

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

НОЯБРЬ, 1980

ВЫПУСК 4

УДК 523.855

ПРОБЛЕМА КРАТНОСТИ ЯРКИХ ГАЛАКТИК, ПОДОЗРЕВАЕМЫХ В КОМПАКТНОСТИ

Н. Г. КОГОШВИЛИ

Поступила 21 января 1980

Принята к печати 14 июля 1980

Представлена статистическая оценка скученности среди ярких галактик, удовлетворяющих критерию компактности и отобранных в результате исследования МКГ. Показано, что компактные несколько чаще входят в видимые системы, чем произвольные галактики, хотя не исключено, что это расхождение объяснимо неточностью метода анализа данных. Относительное число компактных галактик определенно растет при уменьшении видимого блеска. В системах угловые расстояния от компактной галактики до ближайшего соседа существенно меньше, чем от произвольного члена до его соседа.

1. *Введение.* Существует мнение, что компактные галактики обладают повышенной тенденцией встречаться в парах и кратных системах.

Цвикки [1, 2], Фэрролл [3], И. Д. Караченцев и др. [4] отмечают, что компактные галактики образуют значительное число изолированных пар с «удивительно одинаковыми компонентами». Бертола и др. [5], изучая компактные галактики Цвикки нашли, что 50% из них являются членами двойных и кратных систем, в то время как среди нормальных только 22% галактик встречаются в системах.

С другой стороны, появились работы, в которых ставится под сомнение само существование компактных галактик.

Корменди [6], сравнивая фотографические профили яркости для ряда компактных Цвикки и нормальных E и S0 галактик, приходит к выводу, что компактные по основным своим характеристикам не отличаются от E и S0 галактик. Масси [7], в результате фотометрического исследования галактик, принадлежащих к компактной группе Шахбазян 1, утверждает, что компактные являются обычными эллиптическими галактиками средней светимости. Фэрролл [8] отмечает, что компактность является след-

ствием эффекта карт Паломарского атласа неба (ПА), так как в большинстве исследований критерием компактности служило изображение галактик на ПА.

Однако во всех рассмотренных случаях необъясненным остается видимое распределение компактных галактик, значительно отличающееся от распределения нормальных. Действительно ли существует это различие и если оно реально, то в какой степени вызвано эффектами селекции? Будет ли оно значимым для различных интервалов звездных величин?

В настоящем исследовании предпринята попытка ответить на эти вопросы. Кроме компактных галактик из каталога ССГ Цвикки [2] рассмотрены также галактики, подозреваемые в компактности и выделенные из Морфологического каталога галактик Б. А. Воронцова-Вельяминова с сотр. [9].

2. *Методы анализа распределения галактик.* Для определения принадлежности индивидуальной галактики к двойным или кратным системам обычно используются количественные критерии [10—12]. Недостатком таких критериев является неуверенность при отнесении отдельных галактик к физическим системам из-за существования оптических пар, а также неизолированных систем, образованных видимыми «верхушками» удаленных групп и скоплений, количественно исследованных И. Д. Караченцевым и Б. И. Фесенко [13].

Известны, однако, методы, которые позволяют статистически оценить долю галактик, входящих в физические системы, и изучить функцию распределения угловых расстояний между компонентами в проекции на небесную сферу.

Один из этих методов был предложен Холмбергом [14], а в применении к звездам подробно разработан Фесенко [15]. Метод Фесенко с различными видоизменениями использован Е. В. Звягиной [16], Караченцевым [17, 18], Л. М. Фесенко [19] при анализе распределений галактик. Этот метод представляется более простым по сравнению с методом Пиблаза [20, 21], использующего для оценки основных характеристик скучивания корреляционные функции и анализ координат с помощью спектра мощности.

Рассмотренный метод анализа данных был применен к различным выборкам галактик, ограниченным по блеску и составленным на основе Каталога ярких галактик на магнитной ленте ЭВМ М-220 [22].

К распределению галактик и их систем на небесной сфере была применена модель равномерно-случайного распределения. Подсчеты галактик производились внутри кругов радиуса θ вокруг галактик, а также вокруг случайных центров, не связанных с галактиками. Выборочные распределения для галактик $P_1(n, \theta)$ и случайных центров $P_2(n, \theta)$ определялись

путем подсчета случаев, когда в круге определенного радиуса находилось фиксированное число галактик.

Для определения вероятности $q(i)$ принадлежности галактики к системе кратности i используются соотношения, выведенные в работе [15]:

$$P_1(n, \theta) = \sum_{i=1}^{n-1} P_2(n-i+1, \theta) q(i), \quad (1)$$

$$q(1) = \frac{P_1(0, \theta)}{P_2(0, \theta)}, \quad (2)$$

где $q(1)$ — вероятность того, что фиксированная галактика является одиночной.

