

УДК 524.77

В. Е. Караченцева, И. Б. Вавилова

**Скучивание карликовых галактик
низкой поверхностной яркости.****II. Скопление Virgo**

Методом двумерного кластерного анализа изучено скучивание ярких и карликовых галактик низкой поверхностной яркости (НПЯ). Галактики Virgo демонстрируют скучивание, значительно отличающееся от того, что было бы при их равномерном распределении. В целом распределение карликов НПЯ по скоплению хорошо согласуется с распределением ярких галактик. Эллиптические карлики скучиваются сильнее, чем сфероидальные, а распределение иррегулярных карликов практически равномерно. Сравнение средних угловых размеров карликов НПЯ, находящихся в населенных кластерах (областях с достаточно высокой локальной плотностью окружения), с размерами изолированных карликов НПЯ не показывает значимого различия; однако наблюдается значимое различие размеров карликов разных типов. Изучен характер распределения ярких и карликовых НПЯ-галактик вдоль радиуса скопления. Подсистемы эллиптических и сфероидальных карликов НПЯ, а также подсистема ярких эллиптических и S0-галактик хорошо описываются Кинг-профилем плотности распределения с $r_c = 1.85^\circ, 1.25^\circ, 1.03^\circ$ соответственно. Распределения иррегулярных карликов НПЯ и ярких спиральных галактик, избегающих центра скопления, не согласуются с Кинг-моделью ($r_c = 2.16^\circ, 3.53^\circ$ соответственно).

СКУПЧУВАННЯ КАРЛИКОВИХ ГАЛАКТИК НИЗЬКОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ЯСКРАВОСТІ. II. СКУПЧЕННЯ VIRGO, Караченцева В. Ю., Вавілова І. Б. — Методом двовимірного кластерного аналізу вивчено скупчування яскравих та карликових галактик низької поверхневої яскравості (НПЯ). Галактики Virgo демонструють скупчування, що значуще відрізняються від того, що було б за їх рівномірного розподілу. В цілому розподіл карликів НПЯ у скупченні добре узгоджується з розподілом яскравих галактик. Еліптичні карлики групуються сильніше, ніж сфероїдальні, а розподіл іррегулярних карликів практично рівномірний. Порівняння середніх кутових розмірів карликів НПЯ, що знаходяться у населених кластерах (області з досить високою локальною щільністю оточення), з розмірами ізольованих карликів НПЯ не показує значущих відмінностей; однак спостерігається значуща відмінність у розмірах карликів різних типів. Вивчено характер розподілу яскравих та карликових НПЯ-галактик вздовж радіуса скупчення. Підсистеми еліптичних та

сфероїдальних карликів, а також підсистема яскравих еліптичних та S0-галактик добре описуються Кінг-профілем щільності розподілу з $r_c = 1.85^\circ, 1.25^\circ, 1.03^\circ$ відповідно. Розподіли іррегулярних карликів НПЯ та яскравих спіральних галактик, що уникають центра скупчення, не відповідає Кінг-моделі ($r_c = 2.16^\circ, 3.53^\circ$ відповідно).

CLUSTERING OF LOW SURFACE BRIGHTNESS DWARF GALAXIES. II. THE VIRGO CLUSTER, by Karachentseva V. E., Vavilova I. B. — Applying the two-dimensional cluster analysis, we have studied the clustering of bright and low surface brightness (LSB) dwarf galaxies. The galaxies in the Virgo cluster demonstrate a clustering which significantly differs from the case of uniform distribution. On the whole, the distribution of LSB dwarfs in the cluster traces well the distribution of bright galaxies. The elliptical dwarfs cluster stronger than spheroidal ones, and the distribution of irregular dwarfs is practically uniform. The comparison of mean angular sizes of LSB dwarfs in populated clusters (regions with high enough local density of environment), with ones of isolated dwarfs does not show a significant difference. However, there is a significant difference in sizes of dwarfs of different types. A distribution of bright and LSB dwarf galaxies along the radius of a cluster is investigated. The subsystems of elliptical and spheroidal LSB dwarfs as well as the subsystem of bright elliptical and S0 galaxies are well fitted by King profile of the density distribution with $r_c = 1.85^\circ, 1.25^\circ, 1.03^\circ$ respectively. The distributions of dwarf irregulars and bright spirals which avoid the cluster centre are not described by the King model ($r_c = 2.16^\circ, 3.53^\circ$ respectively).

Введение. Карликовые галактики низкой поверхностной яркости (НПЯ) хорошо отслеживают структуру Местного Сверхскопления. Как видно из их распределения по небу [12], (далее КШ88), эллиптические и сфероидальные карлики в основном сосредоточены в скоплениях Virgo и Fornax, а карлики поздних типов располагаются в группах и общем поле галактик.

Вопрос о том, как связаны распределения и характеристики карликовых и ярких галактик, ставится для самых разных масштабов: от пар до скоплений. В последние годы предпринимаются попытки поиска слабых диффузных систем в скоплениях, находящихся на расстояниях, в несколько раз превышающих расстояния до Virgo [19].

