

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 12

АВГУСТ, 1976

ВЫПУСК 3

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК А193

Ф. БЕРНГЕН, А. Т. КАМЛОГЯН

Поступила 1 марта 1976

На снимках, полученных в шмидтовском фокусе двухметрового телескопа Таутенбургской обсерватории, определены интегральные V -величины для 146 и показатели цвета $B-V$ для 125 галактик в области скопления Эйбелл 193. В функциях светимости в B и V имеются локальные максимумы при $B = 18^m.4$ и $V = 17^m.2$ соответственно (рис. 3). Логарифмические интегральные функции светимости в B и V даются уравнениями (1)–(4). В скоплении имеется сегрегация галактик по яркости: концентрация галактик к центру скопления усиливается при увеличении их яркости. Более слабые галактики имеют более низкие значения показателя цвета $B-V$, а средние поверхностные яркости галактик возрастают при уменьшении их диаметров. В скоплении имеются много галактик, удовлетворяющих критерию компактности.

1. *Введение.* Из отдельных скоплений галактик более или менее хорошо изучены скопления Coma [1, 2] и Virgo [3, 4] как самые доступные и как прототипы правильных и неправильных скоплений. Для многих скоплений галактик, хотя и не очень удаленных, не известны радиальные скорости даже ярчайших их членов. Очень мало данных о функции светимости скоплений, о распределении галактик по цветам, диаметрам, морфологическим типам. Между тем, накопление подобных данных для достаточно большого числа скоплений может пролить свет на эволюцию галактик вообще.

В настоящей работе построена в двух цветах функция светимости скопления галактик Эйбелл 193 (в дальнейшем А193), исследовано распределение галактик по показателям цвета $B-V$ и средним поверхностным яркостям. Построена также функция диаметра галактик.

В каталоге Эйбелла исследуемое скопление принадлежит к первой группе богатства и четвертой группе расстояния [5]. В классификационной схеме Бауц—Моргана скопление причислено к типу II [6]. Согласно Цвикки оно является скоплением средней компактности [7]. По виду галактик на Паломарских картах в скоплении имеется много компактных объек-

ств, что позволило Р. К. Шахбазян и М. П. Петросян включить его в список компактных галактик под номером 40 [8].

Центром скопления нами выбрана яркая галактика IC 1695 с координатами $\alpha_{1950} = 1^{\text{h}}22^{\text{m}}5$, $\delta_{1950} = +08^{\circ}26'$, что совпадает с центром скопления по Эйбеллу. По данным Цвикки центр скопления находится на $0^{\text{m}}1$ западнее и $13'$ южнее IC 1695.

По Эйбеллу средний радиус скоплений четвертой группы расстояния равен $17''$. В нашем исследовании охвачена область с радиусом 8.5 . Как мы увидим далее, уже на этом расстоянии плотность галактик значительно падает.

2. *Наблюдательный материал и методика измерений звездных величин и угловых диаметров.* Наблюдательный материал получен в системе, близкой к стандартной системе В, V в шмидтовском фокусе Таутенбургского двухметрового телескопа. В системе В использованы пластинки ZU-2 со светофильтром GG13, а в системе V—пластинки Кодак 103а-D со светофильтром GG11. Связь нашей цветовой системы со стандартной системой В, V приведена в [9]. Стандартами послужили шаровые скопления и компактные галактики в области M31, В- и V-величины которых приведены в [10—13]. Для построения характеристических кривых были измерены объекты, находящиеся вне основного тела M31.

Измерения галактик велись на ирисовом фотометре Таутенбургской обсерватории. В каждом цвете измерены по две пластинки. Среднее отклонение от средних значений равно $\pm 0^{\text{m}}06$ в обоих цветах. V-величины измерялись для 146 галактик. Однако 9 из них вытянуты и звездные величины определены неуверенно. Показатели цвета В—V определены для 125 галактик. В статистике показателей цвета использованы лишь 116 галактик, после исключения вытянутых, 5 других галактик, отождествленных в исследуемой области скопления, перекрываются близлежащими объектами и учтены лишь в подсчетах галактик.

По нашей просьбе сотрудник Таутенбургской обсерватории Хейгер получил эквиденситы всех объектов в цвете V для средних плотностей. Угловые диаметры галактик, измеренные по этим эквиденситам, соответствуют размерам, внутри которых определены V-величины галактик. Ошибка измерений угловых диаметров галактик не превышает $\pm 1''$. Отметим, что для очень слабых галактик диаметры по полученным эквиденситам трудно измерить.

