

УДК 524.7

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМЫХ ВЕЛИЧИН И СВЕТИМОСТЕЙ ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИК

М. А. АРАКЕЛЯН

Поступила 22 ноября 1982

Принята к печати 20 июля 1983

Исследовано влияние наблюдательной селекции на каталожное распределение видимых величин и светимостей двойных галактик. Предложен метод построения функции светимости компонентов двойных на основе произвольной выборки пар галактик. Результаты применены к данным каталога изолированных пар Караченцева. Полученная функция светимости компонентов пар практически совпадает с функцией светимости случайно взятых галактик поля. Подтверждено наличие корреляции между абсолютными величинами компонентов пар.

1. *Введение.* Кратные системы галактик привлекают большое внимание в связи с возможностью существования в них особенностей, отражающих условия возникновения. Особый интерес представляют двойные галактики, предоставляющие наиболее надежную возможность определения масс галактик и отношения массы и светимости. В то же время влияние наблюдательной селекции на каталоги двойных галактик имеет несколько специфический характер, поскольку полнота таких каталогов обуславливается видимой величиной вторых по светимости компонентов пар. В настоящей заметке исследовано влияние наблюдательной селекции на каталог двойных галактик и построена функция светимости компонентов пар.

Анализ каталога [1] пар галактик был произведен недавно Караченцевым [2] сравнением каталожных данных с результатами численного моделирования. В отличие от указанной работы, учет влияния селекции производится в настоящей заметке аналитически.

2. *Функция распределения видимых величин компонентов двойных.* Обозначим функцию светимости компонентов двойных через $\Phi(M', M'')$, где M' и M'' — абсолютные величины, соответственно, первых и вторых по светимости компонентов. (Далее аргументы, обозначенные одним штрихом, и функции с индексом 1 относятся к первым по светимости компонентам пар). Функция $\Phi(M', M'')$ по определению равна нулю при $M' > M''$,

Для общности будем считать пространственную плотность δ рассматриваемых объектов функцией расстояния R . Тогда величина

$$\alpha(m-M) = 10^{0.6(m-M)} \delta[10^{0.2(m-M+5)}] \quad (1)$$

будет пропорциональна истинному числу пар с модулем расстояния $m-M$.

Пусть каталожное распределение видимых величин вторых по светимости компонентов двойных описывается функцией $f_2(m)$. Эта функция может отличаться от стандартной $C \cdot 10^{0.6m}$ вследствие особенностей пространственного распределения двойных, а также неполноты каталога.

Условная функция распределения видимых величин первых по светимости компонентов будет вида

$$\chi(m'/m'') = \begin{cases} A(m'') \int_{-\infty}^{\infty} \alpha(m''-y) \Phi(y-m''+m', y) dy & \text{при } m' \leq m'' \\ 0 & \text{при } m' > m'', \end{cases} \quad (2)$$

где

$$A(m'') = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \alpha(m''-v) dv \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(u, v) du \right]^{-1}, \quad (3)$$

Следовательно, каталожная двумерная функция распределения видимых величин компонентов пар будет вида

$$F(m', m'') = A(m'') f_2(m'') \int_{-\infty}^{\infty} \alpha(m''-y) \Phi(y-m''+m', y) dy, \quad (4)$$

откуда легко получить также функцию распределения видимых величин первых по светимости компонентов

$$f_1(m) = \int_m^{\infty} A(z) f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} \alpha(z-y) \Phi(y-z+m, y) dy. \quad (5)$$

Посредством (5) легко получить соотношения между моментами видимых величин

$$E(m') = E(m'') - \mu_1, \quad (6)$$

$$E(m'^2) = E(m''^2) - 2\mu_1^2 + \mu_2, \quad (7)$$

где

$$\mu_1 = \int_{-\infty}^{\infty} A(z) f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} a(z-y) dy \int_{-\infty}^y (y-x) \Phi(x, y) dx, \quad (8)$$

$$\mu_{12} = \int_{-\infty}^{\infty} z A(z) f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} a(z-y) dy \int_{-\infty}^y (y-x) \Phi(x, y) dx, \quad (9)$$

$$\mu_2 = \int_{-\infty}^{\infty} A(z) f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} a(z-y) dy \int_{-\infty}^y (y-x)^2 \Phi(x, y) dx. \quad (10)$$

