АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 3 НОЯБРЬ, 1967 ВЫПУСК 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИННЫХ СЖАТИЙ ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИЯХ

Т. А. АГЕКЯН, Н. К. СУМЗИНА

Поступила 3 мая 1967

В предположении, что галактики являются сжатыми эллипсоидами вращения найдено соотношение, связывающее моменты распределений их видимых и истинных сферичностей. По данным I и II томов каталога скоплений галактик Цвикки, Герцога и Уайльда и морфологического каталога галактик Б. А. Воронцова-Вельяминова и В. П. Архиповой определены средние величины квадратов истинных сферичностей и дисперсии квадратов истинных сферичностей галактик для 68 скоплений галактик. Показано, что различия значений средних величин квадратов сферичностей галактик для различных скоплений галактик значимы. Найдено соотношение, связывающее моменты распределений видимых и истинных сферичностей галактик, в предположении, что они являются вытянутыми эллипсоидами вращения.

1. *Соотношение между моментами распределений истинных и видимых сферичностей.* Задача нахождения распределения истинных сферичностей галактик по наблюдаемому распределению их видимых сферичностей рассматривалась Хабблом [1], а затем К. В. Каврайской [2]. В [2] получено интегральное уравнение, связывающее функции распределения видимых и истинных сферичностей. Обращение этого уравнения решало поставленную задачу.

Применение метода К. В. Каврайской практически возможно лишь в том случае, когда число галактик с измеренными видимыми сферичностями велико. Этот метод нельзя использовать для нахождения распределения истинных сферичностей галактик в отдельных не очень богатых членами скоплениях.

Покажем, что если вместо задачи нахождения распределения истинных сжатий галактик в скоплении поставить задачу нахождения моментов этого распределения, то практическое применение метода оказывается очень простым. К тому же моменты распределения истинных сферичностей, как физическая характеристика, более наглядны и удобны для сравнений, чем само распределение.

Будем для удобства рассматривать не сами сферичности, а их квадраты, обозначим через x — квадрат истинной сферичности, y — квадрат видимой сферичности. Уравнение Каврайской для функций распределения величин x и y принимает вид

$$\psi(y) = \frac{1}{2}\int_0^y \frac{\varphi(x)}{\sqrt{(1-x)(y-x)}}\,dx. \tag{1}$$

Пожножим обе части уравнения (1) на $y^m dy$ и проинтегрируем по всем значениям y. Выполняя интегрирование, получим

$$\overline{y^m} = \sum_{k=0}^{m} C_m^k \frac{1}{2k+1} \sum_{l=0}^{k} (-1)^{k-l} C_k^l \overline{x^{m-l}}, \tag{2}$$

где $\overline{x^m}$, $\overline{y^m}$ средние значения m-ых степеней x и y.

Равенство (2) решает поставленную задачу. Например, для $m=1$ и $m=2$ оно принимает вид

$$\bar{y} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3}\bar{x}, \tag{3}$$

$$\overline{y^2} = \frac{3}{15} + \frac{4}{15}\bar{x} + \frac{8}{15}\overline{x^2}, \tag{4}$$

откуда

$$\bar{x} = \frac{3}{2}\bar{y} - \frac{1}{2}, \tag{5}$$

$$\overline{x^2} = \frac{15}{8}\overline{y^2} - \frac{6}{8}\bar{y} - \frac{1}{8} \tag{6}$$

Находим также,

$$\sigma_x^2 = \overline{(x-\bar{x})^2} = \frac{15}{8}\overline{y^2} - \frac{9}{4}\bar{y}^2 + \frac{3}{4}\bar{y} - \frac{3}{8}. \tag{7}$$

Значения $\bar{y}$ и $\overline{y^2}$ для каждого скопления можно получить из наблюдений, тогда равенства (5) и (7) позволят определить основные параметры — среднюю величину квадрата и дисперсию квадрата истинных сферичностей галактик скопления.

2. *Использование полученных соотношений.* В I и II томах каталога Цвикки, Герцога и Уайльда [3] даны очертания скоплений галактик. Путем сопоставления координат галактик каталога Б. А. Во-

ронцова-Вельяминова и В. П. Архиповой [4] и областей в I и II томах каталога [3] галактики относились к определенному скоплению, и затем по внешним размерам галактик, дающим видимую сферичность, вычислялись $\bar{y}$ и $\overline{y^2}$ для данного скопления. Если в каталоге [4] внешние диаметры галактики не приведены, но приведены диаметры внутренней области, то квадрат видимой сферичности галактики определялся по диаметрам внутренней области. Из рассмотрения исключались неправильные галактики (по классификации Воронцова-Вельяминова галактики типа P—бесформенные пятна) и взаимодействующие галактики. Вычисления выполнялись только для скоплений, в которых было получено не менее $n = 8$ значений квадратов сферичностей галактик.