На рис. 1 приведен снимок скопления A193, сделанный в красных лучах. На снимке измеренные галактики пронумерованы по возрастающим величинам.

В сводной табл. 1 приводятся номера галактик, соответствующие номерам на рис. 1, интегральные V-величины, показатели цвета В—V, боль-



Рис. 1. Спиральная галактика M193. Снимок сделан на пластинках Кодия 103а-Е через светофильтр RG1. Север сверху, восток слева.

Таблица 1

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК В СКОПЛЕНИИ А193

№	V	B-V	d	V [*]	№	V	B-V	d	V [*]
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	—	—	18 0	—	37	17 ^m 20	1 ^m 27	6 1	20 ^m 89
2	15 ^m 33	1 ^m 48	11 7	20 ^m 42	38	17.21	1.17	7.7	21.35
3*	15.39	1.36	15.3	21.03	39	17.23	1.32	6.1	20.92
4	15.68	1.42	10.7	20 57	40	17.25	1.27	9.2	21.79
5*	15.73	1.49	15.3	21.37	41	17.35	1.05	6.1	21.04
6*	15 78	1.26	17.9	21.77	42	17.36	1 38	6 1	21 05
7*	15.87	1.23	11.7	20.56	43	17.37	1.23	5 6	20.86
8	15.50	1.46	10.7	20 79	44	17.41	1 01	5.6	20.90
9	15.92	1.34	10.2	20.71	45*	17.45	1.21	5.6	20 94
10*	16.04	1.39	15.3	21.68	46	17.48	1.30	5.6	20.97
11*	16.07	1.44	10.7	20.96	47	17.49	0.59	6.1	21 18
12*	16.16	1.24	10.2	20.95	48	17.50	0.75	5.1	20 79
13	16.24	1.53	9.7	20.93	49	17.51	1.24	4 6	20.55
14	16.40	1.16	10.2	21.19	50	17.53	1.13	5.6	21.02
15	16.50	1.28	10.2	21.27	51	17.53	1.33	5.6	21.02
16	16.57	1.20	8.7	21.01	52	17.54	1 25	5.1	20.83
17	16.60	1.32	9.2	21.14	53	17.55	1.20	5.6	21.04
18	16.63	1.40	9.2	21 17	54	17.60	0.52	5.6	21.09
19	16.68	1.03	7.6	20.62	55	17.62	1 22	4.6	20.66
20	16.70	1.25	9.2	21.24	56	17.68	1 17	5.1	20.97
21	16.74	1.45	9.2	21.23	57	17.69	1.23	5.1	20.98
22	16 86	1.16	7.7	21.05	58	17.70	1.42	5 1	20.59
23	16.88	1.19	7.1	20.87	59	17.71	0.93	5.1	21.00
24	16.89	1.11	7.7	21.03	60	17.75	1.29	3.6	20.21
25*	16.90	1.14	10.2	21.69	61	17.75	0.73	5.6	20 24
26	16.50	1.24	7.7	21.04	62	17.75	1.25	5.1	21.04
27	17.00	1.10	6.1	20.69	63	17.78	1 04	3.1	19 97
28	17.02	1.34	8 7	21 46	64	17.79	1.41	3 6	20.28
29	17.03	1.27	7.1	21.12	65	17.82	1.18	4.1	20.61
30	17.06	1.35	7.1	21 05	66	17.82	1 29	4.1	20.61
31	17.08	1.27	6.6	20.92	67	17.85	1.19	3.1	20.04
32	17.10	0.81	6.1	20.79	68	17.88	0.93	2.5	19.62
33	17.14	1.20	8.7	21 59	69	17.88	1.20	—	—
34	17.15	1.08	6.6	20.99	70	17.89	1.22	—	—
35	17.15	1.30	7.1	21.14	71	17.90	1.30	—	—
36	17.16	1.34	7.7	21.30	72	17.94	1.14	—	—

* Выявлены галактики.

