образовалась сравнительно недавно и члены их имеют совместное происхождение [4]. В пользу этого говорят следующие аргументы:

а) кратные „взаимодействующие" системы часто имеют неустойчивую конфигурацию типа трапеции;

б) по спектральным данным одномерные структуры в виде „хвостов" и „перемычек" сходны по населению со спиральными рукавами галактик, т. е. состоят в основном из звезд, а не диффузной среды [1]; соображения относительно устойчивости таких образований приводят к выводу об их недавнем происхождении;

в) компоненты „взаимодействующих" пар и цепочек галактик в изученном сверхскоплении в Геркулесе расположены друг относительно друга не случайным образом, а имеют предпочтительную ориентацию [5]; это позволяет предположить, что возраст компонентов не превышает времени порядка среднего периода обращения галактики вокруг своей оси ($\simeq 2\cdot 10^8$ лет);

г) у членов некоторых „взаимодействующих" систем (NGC 5363—64, $13^h45^m + 34°07'$, $23^h39^m - 03°54'$, „квартет Стефана" и др.) взаимные скорости явно превышают параболическую скорость; полная энергия таких систем, по-видимому, положительна и они распадаются;

д) характерное время экспансии „взаимодействующих" систем с положительной энергией получается в среднем $(2.0 \pm 0.4)\cdot 10^8$ лет [6], то есть совпадает с ожидаемым по соображениям а), б) и в).

Гипотеза 2, согласно которой члены „взаимодействующих" систем имеют недавнее совместное происхождение, объединяет в себе два принципиально различных предположения о механизме образования таких объектов.

В концепции В. А. Амбарцумяна [4] явления „взаимодействия" галактик понимаются как остаточный результат процесса их совместного образования путем деления ядер галактик. В этом случае следует ожидать, что число „взаимодействующих" галактик должно быть пропорционально общему числу галактик.

Другая точка зрения состоит в том, что молодые галактики с признаками „взаимодействия" могут образовываться путем фрагментации диффузной межгалактической среды. Если допустить, что такая среда, обладающая необходимыми свойствами, существует, то статистические характеристики пространственного распределения образующихся галактик могут быть, по-видимому, весьма разнообразными.

Маловероятно, чтобы они совпадали с соответствующими характеристиками в случае процессов деления.

В качестве исходного материала для статистики мы использовали Морфологический каталог [3], составленный на основе Паломарского обзора неба. В нем приведены различные данные о галактиках и отмечены „взаимодействующие" системы. Полнота и статистическая однородность каталога [3] не исследовались. Авторы его полагают, что ориентировочный предел, до которого сохраняется еще полнота и однородность каталога, приходится приблизительно на 15-ю звездную величину.

По данным [3] делались подсчеты числа систем „взаимодействующих" галактик k, интегральная звездная величина которых $\leqslant 15^m.0$, и общего числа галактик в том же интервале звездных величин, приходящихся на площадку $6 \times 6^\circ$ (размер паломарской карты). В данной работе будем для удобства называть объектами как системы „взаимодействующих" галактик, так и нормальные галактики и обозначать общее число объектов на площадке посредством n. Чтобы избежать влияния галактического поглощения на величины k и n, рассматривались только площадки с галактической широтой $|b| \geqslant 40°$. На 254 площадках было отмечено 7950 объектов с $m \leqslant 15.0$, среди них — 560 систем „взаимодействующих" галактик. Таким образом, в этой выборке доля „взаимодействующих" систем составляет $\delta = 0.07$. Заметим, что оценки звездных величин галактик имеют в своем большинстве невысокую точность. Поэтому для контроля отдельно были рассмотрены 100 площадок (с $|b| > 40°$), где звездные величины галактик определялись Ф. Цвикки более точно. На этих площадках содержится 2490 объектов ярче $15^m.0$, в том числе 203 „взаимодействующие" системы. Доля „взаимодействующих" систем $\delta = 0.08$ и основные черты распределения их оказались практически такими же, как и в более общей выборке из 254 площадок.

Прежде чем перейти к статистическому анализу данных, отметим следующее важное обстоятельство. Располагая сведениями о лучевых скоростях v и фотографических звездных величинах m_{pg} (собранных в [3]) для 103 „взаимодействующих" галактик, мы построили для них хаббловскую зависимость $m_{pg} = 5 \lg v - c$ и сравнили ее с аналогичной зависимостью для 474 галактик фона по данным [7]. Величина постоянной c, определяющей среднюю абсолютную величину „взаимодействующих" галактик, получилась равной $4^m.08 \pm 0^m.12$. В пределах погрешности она совпадает с оценкой c для 474 нормальных галактик: $c = 4^m.24 \pm 0^m.13$. Оказалось (рис. 1), что и функция светимости „взаимодействующих" галактик $\varphi(M - \overline{M})$, где M — абсолютная

величина, практически совпадает с $\varphi(M-\overline{M})$ для нормальных галактик. Это обстоятельство, имеющее, конечно, и самостоятельное значение, существенно упрощает статистический анализ распределения систем „взаимодействующих" галактик и позволяет считать, что флюктуации величин k и n на фиксированных площадках обусловлены неоднородностью распределения всех галактик и „взаимодействующих" среди них в одних и тех же объемах пространства.

