

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАРЛИКОВЫХ СИСТЕМ ТИПА СКУЛЬПТОРА  
В СКОПЛЕНИИ ГАЛАКТИК В ДЕВЕ

И. Д. КАРАЧЕНЦЕВ

Поступила 17 февраля 1965

По картам Паломарского атласа изучено распределение карликовых галактик типа Скульптора в области скопления Девы. На площади в 432 кв. градуса найдено 165 карликовых систем.

Установлена физическая связь карликовых систем с индивидуальными яркими галактиками, причем связь с ярчайшими галактиками оказалась более тесной. С помощью выражения для гипергеометрического распределения вероятностей показана более сильная статистическая взаимосвязь систем типа Скульптора с эллиптическими галактиками, нежели со спиральными. Тенденции образовывать изолированные группы у карликовых систем не обнаружено.

Под объектами типа Скульптора обычно понимают карликовые галактики с низкой поверхностной яркостью и малым градиентом яркости по диску. Они не имеют наблюдаемых ядер, по крайней мере до предельной звездной величины имеющихся снимков.

Как отмечалось ранее [1], анализ подсистемы карликовых галактик в скоплении позволяет решить ряд вопросов, интересных в динамическом и космогоническом отношении:

1. Если карликовые галактики, имеющие малые массы, повторяют в общем распределение ярких галактик, то можно утверждать, что скопление не находится в квазистационарном состоянии.

2. Если системы типа Скульптора физически связаны с отдельными яркими галактиками, то они должны иметь совместное происхождение, так как вероятность захвата для них очень мала.

3. Если бы оказалось, что карликовые галактики не образуют изолированных групп, то это означало бы, что в формировании карликовых галактик решающую роль играют космогонические процессы в галактиках высокой светимости.

В работе [2] Ривс пришел к заключению о довольно точном совпадении общих картин распределения карликовых и ярких галактик в скоплении Девы. Позднее Ривс [3] сделал вывод, что в том же скоплении карликовые системы физически не связаны с отдельными яркими галактиками. В качестве критерия он использовал отношение среднего расстояния между карликовыми галактиками и ближайшими яркими к среднему расстоянию от каждой нормальной галактики к ближайшей нормальной. В каталоге карликовых галактик [4] Ван ден Берг отметил, что карликовые объекты распределены по небу неравномерно и заметно проявляют тенденцию к сгущиванию даже при отсутствии по соседству ярких галактик. Однако такой эффект замечается у систем с различной спиральной и иррегулярной структурой. Типичные же карлики типа Скульптора (их всего в каталоге [4] около десятка) тенденцию к сгущиванию как будто не проявляют.

Для выяснения поставленных вопросов на картах Паломарского атласа были проведены независимые поиски карликовых систем в области Девы на площади в 432 кв. градуса. Регистрировались объекты с угловыми диаметрами  $d \geq 0.4$  мм, что при масштабе карт 1 мм = 67'1 соответствует 0'45. Присутствие карликовой галактики считалось установленным только в том случае, если она была заметна как на синей, так и на красной картах. Параллельно с поисками карликов на той же площади отмечались и яркие нормальные галактики с диаметрами более 1 мм. Всего было обнаружено 165 систем типа Скульптора и 492 яркие галактики.

Сравним полученные результаты с данными Ривса. Из 48 карликовых галактик типа IC 3475 в списке Ривса 37 (т. е. 77%) отмечены и нами. Из остальных 5 не удовлетворяют вышеприведенному определению (содержат звездообразные сгущения), а 6, т. е. 13%, нами пропущено. Если учесть различие в просмотренных площадях и в предельных угловых диаметрах измеряемых объектов, то окажется, что число карликов у Ривса примерно в два раза меньше, чем у нас. Это различие объясняется, по-видимому, большей контрастностью Паломарских карт по сравнению с негативами. Большинство пропущенных Ривсом систем имеют очень малую поверхностную яркость. В качестве примера последних можно привести объекты  $\alpha = 12^h 14^m 00^s$   $\delta = +7^\circ 05'$  на 16' к северо-западу от NGC 4241 и  $\alpha = 12^h 34^m 00^s$   $\delta = +12^\circ 09'$  на 19' к западу от NGC 4579.

Заметим, что галактики „diffuse“, „very diffuse“ и „extremely diffuse“ из каталога Цвикки [5] не имеют никакого отношения к рассматриваемым карликовым объектам.