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
73	17 ^m 95	1 ^m 03	—	—	111	18 ^m 28	0 ^m 97	—	—
74	17 98	1.16	4.1	20 ^m 77	112	18.28	0.99	2.6	20 ^m 07
75	17.98	1.06	4.6	21.02	113	18.29	0.94	—	—
76	18.01	1.02	—	—	114	18.30	0.75	—	—
77	18.01	1.06	3.1	20.20	115	18.30	0.96	—	—
78	18.02	1.11	—	—	116	18.30	—	—	—
79	18.03	1.37	—	—	117	18.31	—	—	—
80	18.05	1.11	—	—	118	18.32	—	—	—
81	18.06	1.21	3.6	20.55	119	18.33	—	—	—
82	18.07	1.18	—	—	120	18.33	—	—	—
83	18.09	1.16	—	—	121	18.34	0.96	—	—
84	18.09	1.22	—	—	122	18.35	0.92	—	—
85	18.13	0.98	—	—	123	18.35	1.07	—	—
86	18.14	—	—	—	124	18.36	1.02	—	—
87	18.14	1.03	—	—	125	18.36	—	—	—
88	18.14	0.91	—	—	126	18.36	0.84	2.6	20.15
89	18.14	1.20	3.1	20.33	127	18.36	0.92	—	—
90	18.15	1.14	—	—	128	18.37	—	—	—
91	18.16	1.04	—	—	129	18.38	0.97	—	—
92	18.17	0.96	3.1	20.35	130	18.40	0.92	—	—
93	18.18	1.13	—	—	131	18.40	—	—	—
94	18.19	1.03	—	—	132	18.40	0.94	—	—
95	18.20	1.14	—	—	133	18.41	—	—	—
96	18.21	1.02	—	—	134	18.41	—	—	—
97	18.21	1.15	—	—	135	18.42	0.80	—	—
98	18.21	—	—	—	136	18.42	0.82	—	—
99	18.22	1.09	—	—	137	18.45	—	—	—
100	18.22	1.15	—	—	138	18.47	0.81	—	—
101	18.22	1.06	2.6	20.01	139	18.47	—	—	—
102	18.22	—	—	—	140	18.48	0.95	—	—
103	18.22	1.05	—	—	141	18.48	0.84	—	—
104	18.23	0.98	—	—	142	18.50	—	—	—
105	18.24	0.78	—	—	143	18.50	—	—	—
106	18.24	1.19	—	—	144	18.50	—	—	—
107	18.25	0.97	—	—	145	18.51	—	—	—
108	18.26	1.02	—	—	146	18.6	0.70	—	—
109	19.27	—	—	—	147	18.6	—	—	—
110	18.28	—	—	—					

шие диаметры в секундах дуги и средние поверхностные яркости, вычисленные по данным столбцов 2 и 4.

3. *Распределение галактик в скоплении.* Подсчеты и измерения галактик произведены внутри радиуса $8.5'$. В этой области отождествлена 151 галактика до $18^m 5$. С целью изучения распределения галактик область скопления разбита на четыре concentрические кольца с шириной $2'$ каждое. Радиальное распределение галактик показано на рис. 2. По оси абсцисс отложено расстояние середины колец от центра скопления в минутах дуги.

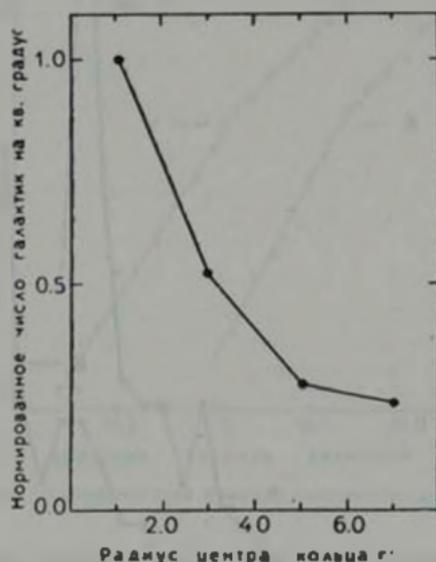


Рис. 2 Радиальное распределение галактик скопления А 193.

По оси ординат отложено нормированное число галактик в соответствующих кольцах из кв. градус. На расстоянии $8'$ плотность галактик по сравнению с центральным кругом падает в 4 раза. Плотность же галактик в центральном круге с радиусом $2'$ превышает среднюю плотность по всему скоплению в радиусе $8.5'$ около 3-х раз.