Нужно отметить, что описанный метод позволяет наиболее надежно оценить относительное число одиночных галактик, в то время как частота двойных и галактик более высокой кратности определяется с большими ошибками. В связи с этим была изучена принадлежность различных совокупностей галактик к кратным системам. Оценивалась величина:

$$\delta = \sum_{i=2}^t q(i) = 1 - q(1) = 1 - \frac{\langle P_1(0, \theta) \rangle}{\langle P_2(0, \theta) \rangle}, \quad (3)$$

где t — максимальная кратность систем.

Функции $P_1(0, \theta)$ и $P_2(0, \theta)$ рассчитывались отдельно для каждой карты ПА, а затем усреднялись по всему каталогу МКГ. Дисперсии величины $q(1)$ определялись эмпирическим путем — по совокупности значений $q(1)$, найденных для 17 однородных областей неба по склонению. Звездные величины исправлялись за поглощение в Галактике в соответствии с равенством:

$$\Delta m = -0.25 \operatorname{cosec} |b''| \quad (4)$$

и приводились к величинам Цвикки согласно [23]. Области с $|b| \leq 20^\circ$ не рассматривались.

Поля, содержащие скопления Virgo и Coma, не исключались. Считалось, что сглаженная плотность числа галактик неизменна в пределах каждой карты ПА. Заметим, что, согласно Фэроллу [24], не наблюдается роста числа компактных в скоплениях.

Реализация случайных центров осуществлялась машинным способом с помощью генератора псевдослучайных чисел согласно В. Ф. Ляшенко [25].

3. *Результаты подсчетов.* Галактики включались в выборку по принципу ограничения по блеску для четырех интервалов звездных величин:

ярче 14^m0 , 14^m5 , 15^m0 и 15^m5 . Были составлены также подвыборки: K_1 — яркие компактные галактики Цвикки из ССГ, вошедшие и в МКГ. K_2 — галактики МКГ, подозреваемые в компактности и выделенные в работе [26], и G — произвольные галактики МКГ.

При определении величины δ , введенной выше, различаются случаи двойных и кратных систем, образованных галактиками следующих типов: $G-G$, K_1-K_1 , K_1-G , K_2-K_2 , K_2-G . Например, случаю K_1-G соответствует величина $\delta(\theta)$, определяемая как относительное число галактик выборки K_1 , имеющих ближайшего соседа — члена системы из выборки G не далее расстояния θ . Численные результаты приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что рассматриваемые выборки галактик обладают различными свойствами. Число галактик в парах и группах среди только компактных галактик типа K_2-K_2 значительно меньше, чем среди произвольных галактик. Компактные галактики образуют более тесные системы. В то же время, доля компактных в смешанных системах (K_1-G , K_2-G) заметно превышает аналогичную долю среди всех галактик. Галактики выборки K_1 демонстрируют более крутое, чем у нормальных галактик распределение угловых расстояний в системах, удивительно малые значения θ и сходную с нормальными галактиками степень скученности.

Таблица 2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКУЧИВАНИЯ РАССМАТРИВАЕМЫХ
ВЫБОРОК ГАЛАКТИК

	$G-G$	K_1-K_1	K_2-K_2	K_1-G	K_2-G
δ	0.302	0.213	0.088	0.355	0.413
	± 0.015	± 0.041	± 0.023	± 0.046	± 0.040
θ'_{\max}	31	6	23	10	27
n	15737	255	788		

В табл. 2 приводятся основные характеристики скученности для выборок галактик ярче 15^m0 : δ — относительное число галактик в системах с числом видимых членов ≥ 2 , определяемое по месту в кривой $\delta(\theta)$, где она достигает насыщения и начиная с которого рост значений δ прекращается; θ'_{\max} — максимальное угловое расстояние до ближайшего члена той же системы, определяемое по наименьшему угловому разделению соседних галактик, превышение которого уже маловероятно; n — число галактик в выборках.

Относительное число всех галактик в системах кратности ≥ 2 оказалось несколько заниженным в сравнении с результатом ($\delta = 0.40$), полученным в работе [27] иным методом на основе Ликских подсчетов, что, возможно, связано с неполнотой данных МКГ в рассматриваемом интер-

вале звездных величин, отмеченной, в частности, Т. С. Башариной и др. [28], а также неточностью используемого метода.

