

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФОРМ ГАЛАКТИК

Б. И. ФЕСЕНКО

Поступила 2 февраля 1970

Пересмотрена 9 апреля 1970

Распределение сферичностей галактик рассматривается с учетом наблюдательной селекции. Распределение видимых сферичностей галактик поля сильно изменится, если учесть различие абсолютных величин (порядка $0^m 2 - 0^m 4$) одной и той же галактики при разных наклонах ее к лучу зрения. Если исключить галактики с угловыми диаметрами меньшими 0.5 то среди объектов с $M < -16^m$ ($H=100$ км/сек.мпс), доля круглых галактик $< 5\%$. Приводится формула для вычисления среднего значения истинной сферичности $\bar{\epsilon}$ в случае малых выборок. У E-галактик величина $\bar{\epsilon}$ почти постоянна в промежутке $-16^m > M > -21^m$.

Распределение сглаженных форм галактик исследовалось неоднократно. Наиболее подробные исследования выполнила К. В. Каврайская [1—3], которая нашла решение интегрального уравнения, связывающего распределения видимых и истинных сферичностей галактик. Недавно Т. А. Агемян и Н. К. Сумзина [4] вывели соотношение между моментами четного порядка истинных и видимых сферичностей, которое удобно применять при изучении небольших выборок галактик.

В настоящей работе приводятся некоторые дополнительные соотношения и рассматриваются многочисленные факторы, усложняющие интерпретацию результатов наблюдений.

1. Как известно, если рассматривать все галактики ярче некоторой видимой величины, то среди них будет резко увеличено число галактик с большими светимостями. Зависимость светимости галактики от наклона ее к лучу зрения понизит число галактик с малыми наклонами.

2. Если рассматривать галактики в узком интервале светимостей, то среди них также будет понижено число галактик с малыми накло-

нами. Действительно, поглощение света сильнее всего понижает видимую светимость галактики именно при таких наклонах. В данный интервал наблюдаемых светимостей попадают здесь лишь те галактики, действительная светимость которых больше видимой светимости (на величину поглощения света), но таких галактик мало вследствие резкого спада функции светимости.

Если поглощающей материи в галактике нет (как у членов некоторых скоплений), то следует рассмотреть зависимость систематических и случайных ошибок определения видимых величин галактик от формы их изображений. Если такая зависимость есть, то появится и селекция по наклонам ввиду быстрого изменения функции светимости.

3. Распределение видимых сферичностей η искажается и при отборе галактик по линейным диаметрам. Если видимый диаметр галактики возрастает при уменьшении наклона, то в данный интервал диаметров попадут при малых наклонах лишь те галактики, истинный диаметр которых меньше, причем таких галактик будет много, ввиду возрастания числа галактик при уменьшении диаметров.

4. У некоторых галактик существует мощная полоса поглощения, наблюдающаяся при малых наклонах. С возрастанием наклона полоса начинает сходить с линии большого диаметра изображения, и в тот момент, когда она касается изнутри видимой границы центрального сгущения, сферичность галактики оказывается резко заниженной.

5. Центральное сгущение придает некоторым галактикам сатурнообразный вид, сильно отличающий их от эллипсоидов вращения. При больших наклонах видимая сферичность определяется, в основном, плоской составляющей галактики; при малых наклонах мы имеем дело с влияниями и плоской, и сферической составляющих.

6. Наличие спиральной структуры затрудняет определение большой и малой осей изображения галактики (a и b), если она наблюдается „плашмя“. Здесь результат зависит от произвола наблюдателя. Поэтому не следует придавать слишком большого значения характеру изменения частот величины $\eta = b/a$ при значениях η , близких к единице. Результат может быть искажен и небольшой примесью „иглообразных“ галактик со слабо выраженными спиральями.

7. При малых изображениях необходимо учитывать еще ошибку округления величин a и b .

