АСТРОФИЗИКА

TOM 26

ИЮНЬ, 1987

выпуск з

УДК: 524.45:520.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИЯХ. I. СКОПЛЕНИЕ А 2065

О. М. КУРТАНИДЭЕ, Г. М. РИХТЕР Поступила 8 декабря 1986 Пранята к печати 2 марта 1987

Изложены результаты обработки снимка скопления A 2065, полученного на 2.6-м телескопе Бюраканской астрофизической обсерватории в фотографическом цвете. Интегрирование звездных величин проводилось вплоть до изофоты, соответствующей $m_{Pg} = 25$ с кв. сек. дугн. Предел полноты выборки равен 19^{'л}5, а число галактик до эгого предела равно 132. Для параметров фувкции Шехтера получены значения $a^* = -1.25$, $M_{pg} = -20.45$, а функции Эйболла $s_1 = 1.1$, $s_2 = 0.36$. Сегрегация галактик по светимости наблюдается только в пределах одной величны от ярчайшей галактики. Определены эллиптичности и позиционные углы больших осей галактик. Наблюдаемая влажних статистических критериев показано, что наблюдается предпочтительная ориентация больших осей галактик. Она перпендикулярна направлению скопления.

1. Введение. Скопление галактик, расположенное в созвездии Северная Корона ($a = 15^{h}14^{m}$, $b = 29^{\circ}39'$), описано Цвикки [1] как богатое сферическое скопление. В каталоге Эйбелла [2] оно числится под номером 2065 и отнесено к третьему классу расстояний и ко второму классу богатства. Среднее значение красного смещения, определенное по шестнадцати галактикам [3], равно 0.072. По Баутц-Моргану оно принадлежит к III классу, а по пересмотренной классификации RS [4] - к типу С. Последний определялся по пятнадцати ярчайшим галактикам, среди которых выделяется двойная, расположенная в центральной области скопления со взаимным расстоянием ~ 17 мин. дуги (35 клк) и ориентацией ~ 173°. Из подсчетов Цвикки [1] и Шейн-Виртанена [5] следует, что радиус скопления порядка 25 мин. дуги, что соответствует одному эйбелловому раднусу [6]. Скопление является рентгеновским источником (4U 1518 + 28, 2А 1518 + 274) с температурой T = 3.45 КаВ и светимостью $L_x = 1.1 \times$ × 1045 врг/ом с² (дисперсия скоростей 1070 км/с). Оно содержит в основном эллиптические и линзовидные галактики.



2. Наблюдательный магериал и его обработка. Снимок А 2065 получен в первичном фокусе 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической сбсерватории АН Армянской ССР 16/17. III. 1977 г. на прогретой в воздухе фотопластинке Kodak IIa-О без фильтра с экспозицией 25". Разрешение около двух сек. дуги. На неэкспонированной части фотопластинки с той же экспозицией влечатаны марки двенадцатиточечного трубчатого фотометра. Измерения проводились на автоматическом фотометре Бабелсбергской астрофизической обсерватории ЦИА АН ГДР [7]. Была просканирована область размером 60×60 мм (21.'4×21.'4) с квадратной днафрагмой 100 µm и шагом 50 µт (теорема Найквиста-Котельникова). Интенсивности вычислялись посредством представления характеристической кривой полиномом претьей степени, а интегрирование звездных величин проводилось вплоть до изофоты $m_{pg} = 25$ с кв. сек. дуги. Определение нуль-пункта звездных величин в фотографической системе основано на фотоэлектрических измерениях трех ярчайших галактик скопления [8] и использовании зависимостей, приводимых в работе [9].

В области размером 21.'4 × 21.'4 находятся около 900 объектов, среди них уверенно отождествлены 204 галактики до предельной величины 21^m5. Во время отождествления мы ограничивались галактиками размером более 4—5 сек. дуги. Отождествление ниже указанното предела становилось весьма сомнительным. Предел полноты выборки равен $m_{pg} = 19^m$ 5, а числогалактик 132. Карта исследуемой области приводится на рис. 1, а координаты и звездные величины даны в табл. 1.