С помощью (4) можно получить также смешанный момент

$$E(m'm'') = E(m''^2) - \mu_{12}, \quad (11)$$

соотношение между дисперсиями

$$D(m') = D(m'') + 2\mu_1 E(m'') - 2\mu_{12} - \mu_1^2 + \mu_2 \quad (12)$$

и коэффициент корреляции между m' и m'' .

$$\rho(m', m'') = \frac{D(m'') + \mu_1 E(m'') - \mu_{12}}{\sqrt{D(m'') [D(m'') + 2\mu_1 E(m'') + \mu_2 - 2\mu_{12} - \mu_1^2]}}. \quad (13)$$

Рассмотрим зависимость $N(m)$ числа галактик ярче заданной величины m . С помощью (4) можно показать, что

$$N_1(m) = N_2(m) + \int_m^{\infty} A(z) f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} a(z-y) dy \int_{-\infty}^{y-z+m} \Phi(x, y) dx. \quad (14)$$

Отсюда следует, что зависимость $\lg N_1(m)$, вообще говоря, отличается от зависимости $\lg N_2(m)$. При этом, по крайней мере при больших m , первая из этих зависимостей является более слабой.

В заключение настоящего параграфа запишем μ_1 , μ_{12} и μ_2 для случая равномерного распределения пар в пространстве. Очевидно, что в этом случае

$$\mu_1 = C \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} dy \int_{-\infty}^y (y-x) \Phi(x, y) dx, \quad (15)$$

$$\mu_{12} = C \int_{-\infty}^{\infty} z f_2(z) dz \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} dy \int_{-\infty}^y (y-x) \Phi(x, y) dx = \mu_1 E(m''), \quad (16)$$

$$\mu_2 = C \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} dy \int_{-\infty}^y (y-x)^2 \Phi(x, y) dx, \quad (17)$$

где

$$C = \left[\int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} dy \int_{-\infty}^y \Phi(x, y) dx \right]^{-1}. \quad (18)$$

Принимая во внимание (16), можно записать коэффициент корреляции для случая равномерного распределения пар в пространстве в виде

$$\rho(m', m'') = \sqrt{\frac{D(m'')}{D(m')}}. \quad (19)$$

Таким образом, при равномерном распределении пар в пространстве, независимо от вида функций $\Phi(M', M'')$ и $f_2(m)$, всегда имеется обусловленная эффектом селекции положительная корреляция между видимыми величинами первых и вторых по светимости компонентов пар.

3. *Функция светимости компонентов пар.* Условная функция распределения абсолютных величин M' и M'' компонентов пары при заданных видимых m' и m'' может быть записана в виде

$$\begin{aligned} \chi(M', M'' | m', m'') = \\ = \begin{cases} B(m', m'') \alpha(m'' - M'') \Phi(M', M'') & \text{при } M' - M'' = m' - m'' \\ 0 & \text{при } M' - M'' \neq m' - m'', \end{cases} \end{aligned} \quad (20)$$

где

$$B(m', m'') = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \alpha(m'' - y) \Phi(y - m'' + m', y) dy \right]^{-1}. \quad (21)$$

С помощью (4) и (20) получим выборочное распределение абсолютных величин компонентов пар

$$\Omega(M', M'') = \Phi(M', M'') \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\alpha(z - M'') f_2(z)}{\int_{-\infty}^{\infty} \alpha(z - v) dv \int_{-\infty}^v \Phi(u, v) du} dz. \quad (22)$$

Используя (22), можно показать, что для выборочного распределения абсо-

лютных величин имеют место соотношения, аналогичные (6), (7) и (11)—(13), т. е.

$$E(M') = E(M'') - \mu_1, \quad (23)$$

$$E(M'^2) = E(M''^2) - 2\mu_{12} + \mu_2, \quad (24)$$

$$E(M'M'') = E(M''^2) - \mu_{12}, \quad (25)$$

$$D(M') = D(M'') - \mu_1^2 + \mu_2, \quad (26)$$

$$\mu(M', M'') = \frac{D(M'') + \mu_1 E(M'') - \mu_{12}}{\sqrt{D(M'')[D(M'') + 2\mu_1 E(M'') + \mu_2 - 2\mu_{12} - \mu_1^2]}}, \quad (27)$$

где μ_1 , μ_{12} и μ_2 определяются посредством (8), (9) и (10).