Распределение ярких галактик и систем типа Скульптора по 108 площадкам  $2^\circ \times 2^\circ$  представлено на рис. 1а и 1б. Полутенью заштрихованы площадки с числом галактик примерно в два раза выше среднего. Заштрихованные квадраты отчетливо выделяют центральное тело скопления как у ярких галактик, так и у карликовых. Совпадение обеих картин распределения очень хорошее. Подтверждением того, что карликовые галактики распределены далеко не случайным

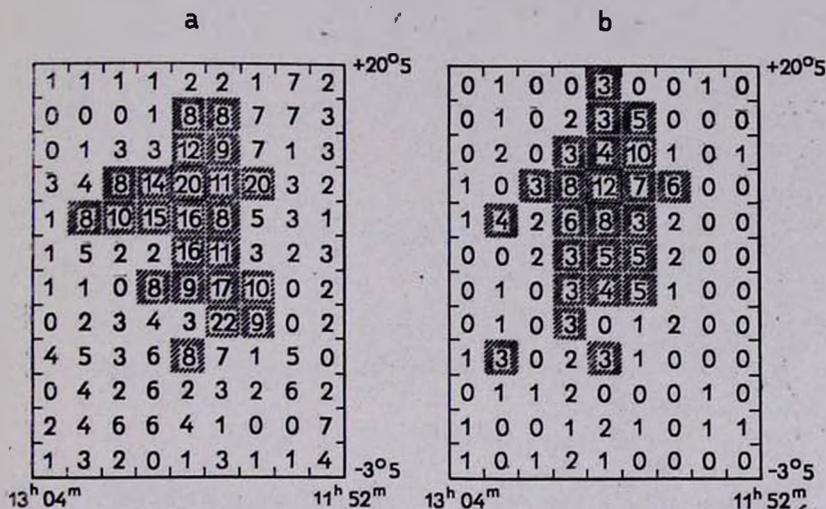


Рис. 1. а. Распределение ярких галактик в скоплении Девы. б. Распределение карликовых галактик в скоплении Девы. Цифры указывают числа галактик в площадках  $2^\circ \times 2^\circ$ . Области повышенной концентрации выделены полутенью. Центр скопления помечен квадратом.

образом, служат данные табл. 1. В ней приведены теоретические вероятности  $P_r(n)$  попадания  $n$  галактик в единичную площадку и наблюдаемые частоты  $P_n(n)$ . Сопоставление двух рядов чисел говорит об отсутствии согласия между наблюдаемым и случайным пуассоновским распределением.

Представляет интерес сравнить функции диаметров нормальных и карликовых галактик. На рис. 2 приведены логарифмы чисел галактик больше данного углового диаметра. Мы видим, что функция диаметров систем типа Скульптора (кривая 2) растет в среднем круче, чем для нормальных галактик (кривая 1). При расстоянии до скопления Девы  $r = 15.8$  мпс ( $v = 1182$  км/сек,  $H = 75$  км/сек·мпс) линейные диаметры карликов прослежены до предела  $D = 2.0$  кпс. Наибольшие объекты типа Скульптора имеют линейные диаметры 6–7 кпс.

Для выявления физической связи систем типа Скульптора с яркими галактиками были сделаны подсчеты ярких галактик в концентрических кольцах разного радиуса вокруг 165 карликовых галактик. В предположении случайности расположения последних относительно

Таблица 1

$n$	$P_T(n)$	$P_H(n)$
0	0.22	0.46
1	0.33	0.22
2	0.25	0.10
3	0.13	0.09
4	0.05	0.03
5	0.015	0.04
6	0.006	0.01
7	$1 \cdot 10^{-3}$	0.01
8	$3 \cdot 10^{-4}$	0.02
9	$5 \cdot 10^{-5}$	0
10	$8 \cdot 10^{-6}$	0.01
11	$1 \cdot 10^{-6}$	0
12	$2 \cdot 10^{-7}$	0.01

$n$  — число галактик, попадающих в единичную площадку  $2^3 \times 2^0$ .

$P_T(n)$  — пуассоновская вероятность попадания  $n$  галактик в единичную площадку.

$P_H(n)$  — наблюдаемая частота попадания.