3. Фотометрическая структура. а) Функция светимости. Для построения дифференциальной и интегральной функций светимости проведены подсчеты галактик в интервалах звездных величин шириной 0^m3. Ввиду того, что до предела полноты в исследуемую область попадают только около десяти галактик поля, поправка в соответствующих интервалах не применялась. Количество галактик поля вычислялось согласно работе [10]. Дифференциальная и интегральная функции светимости приводятся на рис. 2. Дифференциальная функция светимости представлялась аналитической зависимостью, предложенной Шехтером [11], но эаписанной для удобства в абсолютных звездных величинах. Она получается подстановкой L = dex (-0.4 M) и $N^* = n^* 0.4 \ln 10 = 0.92 n^*$. В указанных обозначениях функция Шехтера примет вид

 $n(M)dM = N^* [dex 0.4(M^* - M)]^{a^* + 1} \exp[-dex 0.4(M^* - M)] dM.$ (1)

Оценка параметров α^* , M^* проводилась посредством минимизации выражения







Рис. 2. Интегральная (а) в дифференциальная (b) функции светимости скопленыя галактик А 2065 без коррекции за галактики поля; — — дифференциальная функция видимых величии галактих поля [10].

_		В	СКОПЛЕ	нии	A 2065		-
No	Х (мм)	Y (ык)	mpg	No	Х (нк)	<i>Ү</i> (жж)	mpg
1	2	3	4	1	2	3	4
1	27.06	43.33	16.50	36	32.39	34.76	18.09
2	30.29	41.97	16.83	37.	32.77	31.22	18.10
3	30.16	42.97	16.85	38	36.38	35.67	18.10
4	29.62	38.59	16.99	39	20.51	24.60	18.18
5	53.49	64.05	17.21	40	26.10	22.44	18.22
6	36.31	36.54	17.25	41	25.56	60.85	18.22
7	23.24	41.38	17.26	42	35.72	40.64	18.23
8	38.99	26.00	17.35	43	25.33	29.54	18.26
9	33.24	53.10	17.36	44	35.90	29.25	18.26
10	29.15	62.65	17.39	45	44.72	45.81	18.29
11	35.99	58.09	17.39	46	22.60	62.05	18.33
12	26.54	47.60	17.44	47	21.67	31.24	18.36
13	23.03	59.61	17.46	48	33.16	-50.58	18.36
14	23.94	43.50	17.50	49	32.17	43.99	18.38
15	30.37	54.73	17,55	50	29.34	. 42.45	18.38
16	53.75	59.35	17.63	51	30.35	47.45	18.40
17	11.09	37.67	17.65	52	10.52	40.85	18.40
18	28.67 .	18.72	17.69	53	27.81	25.02	18.41
19	23.34	43.93	17.69	54	35.49	34.12	18.43
20	29.35	40.58	17.73	55	28.11	39.82	18.44
21	1.19	16.93	17.79	56	9.02	53.19	18.50
22	39.37	34.60	17.79	57	30.88	72.45	18.52
23	19.58	29.99	17.85	58	45.95	33.51	18.53
24	10.42	20.56	17.88	59	23.05	39.91	18.54
25	13.34	41.93	17.90	60	44.23	54.39	18.56
26	28.44	20.97	17.91	61	39.64	25.43	18.58
27	18.34	29.58	17.92	62	51.01	38.26	18.58
28	24.66	16.05	17.94	63	38.44	18.53	18.59
29	11.39	34.12	17.94	64	35.76	37.74	18.59
30	18.24	57.97	17.97	65	17.30	31.19	18.59
31	14.91	67.52	17.97	66	25.06	65.90	18.64
32	43.36	51.93	17.99	67	45.40	36.36	18.69
33	28.48	27.64	17.99	68	28.15	39.83	18.69
34	17.69	46.64	18.07	69	26.61	37.62	18.72
35	14.18	60.12	18.08	70	18.66	22.02	18.74