В табл. 1 приведены вычисленные значения $\bar{y}$ и $\sigma_y^2 = \overline{y^2} - \bar{y}^2$. Во втором столбце таблицы первое число есть номер поля каталога [3], второе — номер скопления на этом поле. В третьем столбце указано число использованных галактик в скоплении.

Прежде всего нужно выяснить, является ли различие величин для различных скоплений значимым. Является ли распределение сферичностей галактик существенной физической характеристикой скопления или, напротив, в отношении сферичностей скопления галактик можно рассматривать как случайные выборки из генеральной совокупности галактик.

Для этого, как известно, нужно вычислить

$$\sigma^2 = \frac{A}{P} \tag{8}$$

и

$$\sigma_*^2 = \frac{\sum_{i=1}^{g} P_i (\bar{y}_i - y_0)^2}{(g-1)P}, \tag{9}$$

где

$$P_i = \frac{A(n_i - 1)}{\sigma_{y_i}^2}$$

$$P = \sum_{i=1}^{g} P_i$$

$$y_0 = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{g} P_i y_i.$$

Таблица 1

i	N_x	n	$\overline{y}$	σ_y^2	$\overline{x}$	σ_x^2
1	5.12	10	0.36	0.077	0.04	−0.01
2	8.1	22	0.54	0.095	0.31	0.10
3	12.1	40	0.53	0.103	0.29	0.12
4	11.20	16	0.60	0.103	0.41	0.14
5	13.9	11	0.26	0.021	−0.10	−0.16
6	21.3	38	0.57	0.125	0.35	0.16
7	39.12	13	0.47	0.098	0.20	0.08
8	39.17	10	0.52	0.170	0.29	0.22
9	45.23	8	0.38	0.153	0.08	0.14
10	47.9	10	0.58	0.154	0.37	0.22
11	46.17	14	0.39	0.108	0.09	0.06
12	48.12	8	0.31	0.022	−0.03	−0.14
13	59.1	10	0.52	0.118	0.28	0.13
14	63.11	8	0.30	0.117	−0.06	0.03
15	64.21	9	0.56	0.138	0.34	0.18
16	66.34	11	0.72	0.092	0.51	0.14
17	67.32	10	0.26	0.082	−0.11	−0.05
18	73.24	8	0.46	0.067	0.20	0.02
19	74.5	77	0.44	0.096	0.16	0.06
20	75.16	11	0.624	0.088	0.44	0.11
21	76.18	9	0.61	0.084	0.42	0.10
22	74.23	21	0.41	0.105	0.12	0.07
23	77.19	10	0.76	0.082	0.64	0.13
24	87.2	18	0.76	0.097	0.064	0.16
25	90.11	10	0.51	0.157	0.27	0.20
26	91.7	69	0.55	0.104	0.32	0.12
27	92.30	12	0.41	0.059	0.12	−0.02
28	94.57	14	0.63	0.090	0.45	0.12
29	97.8	116	0.55	0.102	0.32	0.11
30	98.2	24	0.72	0.116	0.58	0.19
31	98.9	8	0.36	0.067	0.04	−0.03
32	105.52	23	0.65	0.150	0.47	0.24
33	104.8	14	0.60	0.160	0.39	0.24
34	105.32	9	0.56	0.106	0.35	0.13
35	105.6	15	0.53	0.114	0.29	0.13
36	108.7	175	0.59	0.122	0.38	0.17
37	120.9	10	0.71	0.136	0.56	0.22