В предположении о равномерном распределении в пространстве (27) запишется в виде

$$\rho(M', M'') = \sqrt{\frac{D(M'')}{D(M')}}. \quad (28)$$

В этом предположении (22) может быть использовано для построения двумерной функции светимости компонентов пар, поскольку это уравнение в указанном предположении может быть записано как

$$\Omega(M', M'') = C \cdot 10^{-0.6M''} \Phi(M', M''). \quad (29)$$

Таким образом

$$\Phi(M', M'') = C^{-1} 10^{0.6M''} \Omega(M', M''), \quad (30)$$

где

$$C = \int_{-\infty}^{\infty} 10^{0.6y} dy \int_{-\infty}^y \Omega(x, y) dx. \quad (31)$$

Функция светимости $\psi(M)$ обоих компонентов пар, рассмотренных совместно, может быть, очевидно, записана как

$$\psi(M) = \frac{1}{2} [\varphi_1(M) + \varphi_2(M)], \quad (32)$$

где $\varphi_1(M)$ и $\varphi_2(M)$ — функции светимости, соответственно, первых и вторых компонентов, равные

$$\varphi_1(M) = \int_M^{\infty} \Phi(M, M'') dM'' \quad (33)$$

и

$$\tau_2(M) = \int_{-\infty}^M \Phi(M', M) dM'. \quad (34)$$

На практике целесообразно записывать выборочное распределение светимостей посредством дельта-функций

$$\Omega(M', M'') = \sum_{j=1}^N \delta(M' - M'_j) \delta(M'' - M''_j), \quad (35)$$

где M'_j и M''_j — абсолютные величины компонентов пар в рассматриваемой выборке, N — число пар в ней. Тогда значение функции светимости в некоторой площадке Δ_k плоскости (M', M'') может быть представлено как

$$\Delta\Phi_k = \frac{1}{\Delta S_k} \frac{\sum_{j=1}^{n_k} 10^{0.6 M''_j}}{\sum_{j=1}^N 10^{0.6 M''_j}}, \quad (36)$$

где n_k — число пар со светимостями из площадки Δ_k , ΔS_k — площадь этой площадки.

4. *Применение к Каталогу изолированных пар.* Для анализа Каталога изолированных пар Караченцева [1] было рассмотрено 225 пар этого Каталога, удовлетворяющих условиям: а) в Каталоге содержатся в отдельности видимые величины обоих компонентов; б) пара является физической согласно Караченцеву [3].

Распределение видимых величин компонентов указанных 225 пар, исправленных э: поглощение света в Галактике добавлением величины $-0.25 \operatorname{cosec} |b''|$, представлено на рис. 1. Как видим, в согласии с результатами раздела 2, логарифмическая зависимость числа галактик от видимой величины для первых по светимости компонентов является более слабой, чем для вторых. В свою очередь, последняя также отклоняется от стандартной зависимости, соответствующей равномерному распределению объектов в пространстве. Аналогичное отклонение от моделированного распределения обнаружено Караченцевым [2], приписавшим его влиянию Местного сверхскопления. Не исключена, однако, и возможность того, что хотя бы частично обсуждаемое отклонение обусловлено неполнотой рассмотренной нами выборки, поскольку условие «а», очевидно, уменьшает относительное количество слабых объектов.

Формула (30), определяющая функцию светимости, основана на предположении о равномерном распределении рассматриваемых объектов в пространстве и допускает произвольное распределение видимых величин в рас-

смаатриваемой выборке. Следовательно, точность приведенных ниже значений функции светимости тем выше, чем в большей степени указанное отклонение обусловлено неполнотой выборки. Имея в виду это обстоятельство, обратимся к функции светимости компонентов пар.

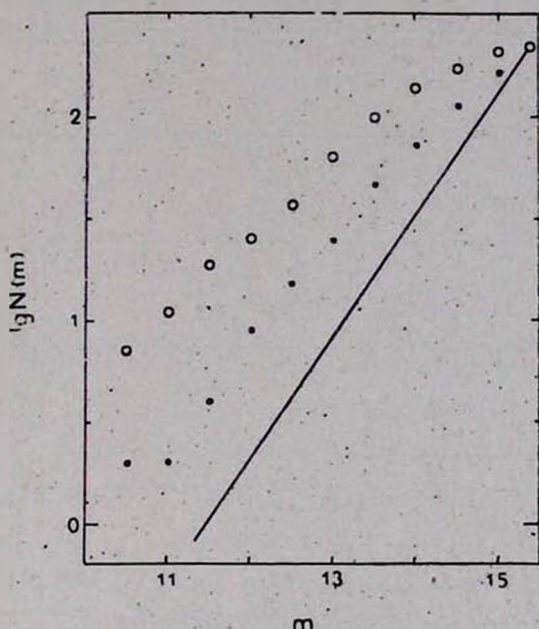


Рис. 1. Логарифмическая зависимость числа галактик от видимой величины первых (кружки) и вторых (точки) по светимости компонентов 225 пар. Прямая линия — зависимость для 225 объектов, равномерно распределенных в пространстве.