Таблица 1 КООРДИНАТЫ И ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ГАЛАКТИК

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОПЛЕНИИ ГАЛАКТИК. І

				-	And in case of the local division of the loc		
1	2	3	4	1	2	3	- 4
71	17.69	49.40	18.74	102	49.94	35.48	19.15
72	35.29	32.44	18.75	103	24.84	56.34	19.16
73	27.94	42.84	18.77	104	32.74	28.93	19.17
74	31.86	57.38	18.83	105	25.77	41,57	19.18
75	17.05	68,02	18.85	106	19.90	32.80	19.19
76	15.15	50.62	18.85	107	27.75	44.07	19.19
77	32.41	23.40	18.86	108	4.53	33.47	19.19
78	39.28	40.57	18.87	109	24.92	39.13	19.24
79	40.89	30.23	18.88	110	40.37	39.05	19.28
80	18.32	56.80	18.89	111	35.36	23.76	19.28
81	25.97	37.04	18.89	112	26.42	36.22	19.28
82	27.00	39.22	. 18.84	113	22.79	17.10	19.29
83	29.19	47.59	18.87	114	45.03	49.45	19.29
84	36.44	39.65	18.93	115	7.28	34.70	19.30
85	35.81	49.51	18.94	116	39.12	36.58	19.30
86	11.19	15.97	18.96	117	20.85	34.05	19.34
87	29.45	39.86	18.96	118	36.61	42.06	19.35
.88	29.30	51.09	18.97	119	18.16	45.62	19.36
89	10.47	66.60	18.97	120	34.02	27.16	19.36
90	18.10	53.50	18.98	121	27.81	46.33	19.37
91	30.03	· 67.43	18.98	122	16.05	45.09	19.40
92	24.18	56.47	18.98	123	47.94	56.70	19.41
93	41.16	70.69	18.99	124	30.62	58.61	19.44
94	47.48	38.58	19.03	125	38.78	31.98	19.44
95	37.23	41.22	19.04	126	8.73	28.87	19.45
96	30.81	46.65	19.09	127	5.84	67.78	19.45
97	44.09	28.69	19.10	128	28.97	44.51	19.47
98	15.14	62.94	19.10	129	23.17	14.82	19.49
99	33.37	45.63	19.11	130	2.55	44.55	19.49
100	30.16	37.99	19.14	131	7.55	54.94	19.50
101	42.51	68.63	19.15	132	36.18	42.46	19.50
				6			

Таблица 1 (продолжение)

$$\chi_{v}^{2} = \frac{1}{N_{v}} \sum [n_{i}(M) - N_{i}(M)]^{2}/n_{i}(M),$$

где $n_i(M)$ вычислены из (1), а N_i наблюдаемые. Учитывая нелинейность выражения (1), был применен метод прямого поиска минимизирующих параметров, предложенный в [12], обладающий при нелинейном оценивании рядом преимуществ. В частности, не требуется вычислять никаких произ-

(2)

Водных, а недостаток прямых методов, состоящий в том, что они не так быстро приводят к результату, как методы с производными или симплексный метод (особенно когда число параметров велико), компенсируется в данном случае предварительным знанием пределов изменения a^* , M^* и хорошими аналитическими свойствами функции Шехтера. Для параметров получены значения $a^* = -1.25$, $M_{PS} = -20.45$. Если ввести поправку $M_{PS} - M_R + K_{PS} = 2.0$, полученное значение M_{PS} совпадает в пределах ошибок с определением M_R для десяти богатых скоплений Эйбелла [13]. Представление интегральной функции светимости эйбелловой зависимостью несколько искусственно и неудовлетворительно, как это хорошо видно также на рис. 3, приводимом в [14]. Для первых пяти точек интегральной функции получено значение $s_i = 1.1$, а для последующих $s_i = 0.36$. По-видимому, функцию светимости А 2065 в случае представления эйбелловой зависимостью необходимо аппроксимировать тремя отрезками прямой.