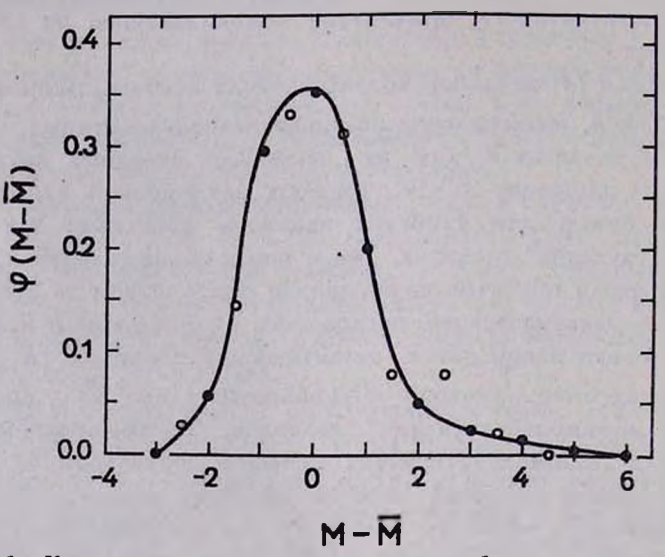

Рис. 1. Кривая, проведенная по точкам, изображает функцию светимости $\varphi(M-\overline{M})$ для 474 галактик [7]; кружки обозначают $\varphi(M-\overline{M})$ для „взаимодействующих" галактик.

Таким образом, можно утверждать, что пространственная плотность систем „взаимодействующих" галактик составляет $\delta = 0.07$ от пространственной плотности всех объектов в выборке до $15^{m}.0$. По данным [5] в богатых скоплениях Волосы Вероники и Геркулес „взаимодействующие" системы составляют такую же долю ($\delta = 0.07 \pm 0.01$ по всему скоплению Волосы Вероники, $\delta = 0.09 \pm 0.02$ в центральной области размером $r < 0^{\circ}.5$ и $\overline{\delta} = 0.09$ для пяти скоплений на южном конце сверхскопления в Геркулесе).

Обратимся теперь непосредственно к имеющимся данным. Пусть $Q(n)$ обозначает вероятность обнаружения на заданной площадке (в рассматриваемом случае — на паломарской карте) n объектов ярче $15^{m}.0$. Аналогичную величину для систем „взаимодействующих" галактик обозначим посредством $Q^{*}(k)$. Наблюдаемые значения функции $Q(n)$

приведены в табл. 1. Функция $Q^*(k)$ представлена на рис. 2 сплошной линией.

Таблица 1

n	$Q(n)$	n	$Q(n)$
0— 9	0.082	70— 79	0.020
10— 19	0.231	80— 89	0.016
20— 29	0.208	90— 99	0.008
30— 39	0.184	100—109	0.000
40— 49	0.145	110—119	0.004
50— 59	0.067	120—129	0.000
60— 69	0.035		

Далее, характер связи между общим числом объектов и числом систем „взаимодействующих" галактик определяется условной функцией распределения числа „взаимодействующих" систем $P_n(k)$. Очевидно,

$$Q^*(k) = \sum_{n=k}^{\infty} Q(n) P_n(k) \tag{1}$$

и задача состоит в том, чтобы на основании наблюдаемых значений величин Q и Q^* сделать выводы о свойствах функции $P_n(k)$. Отмеченный выше факт постоянства доли систем „взаимодействующих" галактик позволяет сделать следующее предположение: каждый объект с некоторой вероятностью δ, не зависящей от общего числа объектов, может оказаться „взаимодействующей" системой, то есть

$$P_n(k) = C_n^k \delta^k (1-\delta)^{n-k}, \tag{2}$$

причем величина δ равна 0.07. Подставляя (2) в формулу (1) и пользуясь приведенными в табл. 1 величинами $Q(n)$, мы можем вычислить значения функции $Q^*(k)$ и сравнить их с наблюдаемыми. Тем самым мы получим основание судить о степени справедливости сделанного предположения.

Найденная таким путем функция $Q^*(k)$ представлена на рис. 2 пунктирной линией. Мы видим, что согласие между вычисленными и наблюдаемыми значениями весьма хорошее. Оценка расхождения согласно критерию χ^2 показывает, что имеется вероятность около 0.85 получить отклонение от ожидаемого результата по крайней мере такое же большое, как фактически наблюденное.