Появление обширных каталогов галактик в близких скоплениях Virgo [2] (далее VCC), [17] и Fornax [6], включающих большие массивы карликовых галактик, позволили на новом уровне рассмотреть вопросы взаимного распределения ярких и слабых галактик в скоплениях, функции светимости галактик разных типов, долю карликов, приходящихся на одну яркую галактику, в зависимости от типа скопления и т. д. [4, 7]. Эти вопросы непосредственно связываются с проблемой происхождения и эволюции карликов, с динамической историей скопления, а также с возможным наличием в нем скрытой массы. Подробные обзоры литературы по этой теме можно найти в работах [5, 7].

В работе В. Е. Караченцевой и И. Б. Вавиловой [13] были рассмотрены общие характеристики сгущивания карликов НПЯ в скоплениях Virgo и Fornax. Здесь, на более полном материале, используя метод двумерного кластерного анализа, мы рассмотрим такие задачи:

- каков характер сгущивания ярких галактик и карликов НПЯ;
- существуют ли различия распределений по скоплению у галактик разных типов;
- существуют ли различия характеристик у карликов, расположенных в более и менее плотных частях скопления.

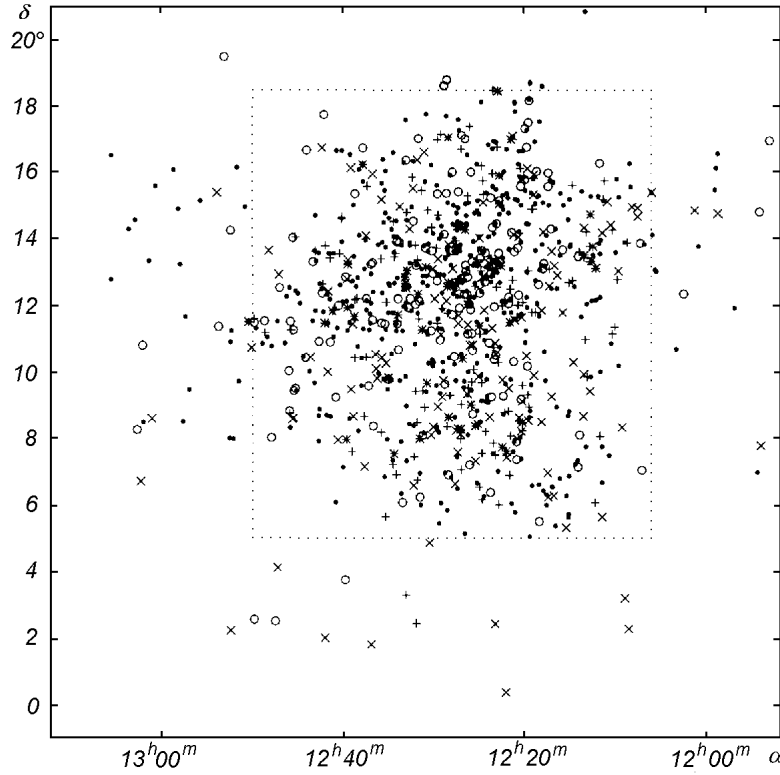


Рис. 1. Распределение нормальных и карликовых НПЯ-галактик в скоплении Virgo. Точки — dE, кружки — dSph, косой крестик — dIm+dIr, звездочка — E+S0, прямой крестик — S. Пунктиром схематично отмечена зона VCC

Описание выборки. Выборка карликовых галактик НПЯ в скоплении Virgo была взята из каталога КШ88, куда также вошли объекты из VCC и каталога Ривса [17], соответствующие критериям отбора в КШ88: средняя поверхностная яркость слабее $24.5 \text{ m}/\square''$, абсолютная величина слабее -16^m и слабый градиент поверхностной яркости. Из каталога VCC мы включили также яркие галактики с $M_B > -18$. Рассматривались только уверенные члены скопления Virgo по определению VCC. Естественно, наш критерий отбора отсекает голубые компактные карлики, вероятные члены скопления, галактики фона и галактики с неизвестным морфологическим типом. Такая дискриминация обусловлена тем, что только объекты НПЯ можно с большой уверенностью считать принадлежащими к скоплению (проблему галактик типа Malin 1 здесь не обсуждаем, они не входят в нашу выборку).

Морфологическая классификация карликов НПЯ в этой работе такая же, как в каталоге КШ88, т. е. мы, в отличие от VCC, разделяем эллиптические (dE) и сфероидальные (dSph) карлики, а также иррегулярные карлики с магеллановыми признаками (dIm) и без них (dIr), согласно В. Е. Караченцевой и др. [11]. Единой морфологической классификации карликов пока нет [15], поэтому такое разделение остается дискуссионным, но обоснование аргументов «за» и «против» не входит в нашу задачу.

Мы рассмотрели две области в скоплении Virgo: «зону 1» ($\alpha = 11^h50^m \div 13^h10^m$, $\delta = -1^\circ \div +20^\circ$ и область VCC, «зона 2» ($\alpha = 12^h06^m \div 12^h50^m$, $\delta = +5^\circ \div +18.5^\circ$). В зону 1, в дополнение к ярким галактикам из VCC, были включены E-, S0-, S-, Ir-галактики из каталога PGC [16] с $V_h \leq 2000 \text{ км/с}$.