Говоря об универсальности аналитических выражений, предложенных до сих пор, хотелось бы отметить, что в одних случаях [14—17] эйбеллова зависимость дает весьма удовлетворительное представление данных (в статистическом смысле), а в других — функция Шехтера, что, по-видимому, указывает на их неуниверсальность. Указанный факт ранее отмечался также в [13].

4. Распределение геометрических параметров. а) Эллиптичность. На рис. 3 приводится гистограмма распределения эллиптичностей галактик до предела полноты выборки и до 18^m5. Наблюдаемая средняя эллиптичность равна 2.6, что, в среднем, характерно для эллиптических и линзовидных галактик. Приблизительно аналогичное распределение получено в [18] для скопления Сота (А 1656).

С целью исследования сегрегации наблюдаемых эллиптичностей галактих в зависимости от положения, светимости, размера большой осн

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОПЛЕНИИ ГАЛАКТИК. І

составлены таблицы, аналогичные второй. Оказалось, что на уровне 0.05 эллиптичность не зависит от положения, светимости и диаметра галактнки. Последние два обстоятельства противоречат предсказанию, содержащемуся в работе [19].

-	N (m)							
JoHa	-17 ^m 5	>17 5	<18 ^m 0	>18.0	<18.5	>18.5		
0.'0- 3.'0	8(4.3)	35(39)	10(9.7)	33(33.4)	19(18)	24(24)		
3.0- 6.3	4(4.4)	40(40)	10(9.9)	34(34)	21(18)	22(24)		
6.3-10.0	1(4.2)	42(38)	9(9.4)	33(33.4)	15(18)	26(23)		

Таблица 2 СЕГРЕГАЦИЯ ГАЛАКТИК ПО СВЕТИМОСТИ В А2065

5) Повиционный угол большой оси. Неоднократно отмечалось, что в некоторых скоплениях наблюдается предпочтительная ориентация осей галактик [20—23]. Она, по-видимому, определенно установлена для А 1656 [20], А 2197 [21—23], А 989 [21]. Вопрос ориентаций осей галактик по-



Рис. 3. Распределение наблюдаемых эллиптичностей (а) и утлов орнентаций больших осей галактик (b) в окоплении А 2065.

ля обстоятельно проанализирован в [24]. На рис. З приводится распределение позиционных углов галактик в скоплении А 2065 до предела полноты выборки и с $e \ge 2$.

393

Равномерность распределения проверялась посредством критерия χ² с семью степенями свободы

$$\chi^2 = \frac{1}{n^{\gamma}} \sum (N_i - n)^2, \qquad (3)$$

где $\gamma = 7$, n = 10.88. Для χ^2 получено значение 1.94. Вероятность $P(\chi^2 \ge 1.94) \le 0.064$.

С другой стороны, для выявления систематических направлений ориентаций весьма ценным является метод, предложенный в [24], основанный на фурье-преобразовании. Он заключается в следующем: данные аппроксимируются моделью

$$N(F_i) = N_{\rm u}(1 + \Delta_1 \cos 2F_i + \Delta_2 \sin 2F_i), \qquad (4)$$

где

$$\Delta_{1} = \sum N(F_{i}) \cos 2F_{i}/4.5 N_{0},$$

$$\Delta_{2} = \sum N(F_{i}) \sin 2F_{i}/4.5 N_{0}.$$
 (5)

В условиях случайного распределения ощибка определения Δ_1 , Δ_2 равна $\sigma(\Delta_1, \Delta_2) = \sqrt{1/4.5} N_0$, а вероятность того, что $\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}$ превысит за данное значение $P(>\Delta) < \exp(-2.25 N_0 \Delta^2)$. Для Δ_1 , Δ_2 , σ_{Δ} , $P(>\Delta)$ получены значения соответственно — 0.45, 0.0, 0.14, 0.007, а $\Delta/\sigma_{\Delta} = 3.2$. Для коэффициента автокорреляции

$$C = \sum (N_i - N_0) (N_{i+1} - N_0) / N_0$$
(6)

получено значение, равное 7, со стандартным отклонением 3. Вероятность $P(C \ge 7) \le 0.02$.