нормальных галактик вычислены соответствующие биномиальные вероятности (табл. 2). Из таблицы видно, что число ярких галактик, находящихся по соседству с системами типа Скульптора, систематически выше среднего. Вероятности случайности такой ситуации чрезвычайно малы, особенно в кольцах 1—2 см и 2—3 см. Таким образом, карлики действительно группируются около ярких галактик.

Можно подозревать, что на результатах существенно отражается неоднородность распределения не карликовых, а ярких галактик. Для проверки этой возможности подсчеты проводились отдельно в центральной части скопления и на периферии. Результат изменился не существенно. Следовательно, причина заключена не в распределении ярких галактик, а в распределении карликовых по отношению к ярким\*.

\* На критерии Ривса неоднородность распределения ярких галактик отражается принципиальным образом; она делает критерий взаимных расстояний в значительной степени неопределенным.

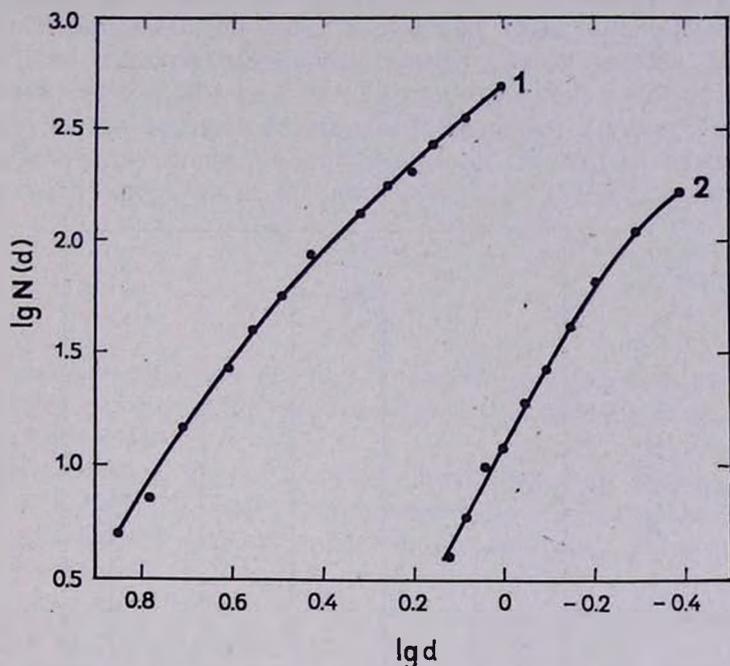


Рис. 2. Функции диаметров для ярких галактик (кривая 1) и для карликовых (кривая 2). По оси абсцисс отложены логарифмы угловых диаметров галактик, выраженные в мм ( $1 \text{ мм} = 1' 12''$ ); по оси ординат — логарифмы числа галактик с диаметрами больше данного.

Таблица 2

$R$ см	0—0.3	0.3—0.5	0.5—1.0	1.0—2.0	2.0—3.0
$\bar{n}$	1.8	3.2	15	60	100
$n$	5	7	33	115	222
$W(n)$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$3 \cdot 10^{-26}$

$R$  — радиусы колец в см.

$\bar{n}$  — среднее число ярких галактик в кольцах при однородном распределении.

$n$  — наблюдаемое число галактик в кольцах.

$W(n)$  — соответствующие биномиальные вероятности.

Попытаемся выяснить, как меняется вероятность случайности попадания наблюдаемого числа ярких галактик в кольца вокруг карликов в зависимости от радиуса колец  $R$ . При больших  $R$  в центральных частях скопления кольца, описанные вокруг карликовых галактик,

начинают перекрываться и происходит процесс „насыщения“. Вероятности  $W$  приходится уже рассчитывать не по биномиальным формулам. Во избежание этого были выполнены подсчеты отдельно на южной периферии скопления по  $\delta$  от  $-3.5$  до  $+8.5$ . Здесь можно было пойти до  $R = 5$  см. Результат подсчетов в виде зависимости  $\lg W$  от  $R$  изображен на рис. 3. Логарифм биномиальной вероятности имеет отчетливый экстремум при  $R \approx 3$  см (1 см на карте равен 51 кпс).