4. *Функции светимости скопления и о сегрегации галактик по яркости.* Дифференциальная и интегральная функции светимости скопления в В и V, не исправленные за галактики поля, приведены на рис. 3 и 4. Из рис. 3 видно, что подсчеты галактик являются полиыми до $B = 19^m 1$ и $V = 18^m 3$. Обе функции светимости возрастают не монотонно, а имеют локальные максимумы в ярких частях кривых. Вследствие этого в интегральных функ-

циях светимости имеется излом при $B = 18^m4$ и $V = 17^m2$, соответственно. Как известно, локальные максимумы или плато наблюдаются также в функциях светимости других скоплений галактик [14—16].

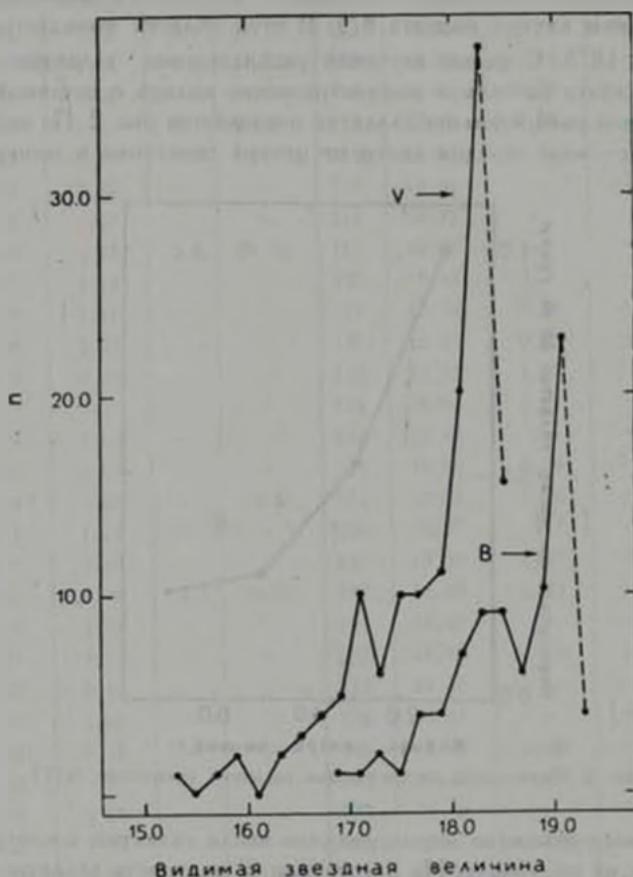


Рис. 3. Функция светимости скопления A193 в B и V.

Решение способом наименьших квадратов дало следующие уравнения для прямых в яркой и слабой частях интегральных функций в B и V:

$$\lg N_B = 0.98 B - 15.87, \quad B < 18^m4, \quad (1)$$

$$\lg N_B = 0.56 B - 8.88, \quad B > 18^m4, \quad (2)$$

$$\lg N_V = 0.82 V - 12.66, \quad V < 17^m2, \quad (3)$$

$$\lg N_V = 0.51 V - 7.38, \quad V > 17^m2. \quad (4)$$

Угловой коэффициент яркой части интегральной функции в V почти совпадает с угловым коэффициентом той же части интегральной функции светимости скопления $Coma$, равным 0.78 по Эйбеллу [1]. Коэффициент при B в яркой части функции светимости несколько больше, чем коэффициент при V . Это различие можно объяснить тем, что более слабые галактики скопления являются менее красными (см. ниже). В слабой части функции светимости коэффициент при B также слегка больше, чем при V .

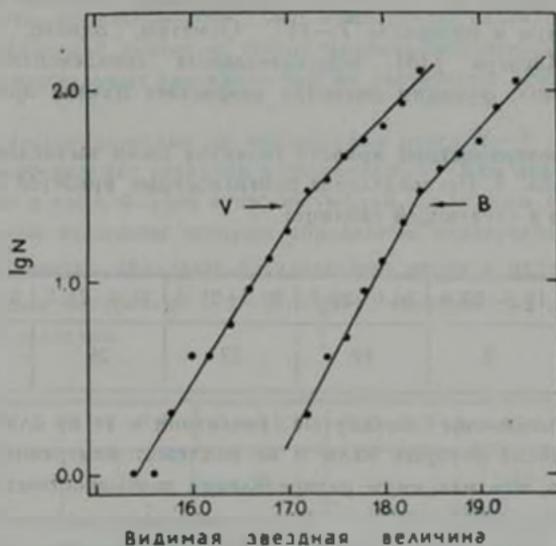


Рис. 4. Интегральная логарифмическая функция светимости скопления А 193 в B и V .