Проверка равномерности распределения проведена также на основе критерия Релея, приводимого в [25]. Для ковффициентов C, S,

$$nC = \sum \cos 2F_i, \quad nS = \sum \sin 2F_i, \quad (7)$$

получены значения — 0.22, 0.0. В приложении 5 [25] даются уровни значимости для $R = \sqrt{C^2 + S^2}$. Учитывая, что n = 98, находим $P(R > \ge 0.22) \le 0.01$.

Так как $F_t = 90^\circ$, может возникнуть некоторое сомнение относительно реальности наблюдаемой предпочтительной ориентации, совпадающей с направлением сканирования фотонегатива. Необходимо отметить, что в работе [20] для скопления Соша получено также $F_t = 90^\circ$. Если наблюдаемая предпочтительная ориентация осей галактик — наблюдательный вффект, то очевидно, что могут присутствовать два систематических эффекта: возможное неудовлетворительное гидирование по прямому восхождению и ошибки измерения или обработки. По-видимому, они должны приводить также к предпочтительной ориентации изображений звезд, измеренных в указанной области. С этой целью мы в противоположность [20] построили гистограммы распределения позиционных углов для звезд в интервале звездных величин 17^m5—20^m5, т. е. в среднем на одну величину слабее полноты выборки галактик. На уровне 0.05 наблюдаемая ориентация позиционных углов звезд оказалась равномерной. Таким образом, можно считать наблюдаемую предпочтительную ориентацию больших осей галактик в скоплении А 2065 значимой, хотя мы считаем необходимым независимое подтверждение полученного результата.

Мы вычислили взвешенный по светимости коэффициент корреляции между X и Y с целью определения направления вытянутости скопления. Оказалось, что $\rho_L(X, Y) = 0.31$, а ошибка $\sigma_{\rho_L}(X, Y) = 0.08$.

Отметим также, что невзвешенный коэффициент корреляции равен нулю, а угол вытянутости скопления совпадает с направлением ориентации центральной двойной галактики. Предпочтительная ориентация осей галактик приблизительно перпендикулярна этому направлению.

5. Выводы. 1. Определены фотометрические и геометрические параметры свыше 200 галактик в скоплении А 2065.

2. Для параметров Шехтера дифференциальной функции светимости получены значения $a^* = -1.25$, $M_{Pg}^* = -20.45$.

3. Наблюдаемое распределение эллиптичностей галактик говорит о большой доле эллиптических и линзовидных галактик.

 Наблюдаемая аллиптичность не зависит от светимости, размера большой оси и положения галактики в скоплении.

5. На основе статистического анализа распределения ориентации больших осей галактик показано, что наблюдается значимая (на уровне 0.05) предпочтительная ориентация $\overline{F}_t = 90^\circ$.

6. Направление предпочтительной ориентации перпендикулярно направлению вытянутости скопления и ориентации двойной галактики, находящейся в центральной области скопления.

Один из авторов (О.М.К.) выражает благодарность руководству ЦИА АН ГДР за предоставление возможности для работы и гостеприимство, а также А. Т. Каллогляну за ценные советы и постоянное внимание к настоящей работе. Авторы благодарны д-ру Х. Лоренцу за активную помощь, без которой настоящая работа не была бы завершена, и А. С. Амирханяну за помощь при получении снимка скопления А 2065.

