

УДК 524.7.74

К СТАТИСТИКЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ТИПОВ  
ОДИНОЧНЫХ ГАЛАКТИК И КОМПОНЕНТОВ ПАР

М. А. АРАКЕЛЯН

Поступила 22 ноября 1982

Принята к печати 20 июля 1983

Исследовано влияние наблюдательной селекции на каталожные распределения морфологических типов одиночных галактик и компонентов пар. Показано, что различия между морфологическими составами того и другого каталогов, а также указания на неслучайный характер комбинирования в пары, могут быть интерпретированы как результаты селекции.

1. *Введение.* Каталожное распределение по морфологическим типам одиночных галактик и компонентов пар имеет две особенности [1]:

- а) относительное количество одиночных эллиптических галактик заметно меньше их относительного количества среди компонентов пар;
- б) относительное количество пар с одинаковыми морфологическими типами компонентов заметно превосходит математическое ожидание этой величины, вычисленное в предположении о случайном распределении морфологических типов компонентов пар.

В настоящей заметке показана возможность возникновения подобных особенностей каталожных распределений вследствие специфического влияния наблюдательной селекции на морфологический состав каталога двойных галактик. Такое влияние неизбежно, если функции светимости галактик различных морфологических типов различны. Оно осуществляется и в том случае, когда внутри каждого морфологического типа функции светимости одиночных галактик и компонентов пар идентичны. Учет этого обстоятельства может полностью устранить обе указанные выше особенности или заметно ослабить их.

2. *Истинное и каталожное распределения морфологических типов одиночных галактик.* Пусть относительные количества спиральных и эллиптических галактик в единице объема равны, соответственно,  $\delta_S$  и  $\delta_E$ . Обоз-

начив функции светимости галактик этих типов через  $\varphi_S(M)$  и  $\varphi_E(M)$ , введем величины

$$V_S = \int 10^{-0.6x} \varphi_S(x) dx \quad \text{и} \quad V_E = \int 10^{-0.6x} \varphi_E(x) dx, \quad (1)$$

где  $M$  — абсолютная величина.  $V_S$  и  $V_E$  есть величины, пропорциональные средним объемам, освещаемым галактиками соответствующих морфологических типов. Поскольку они характеризуют степень полноты каталога в отношении галактик того и другого морфологического типов, будем называть их параметрами полноты каталога одиночных галактик. Если для каждого морфологического типа вид функции светимости не меняется при переходе от одиночных галактик к членам систем различной кратности, то те же параметры (1) характеризуют также степень полноты каталога случайно взятых галактик.

Относительные количества (частоты) галактик того и другого морфологического типов в каталоге одиночных галактик составят

$$v_S = \frac{\partial_S V_S}{\partial_S V_S + \partial_E V_E} \quad \text{и} \quad v_E = \frac{\partial_E V_E}{\partial_S V_S + \partial_E V_E}. \quad (2)$$

Очевидно также, что

$$\partial_S = \frac{v_S}{V_S} \left( \frac{v_S}{V_S} + \frac{v_E}{V_E} \right)^{-1} \quad \text{и} \quad \partial_E = \frac{v_E}{V_E} \left( \frac{v_S}{V_S} + \frac{v_E}{V_E} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, переход от каталожного распределения галактик по морфологическим типам к их истинному распределению осуществляется введением поправочных множителей, обратно пропорциональных средним объемам, освещаемым галактиками того и другого морфологических типов. Использование предложенных Вокулером [2] формул, содержащих вместо средних объемов кубы средних расстояний, может привести к существенным ошибкам. Действительно, указанные две величины, вычисленные, например, на основе функции светимости галактик поля Хукра и Сарджента [3], отличаются более, чем на порядок.