Однако наклон этой части кривой существенно больше наклона слабой части кривой в случае $Coma$, где угловой коэффициент равен 0.23. Неучет плотности галактик поля в случае исследуемого скопления не может быть причиной подобного различия, поскольку на область скопления с общей площадью 0.063 кв. градуса могут проектироваться не более 4—5 галактик поля до $V = 18.5$.

Для исследования эффекта сегрегации галактик по яркости мы ограничились галактиками до $V = 18^m 3$. Весь интервал звездных величин был разбит на две части с условным граничным значением $16^m 8$. Отношение чисел галактик ярче и слабее $16^m 8$ в центральном круге с радиусом $4'$ равно 0.33, а вне этого радиуса 0.15. Отсюда следует, что более яркие галактики концентрируются к центру скопления сильнее, чем более слабые галактики.

5. *Функция диаметра и распределение поверхностных яркостей.* Кроме эквиденсит для средних плотностей, для галактик скопления были получены также эквиденситы для более низких плотностей. В последнем случае диаметры значительно превышают размеры измеренных областей галактик. На рис. 5 приведено распределение галактик по диаметрам, измеренным по обеим эквиденситам. Для сравнения на рисунке приводится также кривая для галактик Coma по данным Руда и Баума [17]. Несмотря на имеющиеся различия, общим для всех трех распределений является хорошо выраженный минимум в интервале 7—11". Отметим, однако, что в работе Рихтера и Хегнера [18], использовавших эквиденситные диаметры галактик в Coma, функция диаметра возрастает плавно при уменьшении диаметра.

Средние поверхностные яркости галактик были вычислены на основании данных табл. 1. Распределение поверхностных яркостей с кв. секунды дуги приведено в следующей таблице:

Таблица 2

V/m^2	19.5—20.0	20.0—20.5	20.5—21.0	21.0—21.5	21.5—22.0
n	2	10	27	26	2

В таблицу не включены вытянутые галактики и те из слабых галактик, кружки эквиденсит которых малы и не подлежат измерению. Из данных таблицы видно, что максимум распределения поверхностных яркостей падает в интервал 20^m5—21^m5. В этом интервале находятся 80% галактик. Среди галактик скопления имеется 12 объектов, яркость которых превосходит 20^m5 с кв. секунды дуги в V. Это означает, что в красном цвете они удовлетворяют критерию компактности, принятому В. А. Амбарцумяном и др. [19]. Кроме того, 27 галактик имеют поверхностную яркость лишь несколько более низкую, чем 20^m5. Поэтому скопление можно считать относительно богатым компактными объектами.

Сопоставление поверхностных яркостей галактик с их диаметрами показывает, что с уменьшением средней поверхностной яркости угловые диаметры галактик в среднем увеличиваются (табл. 3). К сожалению, число галактик с высокой и низкой поверхностной яркостью мало. Однако и в интервале от 20^m0—21^m5 размеры галактик меняются в 1.5 раза.

Таблица 3

V/m^2	19.5—20.0	20.0—20.5	20.5—21.0	21.0—21.5	21.5—22.0
d''	2.8	4.9	6.2	7.3	9.0
n	2	10	27	26	2

Подобная зависимость наблюдается также в скоплении Coma. Аналогичная статистика для Coma, проведенная нами на основании данных, приведенных в [2, 17], показывает, что от среднего значения 6.7 в интервале 19^m0-19^m5 диаметры галактик доходят до $22''$ для галактик с поверхностной яркостью в интервале 22^m5-23^m0 . Любопытно, что от 20^m0 до 21^m5 диаметры галактик также увеличиваются в 1.5 раза от $8''$ до $12''$. Полученный нами результат находится в хорошем соответствии с результатом Сарджента, показывающим, что компактные галактики Цвикки с высокой поверхностной яркостью имеют значительно меньшие линейные диаметры, чем нормальные галактики той же светимости [20].