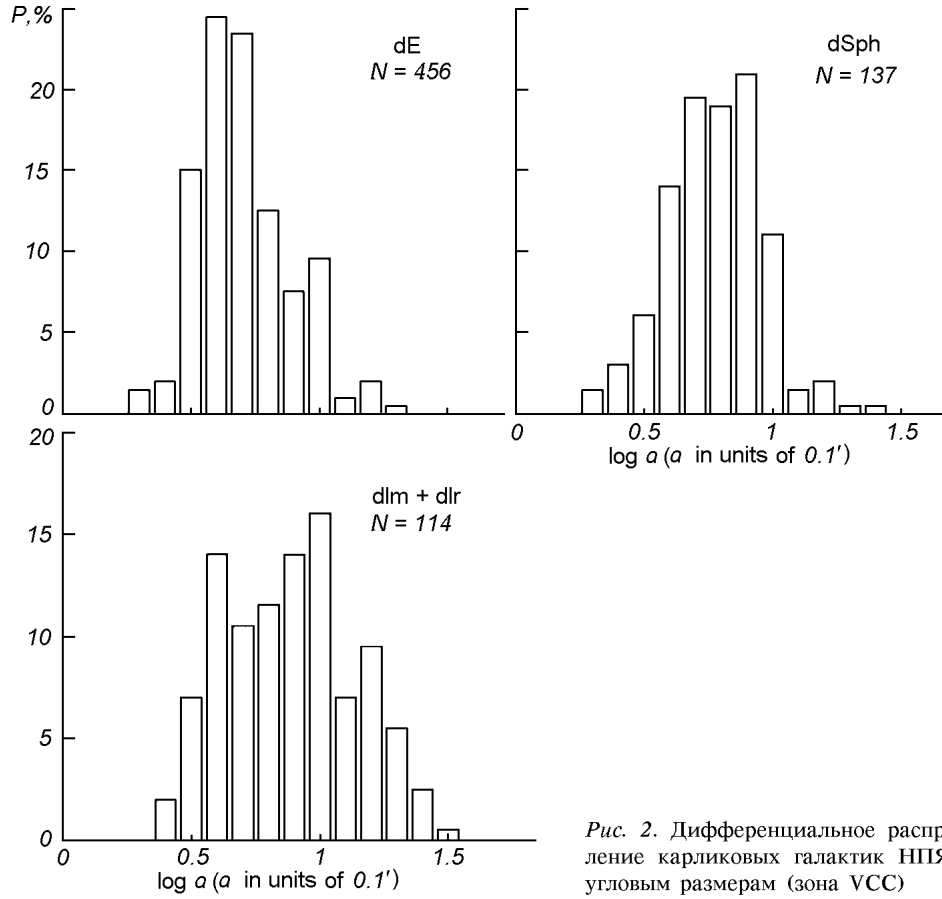


Рис. 2. Дифференциальное распределение карликовых галактик НПЯ по угловым размерам (зона VCC)

Общая картина распределения ярких галактик и карликов НПЯ в Virgo представлена на рис. 1. Пунктиром выделена зона VCC. Распределение галактик по типам в двух областях следующее: яркие E+S0, S+Ir — $N_1 = 207$, $N_2 = 189$; карлики dE — $N_1 = 486$, $N_2 = 456$; dSph — $N_1 = 150$, $N_2 = 137$; dIm+dIr — $N_1 = 131$, $N_2 = 114$ (индексы 1 и 2 относятся к 1 и 2 зоне соответственно). Мы объединили все яркие галактики, а также иррегулярные карлики с магеллановыми признаками и без них, чтобы иметь статистически представительные подвыборки. В некоторых случаях ранние и поздние типы нормальных галактик рассмотрены отдельно. Распределение карликов НПЯ трех типов по угловым размерам для области VCC представлено на рис. 2. Диаметры даны в системе VCC; переход от системы диаметров по измерениям на картах POSS к системе VCC для галактик, отсутствующих в VCC, осуществлялся согласно формуле: $\lg(a_{VCC}) = 1.023\lg(a_{POSS}) - 0.012$, ($\sigma = 0.0072$, коэффициент корреляции $r = 0.94$, число общих галактик 730). Интегральные функции угловых диаметров для dE, dSph, dIr+dIm приведены на рис. 3. На обоих рисунках результаты даны для зоны VCC, где, в отличие от зоны 1, приведены более полные данные вблизи предельного углового диаметра $a_{lim} = 0.2'$. Общий вид функций диаметров практически неотличим для двух зон.

Особенности сгущения галактик в скоплении Virgo. Чтобы учесть все галактики, в том числе и не имеющие измеренных лучевых скоростей, мы использовали метод двумерного кластерного анализа. В этом методе галактики отбираются в кластеры по принципу геометрического поиска ближай-

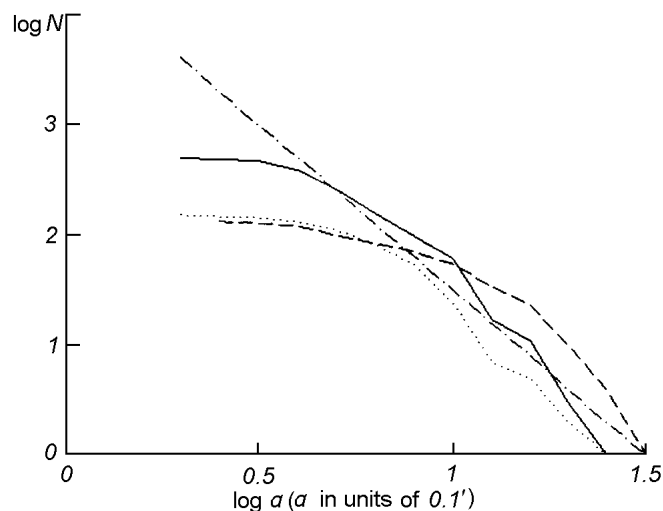


Рис. 3. Интегральные функции угловых диаметров карликовых галактик НПЯ. Сплошная кривая — dE, пунктирная — dSph, штриховая — dIm+dIr. Прямая линия соответствует зависимости $\lg N \sim 3 \lg a$

шего соседа. Ближайшими соседями считаются галактики, угловое расстояние между которыми в проекции на небесную сферу не превосходит некое наперед заданное значение радиуса кластеризации (сгущения), R_i . Посредством такого алгоритма множество галактик распадается на подмножества изолированных друг от друга кластеров с различной населенностью.