Эти замечания используем при исследовании сферичностей галактик с известными лучевыми скоростями v , по данным каталогов [5]. Этот материал был расширен за счет компонентов кратных систем, содержащих галактику с известной v . Для уменьшения эффекта ошибок округления рассматривались галактики с угловым диаметром,

превышающим 0.45. Так как расстояния находились по лучевым скоростям, то рассматривались галактики с $v_r > 1000$ км/сек. Видимые величины галактик приводились к системе [6]. Выбор именно этой системы диктовался необходимостью охвата как можно большего числа галактик, ибо для значительной доли галактик видимые величины были даны именно в этой системе. Это удобно и для сопоставления со статистическими работами, которые будут выполнены на огромном материале каталогов [6]. Поправки для перехода к величинам системы [6] приводятся в табл. 1, в последнем столбце которой указано число использованных объектов. Поправки получены по данным [5] путем сравнения определений разных авторов с величинами [6].

Таблица 1
ПОПРАВКИ ДЛЯ ПЕРЕХОДА К СИСТЕМЕ ВЕЛИЧИН [6]

Источник величин	m							N
	<10	10—	11—	12—	13—	14—	15—	
Холмберг [8]			-0.3	+0.1	+0.4	+0.5	+0.4	377
Холмберг [9]	+0.2	+0.5	+0.6	+0.4	+0.4	+0.3		115
Хюмасон и др. [10]		-0.1	+0.1	+0.2	+0.2	0.0		83
Воронцов-Вельяминов [5]		+1.2	+0.5	+0.3	0.0	+0.2	0.0	164
Шепли и Эймс [11]		+0.2	+0.2	+0.2	+0.3			147

Обращает на себя внимание большая величина поправок для перехода от фотографических систем Холмберга [8, 9] и в то же время сравнительно небольшие поправки для перехода от фотозлектрической системы величин [10], которая, по-видимому, более надежна с точки зрения систематических ошибок, возникающих при фотометрировании протяженных объектов.

Для уменьшения эффекта поглощения света в Галактике исследование ограничивалось областями неба с $|b| > 30^\circ$. Для каждой галактики вычислялся вес γ по формуле

$$\gamma = \frac{c 10^{0.6M}}{N(\underline{m} < m < \bar{m})}, \quad (1)$$

где c — постоянная, M и m — абсолютная и видимая величины, $\bar{m} \leq 15^m 25$ — предельная величина галактик с данными M и D (D — линейный диаметр) при угловом диаметре, не меньшем 0.5, m — видимая величина данной галактики в случае, когда $v_r = 1000$ км/сек и $N(\underline{m} < m < \bar{m})$ — число всех галактик (в нашем материале) в интер-

вале видимых величин от \underline{m} до \overline{m} . Изучая вместо чисел галактик суммы их весов, мы учитываем селекцию по светимостям, видимым величинам, угловым диаметрам и значениям ν . Почти аналогичный метод учета селекции использован в [7].

Предположим, что рассмотренные ранее факторы 4 и 5 вызывают лишь перераспределение значений η у спиральных галактик при малых наклонах, не изменяя доли всех галактик с $\eta < 0.4$ (у нас форма спиральных галактик тогда характеризуется спиральной составляющей).

Используя известную формулу для плотности вероятности $\varphi(\eta)$ (у дискообразных галактик) при фиксированной истинной сферичности ξ :

$$\varphi(\eta) = \frac{\eta}{V(1-\xi^2)(\eta^2-\xi^2)}, \quad \eta > \xi,$$

мы получили выражения для доли p_1 и p_2 галактик с $\xi < 0.36$ и $\xi < 0.54$ и для среднего значения истинных сферичностей $\bar{\xi}$:

$$p_1 = \frac{3.10^7}{N} \sum_{i=1}^4 n_i, \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{1.92}{N} \sum_{i=1}^6 n_i, \quad (3)$$

$$\bar{\xi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{10} a_i n_i, \quad (4)$$

где N — число всех галактик, n_i — число галактик в интервале видимых сферичностей от $0.1(i-1)$ до $0.1i$, а значения a_i таковы:

i	a_i	i	a_i
1	-1.661	6	+0.264
2	-0.835	7	+0.446
3	-0.443	8	+0.618
4	-0.163	9	+0.780
5	+0.0645	10	+0.930