Большой процент тесных систем типа K_1-K_1 заставляет предположить, что галактики Цвикки находятся, в среднем, на больших расстояниях, чем все остальные галактики. Однако, как это следует из табл. 3, значения светимости практически одинаковы для галактик всех трех выборок. В чем причина несоответствия между свойствами подвыборок K_1-K_1 и K_2-K_2 ?

Таблица 3

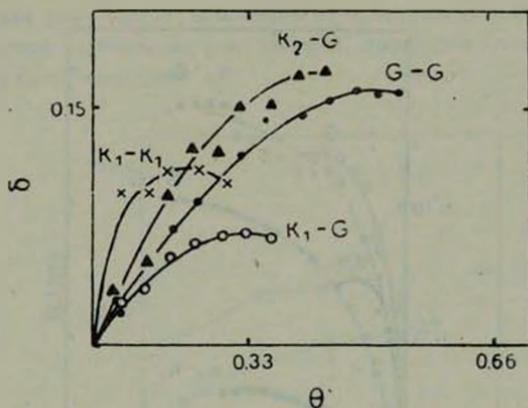
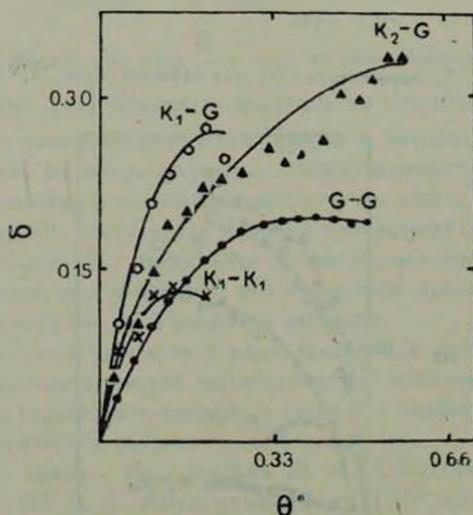
СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ, ВИДИМЫХ И АБСОЛЮТНЫХ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН ГАЛАКТИК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЯРЧЕ 15^m

	$\langle V \rangle$	$\langle m \rangle$	$\langle M \rangle$	n
Произвольные галактики G	3077 + 69	12.9 ± 0.03	-21.0	1392
Компактные Цвикки K_1	4973 ± 347	14.0 ± 0.10	-21.0	86
Компактные МКГ K_2	5461 + 344	14.0 ± 0.08	-21.2	140

Исследования Сарджента [29] и автора [26] показывают, что галактики K_1 представляют собой очень неоднородный класс объектов с большим разнообразием в структуре и поверхностной яркости. Только 10% галактик K_1 ярче 15^m удовлетворяют критерию компактности. Воронцов-Вельяминов [30] свидетельствует, что часть опубликованных им взаимодействующих галактик Цвикки включил в ССГ в качестве эруптивных галактик. Поэтому представляется малоубедительным высокую степень кратности, найденную у объектов K_1 , среди которых постэруптивные галактики составляют до 90%, распространять на все компактные галактики.

На рис. 1—4 представлены распределения угловых расстояний между соседними компонентами систем рассмотренных выборок галактик для различных интервалов звездных величин. Независимо от предельной величины галактик в выборке все графики показывают сходное распределение с усилением эффектов скучивания при ослаблении предельного блеска. Увеличение процента объектов в системах с ростом звездных величин связано с включением в подсчеты галактик, принадлежащих скоплениям Virgo и Coma, а также является, возможно, следствием различных искажений в используемом материале.

4. *Дискуссия.* Возникает вопрос, реально ли наблюдаемое распределение компактных галактик и в какой степени эффекты селекции могут исказить наблюдаемую картину скученности.

Рис. 1. Зависимость $\delta(\theta)$ для галактик ярче $14^m.0$.Рис. 2. Зависимость $\delta(\theta)$ для галактик ярче $14^m.5$.

Была изучена зависимость относительного числа компактных галактик K_1 и K_2 в каталоге МКГ от видимой звездной величины. С этой целью подсчитывались все галактики, компактные K_1 и K_2 в определенных интервалах звездных величин и находилось отношение:

$$B(m) = N_k(m)/N(m), \quad (5)$$

где N_k — число компактных, а N — число всех галактик.