Существует еще одна возможность проверки предположения, выражающегося формулой (2): мы можем найти кривые регрессии для средних значений $\overline{k}(n)$ и $\overline{n}(k)$, определяемые выражениями

$$\overline{k}(n) = \sum_{k=0}^{n} kP_n(k) \tag{3}$$

и

$$\overline{n}(k) = \frac{1}{Q^*(k)} \sum_{n=k}^{\infty} nQ(n)\, P_n(k). \tag{4}$$

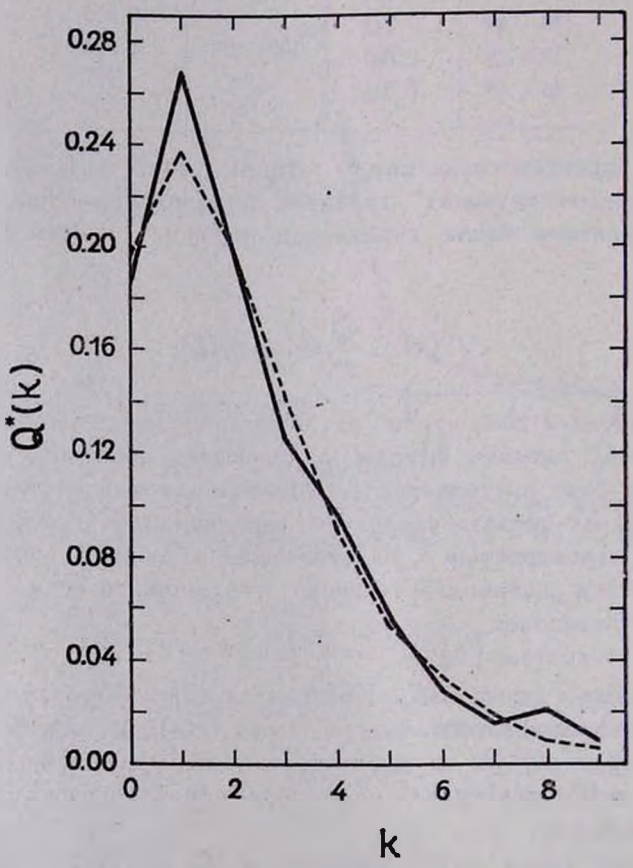

Рис. 2.

Если $P_n(k)$ имеет вид (2), то $\overline{k}(n) = \delta n$. Наблюдаемые значения величин $\overline{k}(n)$ и $\overline{n}(k)$ представлены на рис. 3 в виде точек. Там же приведены вычисленные по формулам (3) и (4) линии регрессии. При этом для $P_n(k)$ было принято выражение (2) с $\delta = 0.07$, а для функции $Q^*(k)$ брались значения, вычисленные по формуле (1). Как видно,

вновь можно констатировать удовлетворительное согласие вычисленных и наблюдаемых значений.

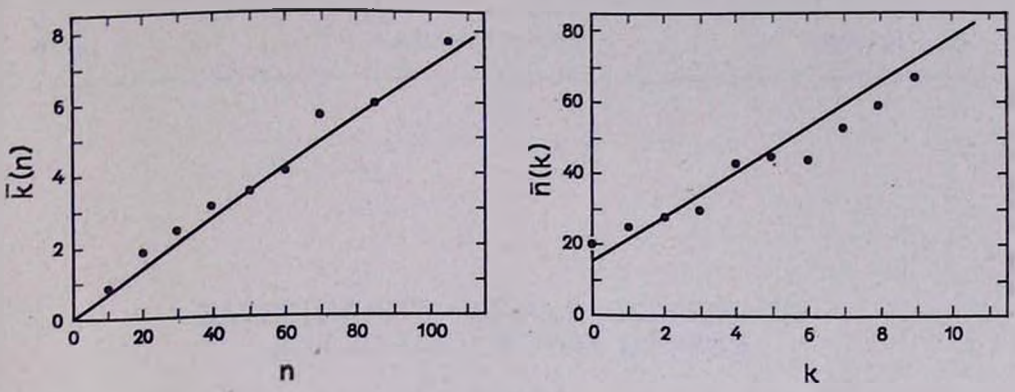

Рис. 3.

Таким образом, полученные результаты подтверждают точку зрения В. А. Амбарцумяна о том, что процессы, приводящие к образованию „взаимодействующих" галактик, обусловлены внутренними причинами и носят спонтанный характер.

Авторы благодарны В. А. Липовецкому за полезные обсуждения.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE STATISTICS OF "INTERACTING" GALAXIES

I. D. KARACHENTSEV, V. Yu. TEREBIZH

The data of the systems of "interacting" galaxies brighter than $15^{m}.0$ spatial distribution are discussed. The results of statistical analysis have proved that the processes giving rise to „interacting" galaxies have been induced by internal causes.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ф. Цвикки*, Строение звездных систем, ИЛ., М., 1962.
2. *Б. А. Воронцов-Вельяминов*, Атлас и каталог взаимодействующих галактик, ч. I, МГУ, 1959.
3. *Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, А. А. Красногорская*, Морфологический каталог галактик, МГУ, ч. I, 1962; ч. II, 1964; ч. III, 1963.
4. *V. A. Ambartsumian*, Solvay Conference Report, Brussels, p. 241, 1958.
5. *И. Д. Караченцев*, Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 17, 3, 103; 4, 109; 1964.
6. *И. Д. Караченцев*, Сообщ. Бюр. обс., 39, 96, 1967.
7. *M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage*, A. J., 61, 97, 1956.