При выводе формулы (3) предполагалось, что плотность вероятности ξ постоянна в каждом из интервалов (0.1; 0.2), ..., (0.5; 0.6), но различна в разных интервалах; при выводе (2) аналогичное допу-

шение делалось лишь в отношении первых трех интервалов. Учет галактик с $\xi < 0.1$ не изменил бы существенно результата. На распределение галактик при $\xi > 0.6$ в первом случае и при $\xi > 0.4$ во втором не накладывается ограничений. Относительные ошибки p_1 и p_2 не превышают 2%, если ξ равномерно распределены в интервалах (0.1; 0.4) и (0.1; 0.6); в остальных случаях ошибки не более 10 и 17%, соответственно. Эти приближенные формулы приходится использовать для исключения действия факторов 4 и 5.

Формула (4), удобная при изучении небольших выборок галактик, когда распределение ξ надежно определить не удастся, была проверена для четырех случаев плотности вероятности ξ :

$$\frac{4}{\pi} \sqrt{1-\xi^2}, \quad 3\xi \sqrt{1-\xi^2}, \quad \frac{15}{2} \xi^3 \sqrt{1-\xi^2} \text{ и } 2\xi,$$

и во всех случаях относительная ошибка $\bar{\xi}$ не превышала 2%.

Все галактики мы разделили на два класса. В первый класс вошли объекты, для которых в [5] измерены внешние области; во второй класс вошли остальные галактики, классифицируемые обычно как E или N*. Взаимодействующие системы не рассматривались.

Распределение η без учета селекции приводится в табл. 2. В табл. 3 галактики первого класса сгруппированы по светимостям.

Таблица 2

ЧАСТОТЫ ЗНАЧЕНИЙ η БЕЗ УЧЕТА СЕЛЕКЦИИ

η	0.0—	0.1—	0.2—	0.3—	0.4—	0.5—	0.6—	0.7—	0.8—	0.9—
Первый класс $v_r > 1000$ $v_r < 1000$	0	14	24	31	24	42	45.5*	34	42.5	52
	1	6.5	11	21.5	13.5	11	8.5	7.5	13.5	12
Второй класс $v_r > 1000$ $v_r < 1000$	0	0	2	0.5	7	12	17	30	25	8.5
	0	0	0	1.5	4.5	4.5	7	6.5	5	5

Дробные частоты появляются за счет галактик с круглыми значениями η (0.1; 0.2 и т. д.). Такие галактики мы относили к двум смежным интервалам, увеличивая там частоту на 0.5.

В первом столбце указаны интервалы абсолютных величин M ($H = 100$ км/сек·млс); во втором даны числа галактик, в третьем —

* Сюда же включено несколько E-галактик с измеренными внешними областями.

суммарные веса ψ , причем вес галактик с $-18^m > M > -19^m$ принят за единицу (числа ψ пропорциональны функции светимости), в четвертом и пятом столбцах приводятся числа p_1 и p_2 , полученные по формулам (2) и (3), и их средние ошибки. Если исключить самые слабые и самые яркие объекты (у которых велики ошибки p_1 и p_2), то при уменьшении светимостей наблюдается монотонное возрастание p_1 и p_2 . Это можно объяснить тем, что действие упоминавшегося фактора 2 уменьшается при замедлении изменения функции светимости. Зная эту функцию и предполагая, что у всех рассматриваемых галактик $\xi < 0.36$ (т. е. истинное $p_1 = 1$), мы вычислили величины Δm , показывающие, насколько следует увеличить светимости галактик с $\eta < 0.4$ (по сравнению с галактиками, имеющими $\eta > 0.4$), чтобы возросшее число галактик в данном интервале M дало бы значение $p_1 = 1$. Величины Δm и их средние ошибки даны в шестом столбце табл. 3. Эти величины следует рассматривать как усредненные по наклонам разности абсолютных величин галактики при $\beta < 20^\circ$ и при $\beta > 20^\circ$, где β — угол между лучом зрения и экваториальной плоскостью галактики (здесь принято $\xi = 0.2$).