Абастуманская астрофизическая обсерватория Центральный институт астрофизики АН ГДР

AN INVESTIGATION OF PHOTOMETRIC AND GEOMETRIC PARAMETERS OF GALAXIES IN CLUSTERS I. CLUSTER A2065

O. M. KURTANIDZE, G. M. RICHTER

The paper presents the plate treatment data of the cluster A2065 taken with the Byurakan Astrophysical Observatory 2.6-m telescope in the photographic band. The magnitudes were integrated up to the isophote corresponding to $m_{pg} = 25$ sq. arc sec. The completeness limit is 19.75 and the number of galaxies up to this limit is 132. For the parameters of the Schechter luminosity function the values of $a^* = -1.25$, $M_{pg}^* = -20.45$ were derived and for those of Abell $s_1 = 1.1$, $s_2 = 0.36$. The luminosity segregation of the galaxies is observed only within a magnitude from the brightest galaxy. The ellipticities and position angles of the major axes of galaxies were determined. The observed ellipticity does not depend on the luminosity, diameter and position of galaxies in the cluster. In terms of different statistical criteria it is shown that an alignment of the galaxy major axes is observed. It is perpendicular to the direction of the central double galaxy orientation and to that of the cluster elongation.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. F. Zwicky, Proceedings of the Third Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Ed., J. Neyman, 3, 1956.
- 2. G. Abell, Astrophys. J. Suppl. Ser., 3, 211, 1958.
- 3. H. Spinrad, Publ. Astron. Soc. Pacif., 89, 116, 1977.
- 4. M. Struble, H. Rood, Astron. J., 87, 7, 1982.
- :5. C. D. Shane, C. A. Wirtanen, Publ. Lick Observ., 22, part 1, 1967.
- 6. A. Oemler, Astrophys. J., 194, 1, 1974.
- 7. K. Fritze, M. Lange, G. Möstl, H. Oleak, G. M. Richter, Astron. Nachr., 298, 189, 1977.
- 8. M. L. Humason, N. U. Mayall, A. R. Sandage, Astron. J., 61, 97, 1956.
- 9. O. J. Eggen, Astron. J., 60, 65, 1955.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК. І

- 10. G. S. Brown, Publ. Astron., The University of Texas, No. 11, 1974.
- 11. P. Schecter, Astrophys. J., 203, 297, 1976.
- 12. Д. Химмельблау. Анализ процессов статистическими методами, Мир, М., 1986.
- 13. A. Dressler, Astrophys. J., 223, 765, 1978.
- 14. G. Abell, in Stars and Stellar Systems, 9, ed. A. Blaauw and Maarton Schmidt (Chicago: University of Chicago Press), 614, 1975.
- 15. M. J. Bucknell, J. G. Godwin, J. V. Peach, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 188, 579, 1979.
- A. T. Kalloghlian, A. G. Egikian, D. Nanni, D. Trevese, A. Vignato, Astrofisika, 19, 183. 1983.
- A. G. Egikian, A. T. Kalloghlian, D. Nanni, D. Trevess, A. Vignato, Astrofisika, 21, 21, 1984.
- 18. K. M. Strom, S. E. Strom, Astron. J., 83, 73, 1978.
- 19. J. Gott, T. X. Thuan, Astrophys. J., 204, 649, 1976.
- 20. S. Djorgovski, Astrophys. J., 274, L7, 1983.
- 21. M. Adams, K. M. Strom, S. E. Strom, Astrophys. J., 238, 445, 1980.
- 22. L. A. Thompson, Astrophys. J., 209, 22, 1976.
- 23. О. М. Куртаниязе, Всесоюзная конференция «Строение и Физика Галактик», Боржоми, 17—20 июня 1980 г. (см. В. Г. Сурдин, Астрон. ж., 57, 1349, 1980).
- 24. D. J. Hawley, P. J. E. Peebles, Astron. J., 80, 477, 1975.
- .25. К. Мардиа, Статистический анализ утловых наблюдений, Науке, М., 1978.