3. *Истинное и каталожное распределения морфологических типов компонентов пар.* Обозначим двумерную функцию светимости пар с морфологическими типами компонентов  $T_1$  и  $T_2$  через  $\Phi_{T_1, T_2}(M_1, M_2)$ . (Здесь и далее первые индексы всех функций распределения и их первые аргументы относятся к первым по светимости компонентам пар). Очевидно,

$$\Phi_{T_1, T_2}(M_1, M_2) = 0 \quad \text{при} \quad M_1 > M_2. \quad (4)$$

Величины

$$V_{T_1 T_2} = \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} dy \int_{-\infty}^y \Phi_{T_1 T_2}(x, y) dx \quad (5)$$

будут пропорциональны средним объемам, освещаемым вгорыми по светимости компонентами, относящимися к типу  $T_2$ , в парах, где первые компоненты относятся к типу  $T_1$ . Очевидно, величины (5) характеризуют степень представительности каталога двойных галактик в отношении пар различного морфологического состава. Будем называть их параметрами полноты каталога двойных.

Пусть  $\delta_{T_1 T_2}$  — истинные относительные количества пар различного морфологического состава. Частоты пар различного морфологического состава в каталоге двойных будут, очевидно, равны

$$v_{T_1 T_2} = A \delta_{T_1 T_2} V_{T_1 T_2}, \quad (6)$$

где  $A$  определяется условием нормировки. В частности, при рассмотрении множества галактик морфологических типов  $S$  и  $E$ , имеем следующие формулы, аналогичные (2):

$$v_{SS} = A \delta_{SS} V_{SS}, \quad v_{SE} = A \delta_{SE} V_{SE}, \quad v_{ES} = A \delta_{ES} V_{ES}, \quad v_{EE} = A \delta_{EE} V_{EE}, \quad (7)$$

где

$$A = (\delta_{SS} V_{SS} + \delta_{SE} V_{SE} + \delta_{ES} V_{ES} + \delta_{EE} V_{EE})^{-1}. \quad (8)$$

С другой стороны, определив  $A$  как

$$A = \frac{v_{SS}}{V_{SS}} + \frac{v_{SE}}{V_{SE}} + \frac{v_{ES}}{V_{ES}} + \frac{v_{EE}}{V_{EE}}, \quad (9)$$

будем иметь формулы, аналогичные (3),

$$\delta_{SS} = \frac{1}{A} \frac{v_{SS}}{V_{SS}}, \quad \delta_{SE} = \frac{1}{A} \frac{v_{SE}}{V_{SE}}, \quad \delta_{ES} = \frac{1}{A} \frac{v_{ES}}{V_{ES}}, \quad \delta_{EE} = \frac{1}{A} \frac{v_{EE}}{V_{EE}}. \quad (10)$$

Относительные количества спиральных и эллиптических галактик среди компонентов пар, очевидно, будут

$$\begin{aligned} \delta_S &= \frac{1}{A} \left[ \frac{v_{SS}}{V_{SS}} + \frac{1}{2} \left( \frac{v_{SE}}{V_{SE}} + \frac{v_{ES}}{V_{ES}} \right) \right], \\ \delta_E &= \frac{1}{A} \left[ \frac{v_{EE}}{V_{EE}} + \frac{1}{2} \left( \frac{v_{SE}}{V_{SE}} + \frac{v_{ES}}{V_{ES}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Исключив  $\delta_S$  и  $\delta_E$  из (3) и (11), можно записать условие совпадения морфологических составов одиночных галактик и компонентов пар в виде

$$\frac{v_S}{V_S} \frac{V_E}{v_E} = \frac{\frac{v_{SS}}{V_{SS}} + \frac{1}{2} \left( \frac{v_{SE}}{V_{SE}} + \frac{v_{ES}}{V_{ES}} \right)}{\frac{v_{EE}}{V_{EE}} + \frac{1}{2} \left( \frac{v_{SE}}{V_{SE}} + \frac{v_{ES}}{V_{ES}} \right)}, \quad (12)$$