Таблица 3

M	N	ψ	$p_1 \pm \sigma$	$p_2 \pm \sigma$	$\Delta m \pm \sigma$
-21 ÷ -22	3	$1.05 \cdot 10^{-3}$	1.0 ± 0.3	0.64 ± 0.3	
-20 -21	30	$3.09 \cdot 10^{-2}$	0.31 ± 0.075	0.44 ± 0.08	0.40 ± 0.10
-19 -20	106	$2.33 \cdot 10^{-1}$	0.61 ± 0.07	0.82 ± 0.07	0.29 ± 0.08
-18 -19	122	1	0.85 ± 0.075	0.97 ± 0.065	0.19 ± 0.11
-17 -18	29	1.35	1.0 ± 0.17	1.1 ± 0.13	
-16.2 -17	7	2.45	1.3 ± 0.3	1.1 ± 0.3	

Таким образом, распределение видимых сферичностей галактик первого класса может быть объяснено влиянием наблюдательной селекции на распределение галактик с $\xi < 0.36$.

Если же селекции не учитывать, то при $-20^m > M > -21^m$ и $-19^m > M > -20^m$ соответственно 56 и 18% всех галактик имеют $\xi > 0.54$. Методом Хаббла без учета селекции мы нашли, что круглые галактики ($\eta > 0.9$) составляют $5 \pm 2\%$ всех объектов этого класса. Учет селекции может лишь уменьшить это значение.

В табл. 4 галактики первого класса сгруппированы по диаметрам. Для p_1 и p_2 в большинстве случаев получились значения, большие единицы (веса γ учтены). Это говорит о возрастании диаметров галактик при уменьшении наклонов.

Таблица 4

$\lg D_{к.с.}$	ψ	p_1	p_2	N
1.51—1.70	$9.9 \cdot 10^{-2}$	1.9	1.4	28
1.31—1.50	$3.2 \cdot 10^{-1}$	1.3	1.3	77
1.11—1.30	1	1.0	1.1	88
0.91—1.10	1.97	0.6	1.0	86
0.71—0.90	1.93	1.2	1.2	28
0.40—0.70	3.10	—	—	9

В табл. 5 собраны данные для галактик второго класса с $M < -17.3$ (селекция учтена). Во второй и третьей строках приводятся распределения значений η и ξ . В распределении истинных сферичностей после

Таблица 5

СФЕРИЧНОСТИ E-ГАЛАКТИК ($v_r > 1000$)

ζ, η	0.2—	0.3—	0.4—	0.5—	0.6—	0.7—	0.8—	0.9—
Видимое распределение	0.013	0.003	0.043	0.111	0.198	0.323	0.225	0.087
Истинное распределение	0.058	-0.016	0.116	0.225	0.296	0.371	0.038	-0.088

максимума при $\xi \approx 0.7$ наблюдается резкий спад. Отрицательную вероятность при $\xi > 0.9$ можно объяснить случайными ошибками. Зависимость $\bar{\xi}$ от M в этом классе галактик такова:

M	$\bar{\xi}$
-20 ÷ -21	0.52 ± 0.14
-19 ÷ -20	0.52 ± 0.08
-18 ÷ -19	0.64 ± 0.09
-17.3 ÷ -18	0.49 ± 0.24

При изменении M величина $\bar{\xi}$ практически не меняется. Для всех галактик с $M < -17.3$ в единице объема $\bar{\xi} = 0.57 \pm 0.055$.

Согласно [1], пространство между скоплениями галактик заполнено, в основном, круглыми галактиками. С другой стороны, в данном материале заметных следов круглых галактик не обнаружено ни в одном из классов объектов. Для выяснения ситуации у более слабых галактик мы рассмотрели еще объекты с $v_r < 1000$ км/сек, разбив их на два класса, как обычно; распределение видимых сферичностей приводится в табл. 2. Так как значения p_1 и p_2 в первом классе порядка 1.2 ± 0.2 , влиянием селекции по наклонам в данном материале можно пренебречь. Доля круглых объектов равна $0.6 \pm 4\%$ в первом классе и $1 \pm 6\%$ — во втором. Средние абсолютные величины, вычисленные по формуле