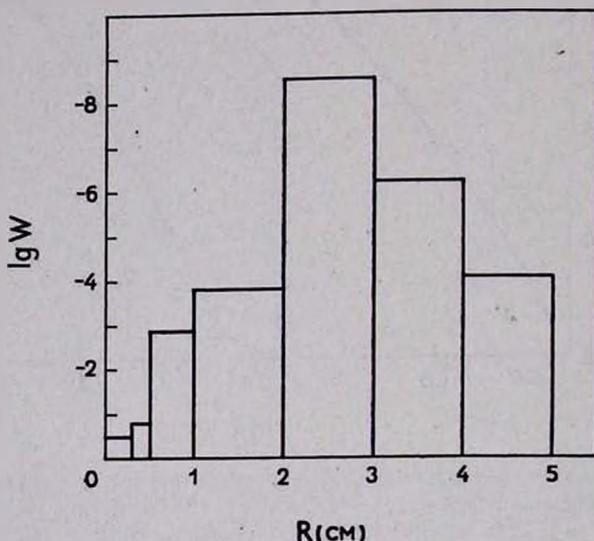


Рис. 3. Зависимость логарифма биномиальной вероятности попадания наблюдаемого числа ярких галактик в кольца различных радиусов вокруг систем типа Скульптора.

С некоторой осторожностью полученный экстремум можно объяснить следующим образом: системы типа Скульптора предпочитают располагаться относительно ближайшей яркой галактики на некотором определенном расстоянии; в линейной мере оно равно примерно 150 кпс. В этом нет ничего удивительного, если вспомнить, что в Местной системе карликовая галактика Скульптора удалена от нашей Галактики на 70 кпс, а система в Печи — на 150 кпс.

Предпочитают ли объекты типа Скульптора группироваться к ярчайшим галактикам чаще, чем к галактикам с умеренной светимостью? По-видимому, да. Сравнение функций диаметров для галактик, расположенных на расстоянии  $\leq 3$  см от карликовых систем, с функцией диаметров по всей области Девы обнаруживает в первой избыток более ярких галактик. Если совместить концы функций диаметров при  $d = 1.0$  мм, то галактик с  $d > 2.0$  мм будет по соседству

с системами типа Скульптора больше на 55%, галактик с  $d > 3.5$  мм — на 74%, а самых ярких с  $d > 5.0$  мм — на 140%. Из 492 галактик в области Девы 115 попадают в площадки с  $R \leq 2$  см вокруг систем типа Скульптора, причем из 42 галактик с  $d > 3.5$  мм попадают в эти площадки 27. Вероятность такого события дается гипергеометрическим распределением:

$$q_{\text{ярк}} = \frac{\binom{42}{27} \binom{492-42}{115-27}}{\binom{492}{115}} \approx 10^{-7},$$

где скобки суть символы сочетаний. Ничтожная величина вероятности подтверждает вывод о предпочтительной связи карликов с самыми яркими галактиками.

Если поставить до некоторой степени обратную задачу и посмотреть, какие системы типа Скульптора встречаются возле 15 ярчайших галактик скопления, то окажется, что функция диаметров у них почти не изменится. Другими словами, большие и малые системы типа Скульптора в равной пропорции встречаются как возле ярчайших галактик, так и вдалеке от них.

Неожиданной оказалась уверенная статистическая связь карликовых галактик с нормальными эллиптическими. В площадки с  $R \leq 2$  см попадают 56 эллиптических галактик из 156 по всему полю. Вероятность этого события составляет  $q_E = 5 \cdot 10^{-6}$ . Поскольку число эллиптических галактик с  $d > 1.0$  мм и систем типа Скульптора с  $d > 0.4$  мм примерно одинаково, то удобно сравнить отношения  $N_E/N$  и  $N_{\text{ск}}/N$  на разных расстояниях от центра скопления. Здесь  $N_E$  и  $N_{\text{ск}}$  соответственно числа эллиптических и карликовых галактик, а  $N$  — полное число нормальных галактик (спиралей и эллиптических) на той же площади. Распределение этих отношений вдоль радиуса скопления представлено на рис. 4. Как видно из рисунка, ход обеих зависимостей довольно сходный. Это еще раз подтверждает более тесную связь карликовых систем с эллиптическими, нежели со спиральными галактиками. Но обнаруженную взаимосвязь следует понимать лишь как статистическую. Можно указать на пример спирали NGC 4321, в радиусе 3 см вокруг которой находится 7 карликовых систем — больше, чем возле любой эллиптической галактики.