Значения $\Phi(M', M'')$, полученные посредством формулы (36), приведены в табл. 1. В скобках даны числа галактик, на которых основаны соответствующие значения функции светимости. Значения $\varphi_1(M)$, приведенные в предпоследней строке, и $\varphi_2(M)$, приведенные в последнем столбце, получены суммированием соответствующих столбцов и строк и, очевидно, представляют функции светимости первых и вторых по светимости компонентов. Значения функции светимости $\psi(M)$ обоих компонентов, рассмотренных совместно, приведены в последней строке табл. 1 и представлены в логарифмической шкале на рис. 2. На том же рисунке приведена произвольно смещенная параллельно оси абсцисс функция светимости галактик поля, построенная Хукром и Сарджентом [4]. Как видим, систематических различий между двумя приведенными функциями светимости нет. Несистематические отклонения в области наиболее высоких и наиболее низких светимостей естественно рассматривать как флуктуации, обусловленные малостью чисел

Таблица 1

M''	M'										$\varphi_2(M)$
	-22.5	-21.5	-20.5	-19.5	-18.5	-17.5	-16.5	-15.5	-14.5	-13.5	
-21.5	$7.2 \cdot 10^{-6}$ (1)	$1.6 \cdot 10^{-4}$ (14)	0	0	0	0	0	0	0	0	$1.7 \cdot 10^{-4}$ (15)
-20.5	$5.4 \cdot 10^{-5}$ (2)	$5.9 \cdot 10^{-4}$ (20)	$2.1 \cdot 10^{-3}$ (50)	0	0	0	0	0	0	0	$2.7 \cdot 10^{-3}$ (72)
-19.5	$1.8 \cdot 10^{-4}$ (1)	$6.4 \cdot 10^{-4}$ (7)	$4.9 \cdot 10^{-3}$ (40)	$5.2 \cdot 10^{-3}$ (33)	0	0	0	0	0	0	$1.1 \cdot 10^{-2}$ (81)
-18.5	—	$3.1 \cdot 10^{-4}$ (1)	$3.7 \cdot 10^{-3}$ (8)	$5.1 \cdot 10^{-3}$ (14)	$3.3 \cdot 10^{-3}$ (6)	0	0	0	0	0	$1.2 \cdot 10^{-2}$ (29)
-17.5	—	—	$2.7 \cdot 10^{-3}$ (2)	$4.5 \cdot 10^{-3}$ (3)	$1.7 \cdot 10^{-2}$ (10)	$3.7 \cdot 10^{-3}$ (1)	0	0	0	0	$2.8 \cdot 10^{-2}$ (16)
-16.5	—	—	$4.9 \cdot 10^{-3}$ (1)	$1.4 \cdot 10^{-2}$ (2)	$1.3 \cdot 10^{-2}$ (2)	$1.9 \cdot 10^{-2}$ (3)	—	0	0	0	$5.1 \cdot 10^{-2}$ (8)
-15.5	—	—	—	—	$2.6 \cdot 10^{-2}$ (1)	—	$1.7 \cdot 10^{-2}$ (1)	$3.4 \cdot 10^{-2}$ (1)	0	0	$7.7 \cdot 10^{-2}$ (3)
-14.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—
-13.5	—	—	—	—	—	—	—	—	$8.2 \cdot 10^{-1}$ (1)	—	$8.2 \cdot 10^{-1}$ (1)
$\varphi_1(M)$	$2.4 \cdot 10^{-4}$ (4)	$1.7 \cdot 10^{-3}$ (42)	$1.8 \cdot 10^{-2}$ (101)	$2.8 \cdot 10^{-2}$ (52)	$5.9 \cdot 10^{-2}$ (19)	$2.3 \cdot 10^{-2}$ (4)	$1.7 \cdot 10^{-2}$ (1)	$3.4 \cdot 10^{-2}$ (1)	$8.2 \cdot 10^{-1}$ (1)	—	
$\psi(M)$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$9.3 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$3.6 \cdot 10^{-2}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-2}$	$5.6 \cdot 10^{-2}$	$4.1 \cdot 10^{-1}$	$4.1 \cdot 10^{-1}$	

объектов, использованных для оценки значений функции светимости в соответствующих интервалах светимости (см. табл. 1 настоящей статьи и табл. 5 работы Хукра и Сарджента).