$$M_{\text{ср}} = m_{\text{ср}} - 5(\lg v_r)_{\text{ср}} - 15,$$

где $(\lg v_r)_{\text{ср}}$ определялось по сглаженному распределению v_r , оказались равными $-16^{\text{m}5}$ и $-16^{\text{m}7}$ у объектов первого и второго классов, соответственно (ср. ошибка порядка $\pm 0^{\text{m}1}$). Учитывая и результаты, полученные ранее, можно сделать вывод, что среди галактик с $M < -16^{\text{m}}$ круглые объекты встречаются редко, а может быть и вовсе не встречаются.

Среди галактик с известными v_r процент объектов с видимыми сферичностями $\eta \approx 1$ увеличивается с 30 до 70% при уменьшении угловых диаметров от 0.4 до 0.1. Так как средняя абсолютная величина при этом меняется слабо и составляет около $-18^{\text{m}5}$, то, очевидно, здесь главную роль играют ошибки в определении форм малых изображений.

Среди эллиптических галактик с $v_r < 1000$ км/сек $\bar{\xi} = 0.05 \pm 0.095$ ($M_{\text{ср}} = -16^{\text{m}7}$), что близко к значениям $\bar{\xi}$, полученным ранее в промежутке $-17^{\text{m}} > M > -21^{\text{m}}$. Таким образом, $\bar{\xi}$ не изменяется существенно при изменении светимостей E-галактик по крайней мере в 100 раз.

Следует отметить, что возможные систематические ошибки видимых величин галактик, зависящие от типа галактики, едва ли изменят последний вывод, так как группа эллиптических галактик сравнительно однородна. Что же касается галактик первой группы, то указанные систематические ошибки приведут к тому, что наблюдательная селекция окажется не полностью учтенной нами, а именно, представительство некоторых типов может быть занижено. Однако ошибки этого рода заметно не изменяют наших выводов. Гораздо опаснее ошибки, зависящие от наклона галактики к лучу зрения. Учет их возможен

лишь при дальнейшем развитии системы классификации галактик, которая позволит среди галактик с разными наклонами уверенно выделять объекты с одинаковыми истинными абсолютными величинами (и одинаковой мощностью поглощающего слоя). С другой стороны, некоторое представление об одной из границ возможных ошибок дают результаты последнего столбца табл. 3.

Псковский педагогический
институт

THE DISTRIBUTION OF FORMS OF GALAXIES

B. I. FESSENKO

A distribution of forms of galaxies is considered taking into account observational selection. The distribution of apparent ellipticities of galaxies will change if the difference of order $0.^m2 - 0.^m4$ in absolute magnitude of galaxy at different inclination is taken into account. Among the objects with $M < -16^m$ ($H = 100 \text{ km/sec} \cdot \text{Mpc}$) the part of globular galaxies is no more than 5%, if one excludes the galaxies with angular diameters smaller than 0.5. The formulae for estimating the mean value of true ellipticity $\bar{\xi}$ in case of a small sample is given. The value of $\bar{\xi}$ is almost constant for E-galaxies with $-16^m < M < -21^m$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К. В. Каврайская, Вестн. ЛГУ, 1, 1958.
2. К. В. Каврайская, Вестн. ЛГУ, 13, 1958.
3. К. В. Каврайская, Вестн. ЛГУ, 7, 1959.
4. Т. А. Азюкян, Н. К. Сумзина, Астрофизика, 3, 545, 1967.
5. Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова, А. А. Красногорская, Морфологический каталог галактик, ч. 1—IV, М., 1962—1968.
6. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, 1, 1961.
7. Е. М. Нежинский, А. П. Осипков, Уч. зап. ЛГУ, №334, 117, 1967.
8. E. Holmberg, Ann. Obs. Lund, №6, 1937.
9. E. Holmberg, Lund Medd., II, №139, 1958.
10. M. Humason, N. Mayall, A. Sandage, A. J., 61, №3, 1956.
11. H. Shapley, A. Ames, Ann. Harv. Obs., 88, 43, 1932.