где все величины в левой части относятся к одиночным галактикам. Таким образом, морфологические составы одиночных галактик и компонентов пар могут быть согласованы, если параметры полноты соответствующих каталогов удовлетворяют единственному условию (12). Это условие сохраняется при любых функциях светимости как одиночных, так и двойных галактик. В частности, если пары представляют собой случайные сочетания галактик различных морфологических типов, то

$$\Phi_{T_1 T_2}(M_1, M_2) = 2\psi_{T_1}(M_1)\psi_{T_2}(M_2), \quad (13)$$

где  $\psi_{T_1}(M)$  и  $\psi_{T_2}(M)$  — функции светимости галактик морфологических типов  $T_1$  и  $T_2$  в составе пар. Отметим, что они могут отличаться от аналогичных функций, соответствующих одиночным галактикам. Параметры полноты каталога пар запишутся в этом случае в виде

$$V_{T_1 T_2} = 2 \int 10^{-0.6y} \psi_{T_1}(y) \Psi_{T_2}(y) dy, \quad (14)$$

где  $\Psi_T(M)$  — интегральная функция светимости, соответствующая  $\psi_T(M)$ .

В предположении о случайном морфологическом составе пар далее имеем

$$\delta_{SS} = \delta_{S_1}^2, \quad \delta_{SE} + \delta_{ES} = 2\delta_S \delta_E, \quad \delta_{EE} = \delta_E^2, \quad (15)$$

что позволяет записать  $A$  в виде

$$A = \left[ \left( \frac{v_{SS}}{V_{SS}} \right)^{1/2} + \left( \frac{v_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} \right]^2, \quad (16)$$

а истинные относительные количества спиральных и эллиптических галактик — в виде

$$\delta_S = \left( \frac{v_{SS}}{V_{SS}} \right)^{1/2} \left[ \left( \frac{v_{SS}}{V_{SS}} \right)^{1/2} + \left( \frac{v_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} \right]^{-1}, \quad (17)$$

$$\delta_E = \left( \frac{v_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} \left[ \left( \frac{v_{SS}}{V_{SS}} \right)^{1/2} + \left( \frac{v_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} \right]^{-1}.$$

Из (9) и (16) также следует

$$\frac{\nu_{SE}}{V_{SE}} + \frac{\nu_{ES}}{V_{ES}} = 2 \left( \frac{\nu_{SS}}{V_{SS}} \frac{\nu_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} \quad (18)$$

Исключив  $\delta_S$  и  $\delta_E$  из (11) и (17), получим условие, которому должны удовлетворять параметры полноты каталога пар в предположении о случайном распределении морфологических типов компонентов:

$$\left( \frac{\nu_{SS}}{V_{SS}} \frac{\nu_{EE}}{V_{EE}} \right)^{1/2} = \frac{\frac{\nu_{SS}}{V_{SS}} + \frac{1}{2} \left( \frac{\nu_{SE}}{V_{SE}} + \frac{\nu_{ES}}{V_{ES}} \right)}{\frac{\nu_{EE}}{V_{EE}} + \frac{1}{2} \left( \frac{\nu_{SE}}{V_{SE}} + \frac{\nu_{ES}}{V_{ES}} \right)} \quad (19)$$

Таким образом, в рамках предположения о случайном морфологическом составе компонентов пар наблюдаемые частоты спиральных и эллиптических галактик в каталоге двойных могут быть приведены в соответствии с частотами пар различного морфологического состава при условии, что параметры полноты каталога пар удовлетворяют уравнению (19).