Таблица 1 (окончание)

i	N_z	n	$\overline{y}$	σ_y^2	$\overline{x}$	σ_x^2
38	109.9	12	0.54	0.138	0.30	0.18
39	117.5	12	0.76	0.092	0.63	0.15
40	119.1	44	0.42	0.074	0.13	0.01
41	121.6	24	0.38	0.080	0.07	0.01
42	122.5	38	0.47	0.102	0.21	0.09
43	123.10	12	0.38	0.119	0.06	0.08
44	123.59	37	0.43	0.090	0.14	0.05
45	126.41	25	0.60	0.093	0.39	0.11
46	128.27	17	0.41	0.102	0.11	0.06
47	128.16	10	0.57	0.089	0.36	0.09
48	127.10	23	0.46	0.141	0.18	0.15
49	132.11	22	0.62	0.146	0.43	0.22
50	132.9	13	0.60	0.113	0.40	0.15
51	133.14	37	0.424	0.084	0.14	0.03
52	136.13	9	0.42	0.062	0.13	—0.01
53	133.36	21	0.56	0.107	0.34	0.13
54	136.32	10	0.42	0.098	0.14	0.06
55	136.30	10	0.55	0.099	0.32	0.11
56	142.1	18	0.58	0.090	0.37	0.10
57	149.1	8	0.28	0.046	—0.08	—0.10
58	145.1	10	0.40	0.078	0.09	—0.05
59	148.1	29	0.44	0.077	0.15	0.02
60	151.17	16	0.50	0.153	0.25	0.19
61	152.2	12	0.59	0.110	0.39	0.14
62	151.29	9	0.62	0.127	0.43	0.18
63	149.8	10	0.61	0.161	0.41	0.24
64	155.5	22	0.51	0.138	0.27	0.17
65	155.19	58	0.52	0.119	0.29	0.14
66	159.42	173	0.54	0.113	0.32	0.13
67	156.14	24	0.63	0.097	0.45	0.13
68	156.16	19	0.53	0.063	0.30	0.04

Скопление 37 данного списка — скопление в Геркулесе, 40 — в Раке, 66 — в Волосах Вероники.

A — произвольное число, g — число скоплений и найти

$$l = \frac{\sigma_{\bullet}^2 - \sigma^2}{\sigma^2} : \sqrt{\frac{2}{g-1}}.$$

Если $l > 2$, то можно утверждать, что различие распределений сферичностей у различных скоплений галактик значимо.

Вычисления дают

$$\sigma^2 = 0.000061, \quad \sigma_{\bullet}^2 = 0.000163, \quad l = 9.6. \tag{10}$$

Таким образом, с абсолютной уверенностью можно утверждать, что скопления галактик имеют различные распределения сферичностей, и величины $\bar{y}$ и σ_y^2 являются существенными характеристиками скоплений галактик.

Одновременно, полученный результат позволяет утверждать, что ошибки измерений диаметров галактик в каталоге [4] не замывают различий распределения сферичностей галактик в скоплениях галактик. Результат (10) можно также рассматривать как аргумент в пользу того, что обрисованные в каталоге [3] границы скоплений галактик близки к реальным границам скоплений.

Но $\bar{y}$ и σ_y^2 — видимые характеристики. Больший физический интерес представляют истинные характеристики $\bar{x}$ и σ_x^2, вычисленные по формулам (5) и (7) и приведенные в последних столбцах табл. 1.

Распределение скоплений по величине $\bar{x}$ — средней квадрата истинных сферичностей галактик и σ_x^2 — дисперсии квадратов истинных сферичностей галактик приведено в табл. 2 и 3.

Таблица 2

$\bar{x}$	Число скоплений
<0	5
0.01—0.10	7
0.11—0.20	13
0.21—0.30	11
0.31—0.40	17
0.41—0.50	9
>0.50	6
Всего	68

Таблица 3

σ_x^2	Число скоплений
<0	9
0.01—0.05	8
0.06—0.10	12
0.11—0.15	21
0.16—0.20	10
0.21—0.25	8
Всего	68

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что существенно положительные величины $\bar{x}$ и σ_x^2 получились отрицательными, первая для пяти, а вторая для девяти скоплений.

Этому можно предложить три объяснения: 1) В скоплениях с полученными $\bar{x} < 0$ или $\sigma_x^2 < 0$ имеет место случайное большое отклонение распределения ориентаций плоскостей галактик от наивероятнейшего, при предположении о равновероятности и независимости ориентаций плоскостей всех галактик. 2) В этих скоплениях существенно не выполняется условие равновероятности и независимости ориентаций плоскостей галактик. 3) Для этих скоплений несправедливо предположение, согласно которому все галактики являются сжатыми эллипсоидами вращения.

В настоящее время трудно определенно заключить, какое из трех объяснений верно. Возможно, это удастся сделать тогда, когда материал пополнится данными обработки последних томов каталога [3].