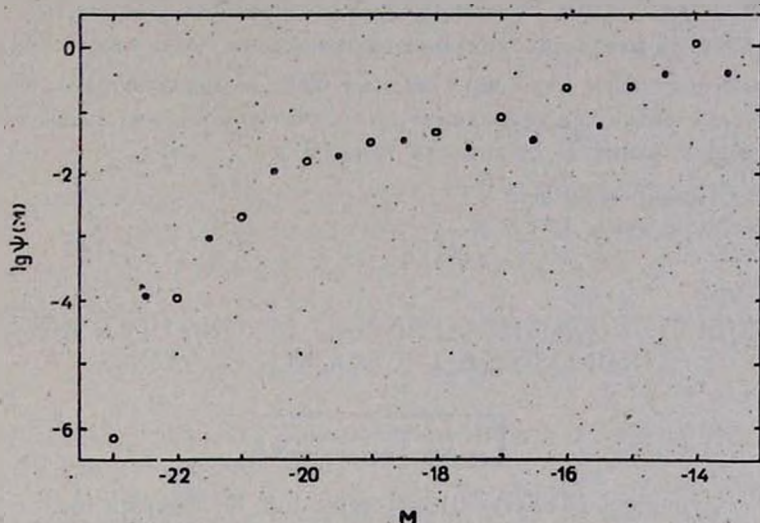


Рис. 2. Логарифмическая функция светимости компонентов пар, рассмотренных совместно (точки), и галактик поля (кружки).

Обратимся далее к корреляции между светимостями компонентов пар. В случае, когда абсолютные величины компонентов независимы, функция $\Phi(M', M'')$ может быть записана как

$$\Phi(M', M'') = 2\psi(M')\psi(M''), \quad (37)$$

а μ_1 может быть представлено в виде

$$\mu_1 = C_0 \int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} \psi(y) dy \int_{-\infty}^y \Psi(x) dx, \quad (38)$$

где

$$\Psi(x) = \int_{-\infty}^x \psi(z) dz \quad (39)$$

и

$$C_0 = \left[\int_{-\infty}^{\infty} 10^{-0.6y} \psi(y) \Psi(y) dy \right]^{-1}. \quad (40)$$

Значение μ_1 было вычислено посредством замены (38) конечной суммой с использованием значений $\psi(M)$, приведенных в последней строке табл. 1. Вычисленное таким образом значение μ_1 оказалось равным 1^m60 , между тем, как средняя разность абсолютных величин компонентов рассмотренных 225 пар составляет лишь 0^m71 . Этот результат, по существу, того же характера, что и обнаруженное Караченцевым [2] различие между моделированной разностью видимых величин компонентов пар (1^m03) и каталожным значением этой величины (0^m61). Указанные различия могут быть обусловлены лишь корреляцией между светимостями компонентов пар, исключаящей функцию светимости типа (37).

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

DISTRIBUTION OF THE APPARENT MAGNITUDES AND THE LUMINOSITIES OF DOUBLE GALAXIES

M. A. ARAKELIAN

The influence of observational selection on distribution of the apparent magnitudes and the luminosities of objects in the catalogue of double galaxies are investigated. The method of determination of the luminosity function of components of double galaxies utilizing arbitrary sample of pairs of galaxies is proposed. The results are applied to data of Karachentsev's catalogue of isolated pairs. The obtained luminosity function of the components of pairs practically coincides with that of the random field galaxies. The existence of correlation between the absolute magnitudes of the components of pairs is proved.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Караченцев, Сообщ. САО, № 7, 1, 1972.
2. И. Д. Караченцев, Астрофизика, 17, 249, 1981.
3. И. Д. Караченцев, Астрофизика, 16, 217, 1980.
4. J. Huckra, W. L. W. Sargent, Ap. J., 186, 433, 1973.