6. *Распределение галактик по показателям цвета $B-V$ и зависимость $B-V$ от V .* Распределение галактик в скоплении А 193 по показателям цвета представлено в табл. 4. При этом опять-таки исключены вытянутые галактики, звездные величины которых определены неуверенно. По данным табл. 4, 75% галактик обладают показателями цвета в интервале от 0^m9 до 1^m3 со средним значением 1^m1 . Эти цвета типичны для эллиптических и линзовидных галактик.

Таблица 4

$B-V$	0.5-0.7	0.7-0.9	0.9-1.1	1.1-1.3	1.3-1.5	1.5-1.7
n	2	10	39	47	17	1

В табл. 5 приведено распределение показателей цвета $B-V$ по интервалам звездных величин. В первой строке таблицы приведены интервалы V -величин, во второй — число галактик в каждом интервале, в третьей — средние показатели цвета по соответствующим интервалам и в четвертой — среднеквадратические отклонения.

Таблица 5

V	15-16	16-17	17-18	> 18
n	4	14	47	51
$\overline{B-V}$	1.43	1.24	1.16	0.96
σ	± 0.051	0.141	0.184	0.142

Как видим, более яркие галактики в скоплении являются более красными. Этот эффект довольно сильно выражен и в том случае, если исключить галактики слабее $V = 18^m0$. С другой стороны, дисперсия пи-

казателей цвета в интервалах слабее 16^m0 мало отличаются друг от друга, тогда как для ярчайших галактик в интервале от $V = 15^m0$ до $V = 16^m0$ они существенно меньше. Однако в последнем случае число галактик мало. Отметим, что посинение галактик с уменьшением яркости наблюдается также и в других скоплениях, например, в Сопа [2]. Небезынтересно отметить также, что показатели цвета галактик в скоплении А193 не зависят от поверхностной яркости.

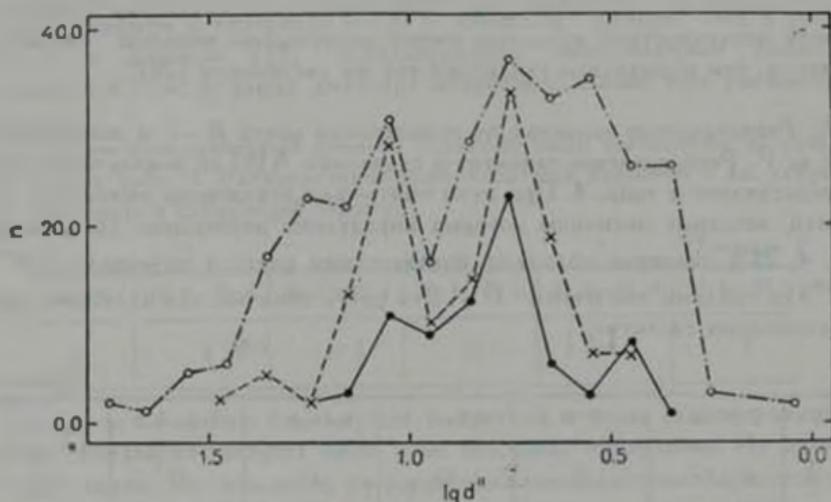


Рис. 5. Распределение галактик по диаметрам; по эквидиссиптным диаметрам галактик скопления А193: ● — для средних плотностей, × — для более низких плотностей, ○ — для галактик скопления Сопа по данным [17].

7. **Заключение.** Исследование скопления галактик А193 приводит к следующим выводам.

а) В радиусе $8.5'$ в скоплении отождествлена 151 галактика. Подсчеты являются полными до $V = 18^m3$. Яркие галактики показывают более сильную тенденцию к сгущиванию к центру скопления, т. е. в скоплении имеется сегрегация галактик по светимости.

б) По сравнению с центральным кругом с радиусом $2'$, плотность галактик на расстоянии $8'$ от центра скопления падает в 4 раза. Плотность же галактик в центральном круге превышает среднюю плотность по всему скоплению в радиусе $8.5'$ около 3 раз. Нужно полагать, что скопление простирается дальше этого радиуса.