Общий ход сгущения ярких и карликовых НПЯ галактик в скоплении Virgo показан на рис. 4. Радиусы кластеризации были выбраны от минимального $0.1''$, что на расстоянии Virgo $D = 22$ Мпк соответствует примерно

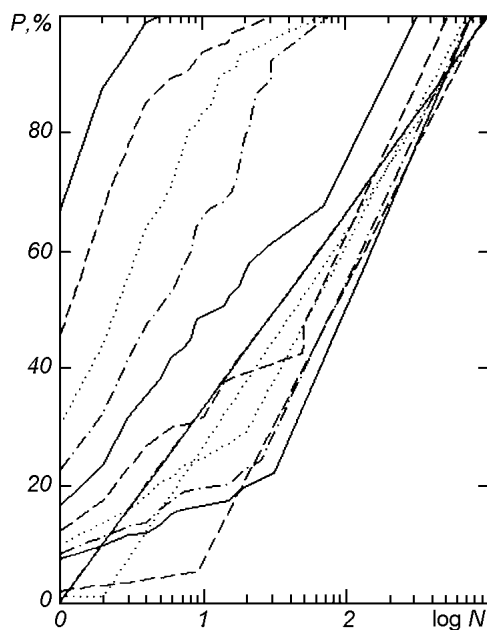


Рис. 4. Сгущение всех ярких и карликовых НПЯ-галактик в зависимости от населенности кластера при разных радиусах кластеризации