4. *Применение к каталогам двойных и одиночных галактик.* Оценим порядок различий между значениями параметров полноты каталога изолированных пар Караченцева [4] в предположении, что отмеченные выше особенности каталожного распределения морфологических типов компонентов пар и одиночных галактик [5] обусловлены влиянием селекции. В статье [1] приведены следующие данные о распределении пар различного морфологического состава в упомянутом выше каталоге изолированных пар галактик:

$$\nu_{SS} = 0.60, \quad \nu_{SE} + \nu_{ES} = 0.27, \quad \nu_{EE} = 0.13. \quad (20)$$

Поскольку подстановка (18) в (19) обращает последнее в тождество, то значения параметров полноты каталога пар, удовлетворяющие (18), также способны обусловить согласие приведенных величин с предположением о случайном морфологическом составе пар галактик. С другой стороны, очевидно, что параметры полноты могут удовлетворять условию (18), мало отличаясь друг от друга. Малость отличий между необходимыми значениями параметров полноты показывает, что предположение о случайном морфологическом составе пар не является неправдоподобным.

Обратимся теперь к различиям между морфологическими составами одиночных и двойных галактик. Частоты галактик того и другого морфологических типов в указанном выше каталоге Караченцевой составляют

$$\nu_S = 0.83, \quad \nu_E = 0.17. \quad (21)$$

Для согласования этих значений с частотами галактик различных морфологических типов в каталоге пар необходимо, чтобы параметры полноты двух каталогов удовлетворяли уравнению (12). Для того, чтобы были выполнены два условия — случайное распределение морфологических типов компонентов пар и совпадение морфологических составов одиночных и двойных галактик — параметры полноты двух каталогов должны удовлетворять уравнениям (19) и (12). Используя (18) и (12), получим

$$\frac{\nu_S}{V_S} \frac{V_E}{\nu_E} = \left( \frac{\nu_{SS}}{V_{SS}} \frac{V_{EE}}{\nu_{EE}} \right)^{1/2}, \quad (22)$$

что с учетом (20) и (21) дает

$$\frac{V_{SS}}{V_{EE}} = 0.19 \left( \frac{V_S}{V_E} \right)^2. \quad (23)$$

Для оценки  $V_{SE}$  и  $V_{ES}$  положим их равными друг другу. Тогда из (18) и (23) получим

$$\frac{V_{SE}}{V_{EE}} = \frac{V_{ES}}{V_{EE}} = 0.21 \frac{V_S}{V_E}. \quad (24)$$

Как видим, для устранения обоих указанных выше особенностей каталожного распределения морфологических типов одиночных и двойных галактик достаточно небольших различий между значениями параметров полноты каталога пар. Следовательно, эти особенности могут быть в принципе приписаны влиянию селекции, т. е. быть объяснены без привлечения различий между функцией светимости одиночных галактик данного морфологического типа и функцией светимости компонентов пар.

Следует, тем не менее, подчеркнуть, что нами отмечается лишь принципиальная возможность подобной интерпретации рассмотренных особенностей. Судить о том, реализуется ли эта возможность в действительности, можно лишь по истинным значениям параметров полноты, вычисленным непосредственно по функциям светимости одиночных и двойных галактик. Не исключена и возможность того, что в результате подобного расчета отмеченные выше особенности будут усилены. Следовательно, учет селекции рассмотренного типа при анализе каталогов кратных объектов необходим.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## ON THE STATISTICS OF MORPHOLOGICAL TYPES OF SINGLE GALAXIES AND OF THE COMPONENTS OF PAIRS

M. A. ARAKELIAN

The influence of the observational selection on distribution of morphological types in the catalogues of the single galaxies and of the pairs of galaxies is investigated. It has been shown that the difference of morphological contents of two catalogues as well as the indication on non-random contents of the pairs can be interpreted as the results of selection.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Караченцев, В. Е. Караченцева, Астрон. ж., 51, 724, 1974.
2. G. de Vaucouleurs, Ap. J. Suppl. ser., 8, 31, 1963.
3. J. Huchra, W. L. W. Sargent, Ap. J., 186, 433, 1973.
4. И. Д. Караченцев, Сообщ. САО АН СССР, 7, 1, 1972.
5. В. Е. Караченцева, Сообщ. САО АН СССР, 8, 1, 1973.