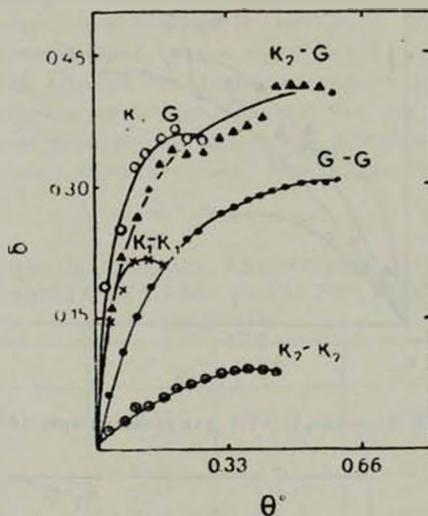
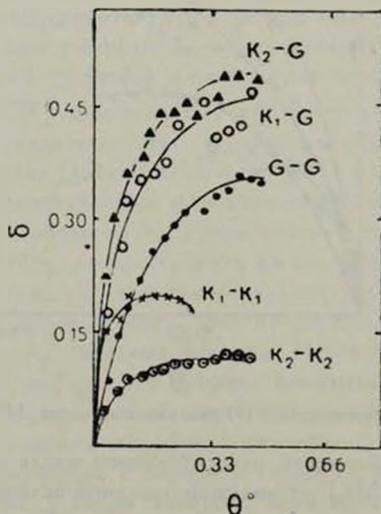
Рис. 3. Зависимость $\delta(\theta)$ для галактик ядра 15^m0 .Рис. 4. Зависимость $\delta(\theta)$ для галактик ядра 15^m5 .

Рис. 5 свидетельствует, что наблюдается систематическое увеличение числа компактных МКГ с ослаблением звездной величины, выраженное менее явно в случае галактик Цвикки.

Чем вызван рост числа компактных: пространственным обилием галактик этого типа на больших расстояниях, примесью «ложных» компактных или эффектами селекции?

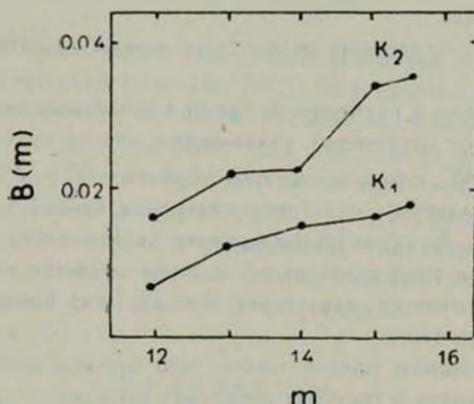


Рис. 5. Зависимость $V(m)$ для галактик рассматриваемых типов.

Рубин с сотр. [31] обратили внимание на существование систематических ошибок в звездных величинах Цвикки в интервале $14^m 0 - 14^m 9$ в функции углового диаметра галактик, способствующих завышению яркости галактик с малыми угловыми размерами, что может вести, в свою очередь, к избыточному росту числа далеких компактных галактик.

Нейман и Скотт [32] отмечают, что чем больше вероятность селекции и чем ярче данный тип галактики, тем больше он представлен в каталоге с приближением к предельной звездной величине.

Компактные галактики в силу ряда факторов, а именно, по своей форме, концентрации света, частой встречаемости в видимых парах и группах имеют большую вероятность попасть в каталог в сравнении с галактиками других морфологических типов того же блеска.

В то же время, исследования М. А. Аракеяна, Э. А. Дибая и В. Ф. Есипова [33], В. А. Амбарцумяна и др. [34] указывают на существование среди компактных галактик галактик высокой светимости.

Все это позволяет предположить, что компактные выбираются из большего объема пространства, чем все остальные галактики, и, следовательно, рассмотренные выборки галактик различаются между собой по объему пространства.

Однако основной причиной, возможно, является завышение числа компактных галактик за счет включения «ложных» компактных, т. е. галактик, ошибочно принимаемых за компактные галактики, связанное с ослаблением внешних областей галактик, исчезновением областей с низ-

кой поверхностной яркостью, превращением галактик в более упрощенные круглые объекты с ослаблением величины. Большие систематические ошибки, сопутствующие измерению малых диаметров компактных галактик, были исследованы, в частности, автором [23] при оценке числа компактных в каталоге МКГ.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Впервые к анализу скученности среди компактных галактик применен метод, свободный от трудностей, связанных с учетом оптических пар. Среди галактик ярче 15^m видимые системы образуют $30 \pm 2\%$ объектов. Среди компактных галактик того же интервала блеска в системы входит $41 \pm 4\%$ объектов. Если же рассматривать только случаи, когда ближайшим соседом компактной галактики в системе является также компактная галактика, то оказывается, что только $9 \pm 2\%$ всех компактных галактик объединены в такие пары.

Имеются основания предположить, что приведенный выше процент произвольных галактик в системах несколько занижен.

Наблюдается заметное возрастание относительного числа компактных галактик с ослаблением блеска, которое с большой вероятностью можно объяснить вкладом «ложных» компактных. Поэтому в настоящее время нельзя с уверенностью утверждать, что компактные галактики чаще нормальных входят в видимые системы.