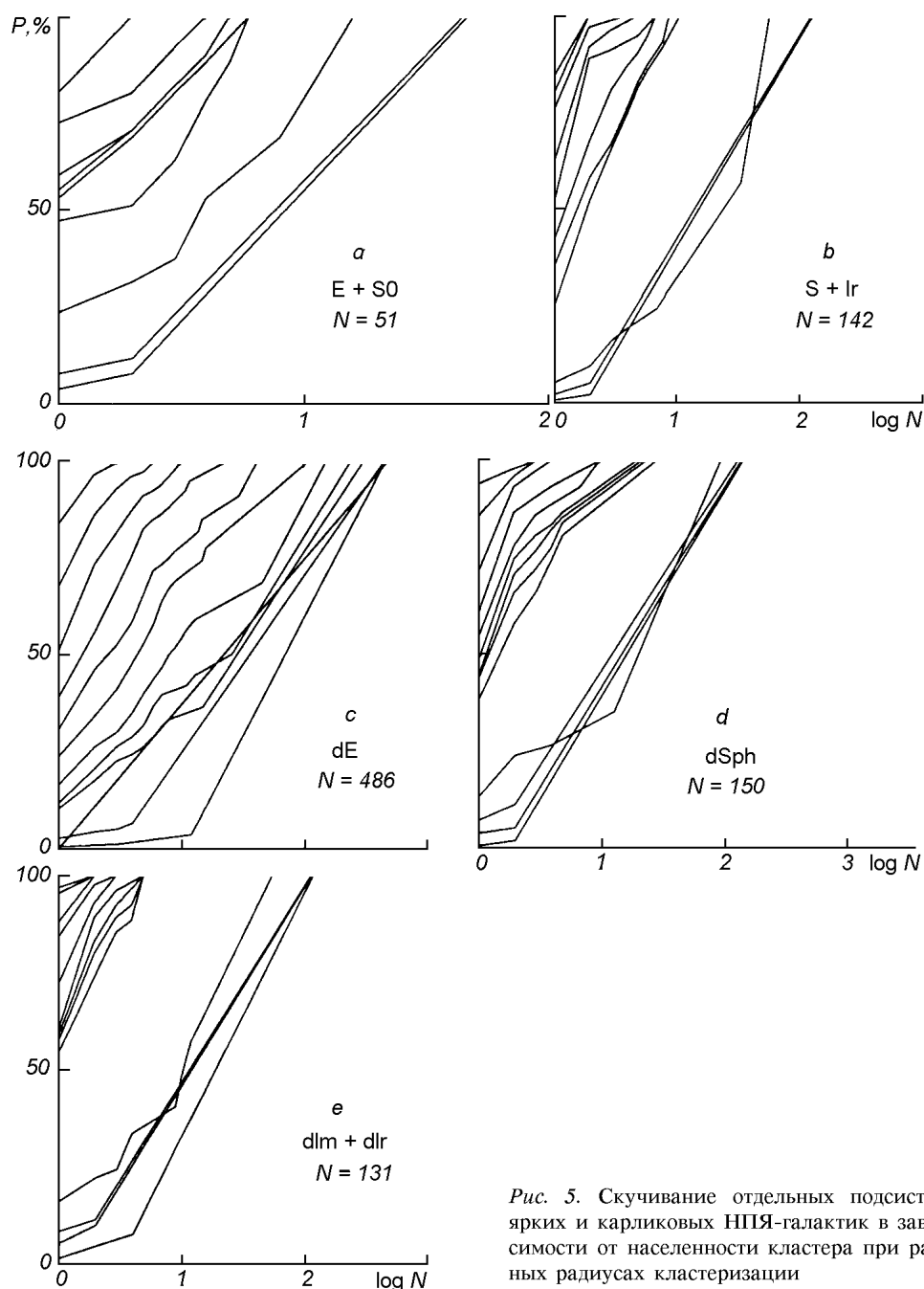


Рис. 5. Скучивание отдельных подсистем ярких и карликовых НПЯ-галактик в зависимости от населенности кластера при разных радиусах кластеризации

35 кпс, до 3° . По оси абсцисс приведен логарифм населенности N кластера, по оси ординат — суммарная доля P галактик в кластерах с населенностью $N \leq N_i$ от полного числа галактик. Кривые сверху вниз соответствуют радиусам кластеризации $R_{cl} = 0.1^\circ, 0.15^\circ, 0.2^\circ, 0.25^\circ, 0.3^\circ, 0.35^\circ, 0.4^\circ, 0.45^\circ, 0.5^\circ, 1^\circ, 2^\circ$ и 3° . На рис. 5, а, б даны графики кластеризации для E+S0- и S+Ir-галактик (часть кривых для $R_{cl} = 0.2^\circ$ сливаются). Видно, что яркие галактики ранних и поздних типов скучиваются по-разному. Доля изолированных галактик S+Ir составляет 75 % при $R_{cl} = 0.2^\circ$ и уменьшается до 24 %

при $R_{cl} = 0.5^\circ$, в то время как доля изолированных E+S0-галактик плавно изменяется от 59 % до 47 % при тех же значениях R_{cl} . В этих же пределах R_{cl} доля двойных S+Ir увеличивается от 22 % до 28 %, а доля E+S0 изменяется от 12 % до 4 %. Самое существенное различие демонстрируют яркие галактики при скучивании в группировки с населенностью $N_i = 3 \div 10$. Доля таких группировок при $R_{cl} = 0.2^\circ, 0.25^\circ, 0.35^\circ$ составляет примерно 30 % для E+S0- и от 3 % до 11 % для S+Ir-галактик. При $R_{cl} = 0.5^\circ$ примерно половина (48 %) ярких галактик всех типов входит в такие группировки, а при $R_{cl} = 1^\circ$ в группы входит почти 70 % E+S0 и всего 22 % S+Ir. Таким образом, галактики ранних типов скучиваются сильнее, чем S+Ir, несмотря на то, что поверхностная плотность галактик поздних типов примерно в 2.5 раза выше, чем ранних.

На рис. 5, в, з, д показаны графики кластеризации карликов dE, dSph, dIr+dIm в широкой области Virgo (зона 1) при тех же R_{cl} , что и на рис. 4 и 5, а, б. Прежде всего отметим, что характер скучивания карликов разных типов существенно различен. Сильнее всего скучиваются эллиптические карлики: доля изолированных dE уменьшается равномерно с увеличением R_{cl} . При $R_{cl} = 0.3^\circ$ (≈ 110 кпс) доля изолированных dE составляет около 30 %, а сфероидальных карликов — 50 %. Другими словами, эллиптические карлики скучиваются в тесные и наиболее населенные кластеры, сфероидальные карлики по сравнению с dE более рассеяны по скоплению и образуют кластеры меньшей населенности. Карлики поздних типов в основном одиночные, либо образуют пары и триплеты. Результаты кластеризации для зоны VCC показали, что ход скучивания каждого типа карликов в зоне VCC и в более широкой области 1 практически одинаков, т. е. эффектом края скопления можно пренебречь.

Кластеризация галактик разных типов в Virgo сравнивалась с кластеризацией такого же числа равномерно распределенных галактик, смоделированных по случайному закону на той же сферической площади. Результаты для зоны 2 приведены на рис. 6. Качественное сравнение графиков на рис. 5 и 6 показывает, что скучивание реальных галактик в Virgo не соответствует предположению об их равномерном случайном распределении, за исключением карликов поздних типов. Реальные галактики скучиваются при данных R_{cl} в более населенные кластеры, чем это было бы при их случайном распределении. Проверка этого вывода по тесту Колмогорова — Смирнова дает значимое различие на уровне 99 % для всех типов галактик при всех R_{cl} , кроме $R_{cl} = 0.45^\circ$ для dIr+dIm, где различие значимо на уровне 70 %.

Результаты по скучиванию галактик можно представить и в другом виде. На рис. 7 представлены зависимости доли галактик разных типов, входящих в группировки с населенностью $N_i = 3 \div 20$, от радиуса кластеризации. Рис. 7, а относится к реальным кластерам, а рис. 7, б — к смоделированным группировкам, полученным с применением кластерного анализа к случайно распределенным галактикам зоны 2. Различие графиков на рис. 7, а и б очевидно и проверка по тесту Колмогорова—Смирнова тоже показывает их значимое различие. Как видно из рис. 5, д, иррегулярные карлики имеют тенденцию группироваться в кластеры с малой населенностью (не более $N_i = 5$ до $R_{cl} = 0.45^\circ$), в отличие от dE и dSph. Из рис. 7 видно, что dE-галактики скучиваются сильнее остальных типов. Эллиптические карлики группируются в кластеры от 3 до 20 членов таким образом, что 40 % их полного числа входит в такие кластеры уже при $R_{cl} = 0.15^\circ$. Этот же результат достигается у dSph только при $R_{cl} = 1^\circ$. Карлики поздних типов распределены по скоплению Virgo равномерно.