Отметим, наконец, следующую тенденцию. Системы типа Скульптора предпочитают располагаться возле соседней яркой галактики на продолжении ее большой оси. Так, из 54 карликов с расстояниями  $R \leq 2$  см от соседних нормальных галактик 24 имеют углы с боль-

шой осью в пределах  $\pm 30^\circ$ . И хотя вероятность того, что это случайно, не очень мала ( $W = 4 \cdot 10^{-2}$ ), по нашему убеждению, переход от распределения в проекции к пространственному распределению должен сделать эту тенденцию более контрастной.

Что касается вопроса о сгущивании карликовых систем в изолированные группы, то такой эффект как будто не замечается. Действительно, среди 165 систем типа Скульптора 26 образуют пары с взаимным расстоянием членов менее 1 см. Однако по соседству с

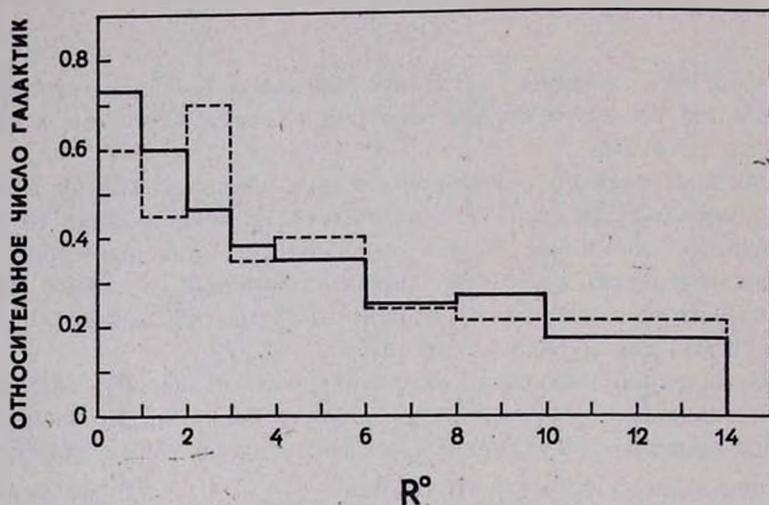


Рис. 4. Относительное распределение эллиптических галактик (сплошная линия) и систем типа Скульптора (пунктир) вдоль радиуса скопления. Радиус выражен в градусах. Последняя зона от  $10^\circ$  до  $14^\circ$  включает только южную периферию скопления.

ними всегда находится яркая галактика. Среди 24 квазиизолированных карликов (вокруг которых в радиусе 3 см нет ни одной яркой галактики) такие тесные пары отсутствуют.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что происхождение карликовых систем типа Скульптора тесным образом связано с яркими галактиками. Являются ли они спутниками ярких галактик или же выброшены из центральных частей ярких галактик — ответить на этот вопрос без знания лучевых скоростей затруднительно. Если карликовые системы обязаны своим происхождением деятельности ядра соседней яркой галактики, то наличие или отсутствие ее возле последней могло бы служить некоторой характеристикой активности ядра. Различная степень связи систем типа Скульптора с эллиптическими галактиками и спиральями может приводить к тому, что у скоплений с различным населением могут быть неодинаковые распреде-

ления карликовых систем. Похоже, что данные Ходжа [6] о системах типа Скульптора в скоплении Печи, состоящем исключительно из неправильных и спиральных галактик, говорят в пользу этого. Было бы интересно проверить такой эффект на других близких скоплениях галактик.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## THE DISTRIBUTION OF SCULPTOR-TYPE DWARF SYSTEMS IN VIRGO CLUSTER OF GALAXIES

I. D. KARACHENTSEV

On the Palomar Sky Survey the distribution of the Sculptor-type dwarf systems in Virgo cluster is examined. 165 dwarf systems on the area of 432 square degree are found.

The physical connection of the dwarfs with the individual bright galaxies is established; the connection of the dwarfs with the brightest galaxies is closer. With the help of the hypergeometric distribution of probabilities a stronger statistical connection between the dwarfs and elliptical galaxies rather than the spirals is detected.

The tendency of Sculptor-type systems to form isolated groups is not revealed.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Вопросы космогонии, т. 8, М., 1962.
2. G. Reaves, A. J., 61, 69, 1956.
3. G. Reaves, A. J., 69, 556, 1964.
4. Sidney van den Bergh, Publications of the David Dunlap observatory, 2, № 5, 147, 1959.
5. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies, California Institute of Technology, 1961.
6. P. Hodge, Publ. A. S. P., 72, 426, 188, 1960.