Рост относительного числа компактных галактик с увеличением звездной величины, при условии, что светимости компактных и обычных галактик в среднем одинаковы, вытекающем из рассмотрения объектов с известными лучевыми скоростями, означает, что в рассматриваемых выборках по блеску средняя видимая величина компактных больше, чем у нормальных галактик. Следовательно, компактные объекты находятся дальше и угловые размеры их систем должны быть меньше.

Автор выражает глубокую благодарность Б. И. Фесенко за полезные советы и критические замечания.

Абастуманская астрофизическая
обсерватория

THE PROBLEM OF MULTIPLICITY OF BRIGHT GALAXIES
WHICH ARE SUSPECTED TO BE COMPACT

N. G. KOGOSHVILI

A statistical estimation of small-scale clustering of bright probable compact galaxies selected from the MCG is presented. It is shown that compact galaxies are met in visible systems more frequently than normal ones while it is not excluded that the disagreement is explained by inaccuracy of the data analysis of the method used. A relative number of compact galaxies increases definitely with the decrease of apparent brightness. The angular separations of the systems between the compact galaxies and their nearest companions are essentially less than those between normal ones and their neighbours.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. Zwicky, *Acta Astronomica*, 14, 151, 1964.
2. F. Zwicky, *Catalogue of Selected Compact Galaxies and of Post-Eruptive Galaxies*, Zürich, 1971.
3. A. P. Fairall, *MNASSA*, 29, 48, 1970.
4. I. D. Karachentsev, V. I. Pronic, K. K. Chuvaev, *Astron. Astrophys.*, 41, 375, 1975.
5. F. Bertola, F. Lucchin, E. Nasti, *Publ. Obs. Astron. Univ. Bologna*, 10, 13, 1971.
6. J. Kormendy, *Ap. J.*, 214, 359, 1977.
7. P. Massey, *P. A. S. P.*, 89, 13, 1977.
8. A. P. Fairall, *Observatory*, 98, 1, 1978.
9. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногорская, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик*, т. 1—4. М., 1962—1968.
10. E. Holmberg, *Ann. Lunds Obs.*, 6, 1937.
11. И. Д. Караченцев, *Сообщ. САО*, 7, 3, 1972.
12. E. L. Turner, *Ap. J.*, 208, 20, 1976.
13. И. Д. Караченцев, Б. И. Фесенко, *Астрофизика*, 15, 217, 1979.
14. E. Holmberg, *Ap. J.*, 92, 200, 1940.
15. Б. И. Фесенко, *Уч. зап. ЛГУ*, 323, 146, 1964.
16. Е. В. Звягина, *Астрон. ж.*, 43, 34, 1966.
17. I. D. Karachentsev, *Acta Astronomica*, 21, 237, 1971.
18. И. Д. Караченцев, Р. Л. Царевская, А. Л. Щербановский, *Астрон. ж.*, 52, 999, 1975.
19. Л. М. Фесенко, *Астрофизика*, 11, 651, 1975.
20. P. J. E. Peebles, *Ap. J.*, 185, 413, 1973.
21. P. J. E. Peebles, M. G. Hauser, *Ap. J., Suppl. ser.*, 253, 19, 1974.
22. Н. Г. Кошошвили, *Бюлл. Абастуманской обс.*, 46, 133, 1874.
23. Н. Г. Кошошвили, *Астрофизика*, 13, 639, 1977.
24. A. P. Fairall, *MNASSA*, 35, 53, 1976.
25. В. Ф. Ляшенко, *Программирование для ЭВМ М-220*, М., 1967.

26. Н. Г. Когошвили, Труды III ЕАК, Тбилиси, 1975, стр. 255.
27. Б. И. Фесенко, Н. П. Питьев, Астрон. ж., 51, 736, 1974.
28. Т. С. Башарина, Е. Д. Павловская, А. А. Филиппова, Астрон. ж., 56, 495, 1979.
29. W. L. W. Sargent, Ap. J., 160, 405, 1970.
30. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрон. ж., 54, 254, 1977.
31. V. C. Rubin, W. K. Ford Jr., N. Thonnard, M. S. Roberts, J. A. Graham, A. J., 81, 687, 1976.
32. Д. Нейман, Е. Л. Скотт, Космология, Теория и наблюдения, симп. 63, М., 1978, стр. 173.
33. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Астрофизика, 11, 377, 1975.
34. V. A. Ambartsumian, H. C. Arp, A. A. Hoag, L. V. Mirzoyan, Astrofizika, 11, 193, 1975.