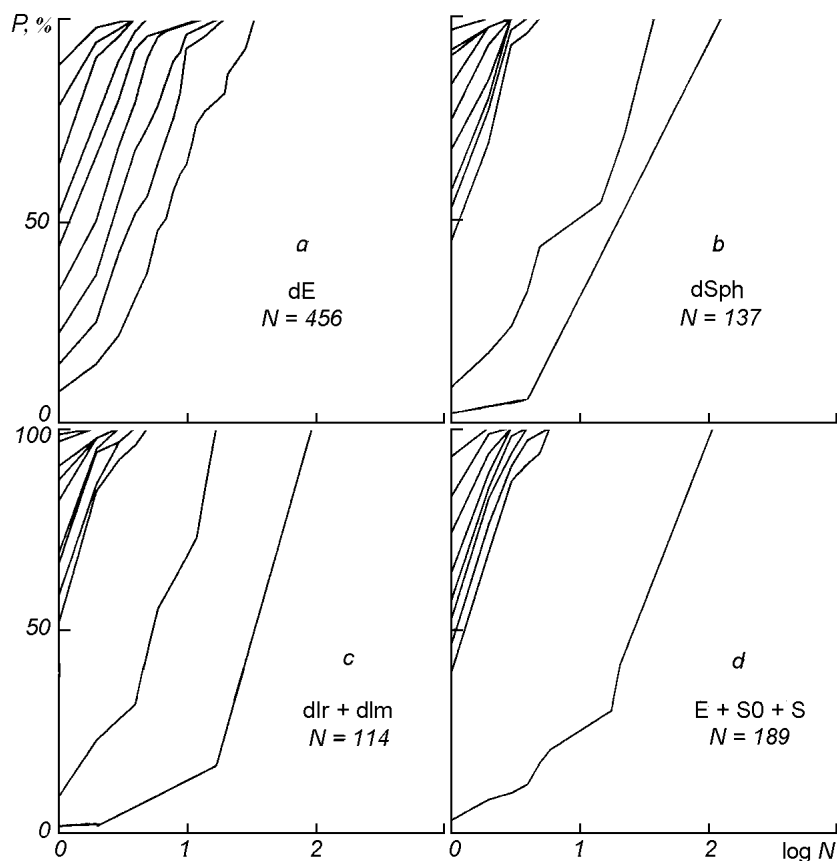


Рис. 6. Скучивание ярких и карликовых НПЯ-галактик в зависимости от населенности кластера, когда их распределение смоделировано по случайному закону в границах VCC при тех же радиусах кластеризации

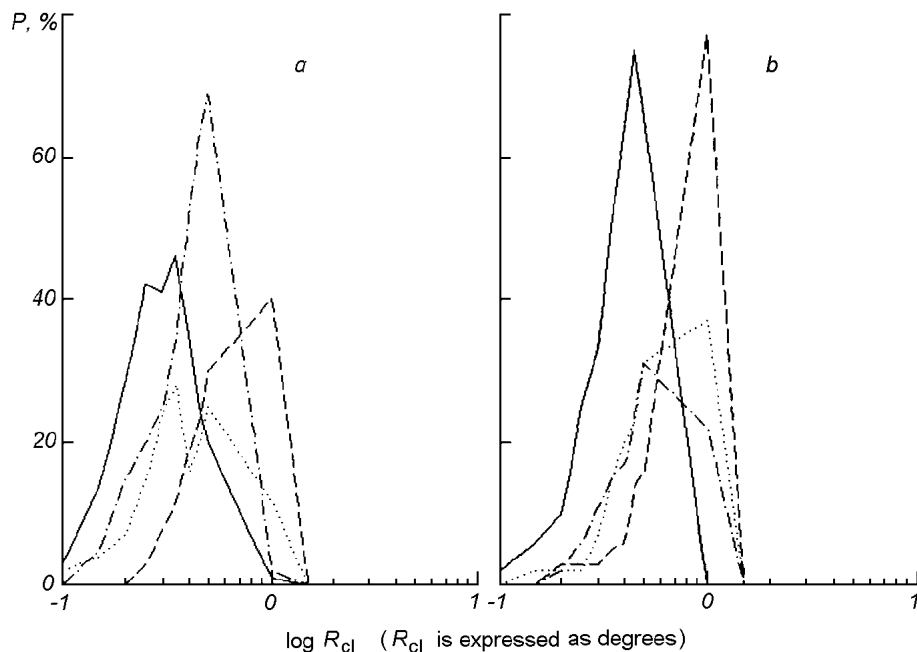


Рис. 7. Доля галактик различных типов, входящих в кластеры с населенностью $3 \div 20$ галактик, в зависимости от радиуса кластеризации: *a* — реальное распределение галактик; *b* — распределение, смоделированное по случайному закону. Сплошная кривая — dE, пунктирная — dIm+dIr, штриховая — dSph, штрих-пунктирная — яркие

Таким образом, сравнение результатов двумерной кластеризации реального и смоделированного равномерного распределений галактик в Virgo говорит об отчетливо выраженной тенденции к сгущиванию dE-карликов, и в меньшей степени dSph-карликов. Отметим, что результаты кластеризации характеризуют только сгущивание галактик и не относятся к распределению их вдоль радиуса скопления. Этот вопрос будет рассмотрен ниже.