Интересно, однако, рассмотреть в данном аспекте проблему сигарообразных галактик.

3. *Соотношение между моментами распределений видимых и истинных сферичностей у сигарообразных галактик.* Ряд аргументов в пользу существования галактик, имеющих форму вытянутых трехосных эллипсоидов, соответствующих эллипсоидам Якоби в теории равновесия жидких масс, высказал К. Ф. Огородников [5]. Явным примером образований подробного рода являются перемычки спиральных галактик. Можно предположить, что отрицательные или очень малые значения $\bar{x}$ в некоторых скоплениях галактик объясняются наличием примеси сигарообразных галактик в этих скоплениях. Для возможности в дальнейшем анализировать этот вопрос выведем уравнение, связывающее функции распределений истинных и видимых сферичностей сигарообразных галактик, считая для простоты их вытянутыми эллипсоидами вращения.

Обозначая y и x квадраты видимых и истинных сферичностей, найдем соотношение

$$\cos^2 i = \frac{x}{y} \frac{(1-y)}{(1-x)}, \tag{11}$$

где i = угол между большой осью эллипсоида и картинной плоскостью.

Вероятность того, что взаимно независимые величины x и i попадут в промежутки $[x, x+dx]$ и $[i, i+di]$, равна

$$\varphi(x)\, dx \cos i \; di. \tag{12}$$

Переходя при помощи (11) в (12) от i к y (при фиксированном x) и интегрируя по всем возможным x, получаем искомое уравнение

$$\psi(y)\cdot y^{3/2} = \frac{1}{2}\int_0^y \frac{x\,\varphi(x)}{\sqrt{(y-x)(1-x)}}\,dx. \tag{13}$$

Это уравнение также абелевское. Сравнивая (13) и (1), мы видим, что соотношение между моментами функций распределения, имевшее для сжатых эллипсоидов вид (2), для вытянутых эллипсоидов должно принять вид

$$\overline{y^{m+\frac{3}{2}}} = \sum_{k=0}^{m} C_m^k \frac{1}{2k+1} \sum_{l=0}^{k} (-1)^{k-l} C_k^l\, \overline{x^{m-l+1}}. \tag{14}$$

Придав m значения 0 и 1, находим

$$\overline{y^{\frac{3}{2}}} = \bar{x},$$

$$\overline{y^{\frac{5}{2}}} = \frac{1}{3}\bar{x} + \frac{2}{3}\overline{x^2},$$

откуда

$$\bar{x} = \overline{y^{\frac{3}{2}}}, \tag{15}$$

$$\sigma_x^2 = \frac{3}{2}\overline{y^{\frac{5}{2}}} - \frac{1}{2}\overline{y^{\frac{3}{2}}} - \left(\overline{y^{\frac{3}{2}}}\right)^2. \tag{16}$$

Равенство (15) показывает, что предположение о сигарообразной форме галактик исключает возможность получения отрицательных значений средних истинных сферичностей.

Ленинградский государственный
университет

THE INVESTIGATION OF DISTRIBUTION OF REAL FLATTENING OF GALAXIES IN CLUSTERS

T. A. AGEKIAN, N. K. SOOMSINA

In the assumption that galaxies are flattened ellipsoids of rotation, the relation connecting the moments of distributions of their apparent and real sphericities has been found. Using the data of the first and second volumes of the Catalogue of clusters of galaxies by Zwicky, Herzog and Wild and the Morphological catalogue of galaxies by B. A. Vorontsov-Veliaminov and V. P. Arkhipova the values of mean squares of real sphericities and the dispersion of square of the real sphericities of galaxies for 68 clusters of galaxies have been determined. It has been shown that the differences in values of the mean squares of sphericities for different clusters of galaxies are significant. The relation connecting the moments of the distributions of apparent and real sphericities of galaxies in the assumption that they are prolated ellipsoides of rotation has been found.

ЛИТЕРАТУРА

1. *E. Hubble*, Ap. J., 64, 321, 1926.
2. *К. В. Каврайская*, Вестн. ЛГУ, 1, 148, 1958.
3. *F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild*, Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies, 1963, vol. I, II.
4. *Б. А. Воронцов-Вельяминов, В. П. Архипова*, Морфологический каталог галактик, т. 2, т. 3.
5. *К. Ф. Огородников*, Динамика звездных систем, 1958.