в) Функции светимости скопления в В и V имеют локальные максимумы при $V = 18^m4$ и $V = 17^m2$ соответственно. Это приводит к излому в логарифмической интегральной функции светимости. Если, следуя Эй-

беллу, допустить, что абсолютная звездная величина точки излома постоянна для всех скоплений и принять, согласно [2], значение $M_V = -20^m 8$ при $H = 55$ км/сек на Mpc , то модуль расстояния скопления окажется равным 37.8 с учетом галактического поглощения. К сожалению, мы не смогли измерить величину центральной галактики IC 1695. Грубая оценка B -величины дала значение $15^m 3$ (в каталоге [7] дается значение $15^m 4$). Приписывая к IC 1695 показатель цвета $B - V = +1^m 2$, для V -величины получим $14^m 2$. Тогда видимая величина точки излома относительно ярчайшей галактики IC 1695 равна 3.0. Согласно Бауц и Эйбеллу [21], этот параметр для скоплений с характеристиками скопления А193 в среднем равен 2.9.

г) Распределение галактик по диаметрам носит весьма нерегулярный характер. Характерной особенностью этого распределения является недостаток галактик с диаметрами 7—11". Поверхностные яркости при уменьшении диаметров галактик регулярно увеличиваются. В скоплении имеется много галактик, удовлетворяющих критерию компактности по [19].

д) Галактики скопления становятся менее красными при ослаблении их интегральной яркости.

Авторы благодарны академику В. А. Амбарцумяну за полезное обсуждение и В. Хегнеру за получение эквидист. Один из авторов (А. Т. К.) выражает благодарность руководству и сотрудникам ЦИА АН ГДР за гостеприимство и предоставленные возможности при выполнении настоящей работы.

Центральный институт
астрофизики АН ГДР
Бюраканская астрофизическая
обсерватория

A STUDY OF CLUSTER OF GALAXIES A 193

F. BÖRNGEN, A. T. KALLOGLIAN

V magnitudes for 146 and $B - V$ color indices for 125 galaxies in the cluster Abell 193 are determined on the Schmidt plates of Tautenburg two-meter telescope.

There exist local peaks in the luminosity functions in B and V at $B = 18.4$ and $V = 17.2$ mag. respectively (Fig. 3). Logarithmic integral functions in B and V are given by equations (1) — (4).

There is a tendency for bright galaxies to be more concentrated to the cluster center.

The fainter galaxies tend to have smaller color indices. The mean surface brightnesses increase with the decrease of galaxy diameters. Distribution of equidensity diameters is presented. A relatively large number of cluster galaxies satisfy the compactness criterium.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. O. Abell, Problems of Extra-Galactic Research, ed. G. C. McVittie, New York, 1962, p. 213.
2. H. J. Rood, Ap. J., 158, 657, 1969.
3. E. Holmberg, Medd. Lund. II, No. 136, 1958.
4. G. de Vaucouleurs, Ap. J. Suppl., ser., 5, 233, 1960.
5. G. O. Abell, Ap. J. Suppl., ser., 31, 211, 1958.
6. L. P. Bautz, A. J., 77, 1, 1972.
7. F. Zwicky, M. Karowicz, C. T. Kowal, CGCG vol. V, Switzerland, 1965.
8. Р. К. Шахбазян, М. Б. Петросян, Астрофизика, 10, 13, 1974.
9. Ф. Берниен, А. Т. Каллоглян, Астрофизика, 10, 159, 1974.
10. S. van den Bergh, Ap. J. Suppl., ser., 19, 145, 1969.
11. M. Vetsanik, Bull. Astr. Inst. Czechoslovakia, 13, 180, 1962.
12. А. С. Шаров, Астрон. ж., 50, 263, 1973.
13. А. С. Шаров, Астрон. ж., 50, 1023, 1973.
14. G. O. Abell, Ann. Rev. Astr. Astrophys., 3, 1, 1965.
15. А. Т. Каллоглян, Сообщ. Бюраканской обс., 40, 3, 1969.
16. T. B. Austin, J. V. Panch, M. N., 168, 591, 1974.
17. H. J. Rood, W. A. Baum, A. J., 72, 398, 1967.
18. N. Richter, W. Hogner, Astron. Nachr., 295, 221, 1975.
19. V. A. Ambartsumian, H. C. Arp, A. A. Hoag, L. V. Mirzoyan, Astrofizika, 11, 193, 1975.
20. W. L. W. Sargent, Ap. J., 160, 405, 1970.
21. L. P. Bautz, G. O. Abell, Ap. J., 184, 709, 1973.