Взаимное расположение ярких и карликовых галактик. Известны работы Бинггели [5] и Фергюсона [8] по поиску физически связанных карликовых спутников в Virgo и сравнению их свойств с характеристиками слабых галактик, находящихся в общем поле. Разными способами авторы оценили, что доля физических спутников невелика (5—8 %). Этот результат относится к тем объектам, гравитационная связь которых с нормальной галактикой может быть оценена с использованием лучевой скорости, т. е. для достаточно ярких карликов. Слабые объекты НПЯ в [5, 8] эти авторы не рассматривали. Понятно, что индивидуальное выявление таких гравитационно изолированных групп, состоящих из нормальной галактики и карликов НПЯ, в богатом скоплении невозможно.

Мы выбрали достаточно населенные кластеры с $N_{я+к} \geq 7$ и определили параметры кластеров и характеристики галактик НПЯ в отдельных кластерах. Как показывают результаты кластерного анализа, при $R_{cl} = 3^\circ$ и яркие, и карликовые галактики объединяются в один кластер. Мы выполнили кластеризацию отдельно для различных подсистем ярких и карликовых галактик. Для расчета основных характеристик кластеров использован принцип, сформулированный в работе [1]. Методика, описанная в работе [9], была обобщена на случай спроектированного на поверхность сферы распределения галактик. Результаты расчетов приведены в табл. 1, где N — число галактик в данной подсистеме, α , δ — координаты центра подсистемы, Р.А. — позиционный угол большой оси подсистемы, b/a — отношение осей подсистемы.

Геометрический центр скопления, определенный по ярким галактикам, не является, строго говоря, динамическим центром скопления. Его координаты не совпадают ни с положением галактики М87, ни с координатами центра Virgo, принятыми в работе [3]. Точное положение центра для

Таблица 1. Параметры кластера с $R_{cl} = 3^\circ$ для разных подсистем галактик Virgo

Выборка	N	α	δ	Р.А.	$b/a \pm \sigma$
1 зона					
dE	486	$12^h28.0^m$	$12^\circ18'$	18°	0.9 ± 0.1
dSph	150	$12^h29.4^m$	$12^\circ20'$	30°	0.6 ± 0.2
dIr+dIm	131	$12^h25.6^m$	$10^\circ44'$	8°	0.7 ± 0.2
Все яркие	207	$12^h27.9^m$	$11^\circ35'$	21°	0.5 ± 0.1
dE+dSph	636	$12^h28.4^m$	$12^\circ18'$	24°	0.8 ± 0.1
E+S0	51	$12^h29.1^m$	$12^\circ00'$	9°	0.4 ± 0.3
S+Ir	142	$12^h26.4^m$	$11^\circ46'$	7°	0.5 ± 0.2
Virgo	974	$12^h27.9^m$	$11^\circ56'$	17°	0.7 ± 0.1
2 зона					
dE	456	$12^h27.2^m$	$12^\circ16'$	7°	0.5 ± 0.1
dSph	137	$12^h28.7^m$	$12^\circ22'$	14°	0.6 ± 0.2
dIr+dIm	114	$12^h25.1^m$	$11^\circ26'$	6°	0.7 ± 0.2
Все яркие	189	$12^h27.0^m$	$11^\circ55'$	7°	0.6 ± 0.2
dE+dSph	593	$12^h27.6^m$	$12^\circ17'$	8°	0.6 ± 0.1
E+S0	50	$12^h28.7^m$	$12^\circ01'$	8°	0.4 ± 0.3
S+Ir	139	$12^h26.4^m$	$11^\circ51'$	6°	0.5 ± 0.2
Virgo	896	$12^h27.1^m$	$12^\circ06'$	7°	0.6 ± 0.1

скопления иррегулярной формы типа Virgo вообще не является однозначно определенным. Заметим только, что в принятых границах скопления геометрические центры кластеров, определенные по всем ярким членам Virgo и всем карликовым галактикам, хорошо совпадают. Все рассмотренные подсистемы, особенно принадлежащие зоне 2, сориентированы практически параллельно экватору Местного сверхскопления.

Совпадение положений центров для ярких и слабых галактик справедливо не только для скопления в целом, но и для отдельных кластеров. Для кластеров с суммарной населенностью $N_{я+к} \geq 7$ разности координат центров, определенных по ярким и карликовым галактикам, представлены в табл. 2. Кластеры, не содержащие ярких галактик, не рассматривались.

Таблица 2. Оценка разности координат центров для ярких и карликовых подсистем кластеров

R_{cl}	$\Delta\alpha$	σ	$\Delta\delta$	σ	$N_{кл}$	$N_{Г, кл} / N_{Г, п}$
0.15°	-0.268 ^m	0.564 ^m	-0.064°	0.167°	7	0.10
0.20°	-0.080 ^m	0.668 ^m	+0.032°	0.145°	19	0.28
0.25°	-0.076 ^m	0.904 ^m	-0.041°	0.145°	27	0.45

Таким образом, в скоплении Virgo выделяются группировки, в которые входят нормальные галактики и окружающие их карликовые галактики разных типов. При четырех значениях $R_{cl} = 0.15^\circ, 0.20^\circ, 0.25^\circ, 0.35^\circ$ мы вычислили доли карликовых галактик НПЯ, приходящиеся на одну яркую галактику в данном кластере. Диапазон отношений $N_k/N_{я}$ составляет 1.2—9.0, а среднее значение $\langle N_k/N_{я} \rangle$ по всем кластерам и четырем R_{cl} составляет 4.2 ± 0.3 , что примерно равно отношению для всей зоны 2 ($N_k/N_{я} = 3.7$) и несколько выше, чем для зоны 1 ($N_k/N_{я} = 3.2$). Все сказанное в этом разделе подтверждает тенденцию карликов группироваться вокруг ярких галактик.

Проверка влияния окружения на характеристики карликовых галактик была выполнена в работе [10]. По данным собственной фотометрии 69 Е-карликовых галактик в Virgo они сравнивали величины, размеры, отношения осей у карликов в центральной области Virgo и на расстоянии $R > 3^\circ$. Согласно их данным, в центре эллиптические карлики несколько больше и ярче, чем на краю скопления. Мы сравнивали угловые диаметры карликов НПЯ (все в системе VCC), находящихся в богатых ($N \geq 7$) кластерах, т. е. в местах повышенной локальной плотности галактик, и одиночных карликов. Результаты приведены в табл. 3.

Кратко результаты сравнения можно резюмировать так:

1. Различие средних значений размеров карликов разных типов справедливо и для карликов, входящих в кластеры с населенностью $N \geq 7$, (т. е. расположенных в более плотном окружении) и для одиночных карликов. Проверка по критерию Стьюдента дает значимые различия во всех случаях на уровне 95 %. Самые большие средние угловые размеры имеют карлики поздних типов, а наименьшие — эллиптические карлики. Это видно и из рис. 2 дифференциальной функции диаметров галактик НПЯ разных типов. Причиной этого различия может быть неполнота данных. Но это — частичное объяснение. Сравнение интегральных функций диаметров, например, для dSph и dIr + dIm показывает, что, начиная с $a = 0.631'$, они практически совпадают в области малых диаметров, т. е. недобор малых галактик одинаков и для dSph, и для поздних типов карликов. Еще одна

Таблица 3. Средние угловые диаметры карликов НПЯ

Параметры	dE	dSph	dIm+dIr	dE	dSph	dIm+dIr
	N = 1			N ≥ 7		
$R_{cl} = 0.15^\circ$						
N_r	230	65	52	60	19	2
$\langle \lg D \rangle$	0.676	0.748	0.862	0.688	0.754	1.028
Средняя ошибка среднего $\langle \lg D \rangle$	0.028	0.052	0.033	0.052	0.099	0.244
$\langle D \rangle$	28.4''	33.6''	43.6''	29.2''	34.0''	64.0''
$R_{cl} = 0.20^\circ$						
N_r	143	45	37	147	51	13
$\langle \lg D \rangle$	0.682	0.733	0.870	0.687	0.750	0.956
Средняя ошибка среднего	0.036	0.052	0.037	0.034	0.058	0.069
$\langle D \rangle$	28.8''	32.4''	44.5''	29.2''	33.7''	54.2''

причина — возможная неправильная классификация части объектов (dE – dSph, dSph – dIr), особенно в области малых диаметров. Однако она при таких низких поверхностных яркостях может «работать в обе стороны» без особого предпочтения. Это различие говорит о различной функции светимости карликов НПЯ разных типов.

2. Для данного типа карликов НПЯ различие средних диаметров объектов, находящихся в богатых кластерах, по сравнению с одиночными, статистически незначимо. Это справедливо для dE-, dSph-, dIr+dIm-карликов НПЯ. Этот результат не согласуется с данными [10]. Примерно половина их объектов не относится к объектам НПЯ по нашей классификации. Противоположного эффекта — приливного «обдиранья» галактик в более плотных областях — для каждого типа также не замечено. Метод двумерной кластеризации выделяет лишь геометрические группировки (спроектированные на поверхность небесной сферы), а не физически связанные подсистемы галактик в скоплении. Тем не менее, рассмотрение всего «облака карликов», находящегося в структурно сложном скоплении Virgo, показывает, что нахождение в относительно более или менее плотном окружении определяет тип карлика, но для данного типа средний размер от плотности окружения не зависит. Наши результаты хорошо согласуются с выводом Ривса [18], который, используя данные своего каталога [17], вычислил видимые угловые диаметры и величины карликов типа dE и IC 3475 (промежуточный тип между dSph и dIr) на разных расстояниях от центра Virgo и не получил систематических изменений a и m с расстоянием. В то же время Ривс отметил, что dE имеют меньшие средние размеры с меньшей дисперсией, чем карлики типа IC 3475.

Распределение галактик вдоль радиуса скопления. Для изучения профиля плотности распределения галактик, принадлежащих как различным подсистемам скопления, так и скоплению в целом, мы воспользовались законом Кинга [14] для поверхностной плотности $J(r)$:

$$J(r) = J_0 \{ 1 / [1 + (r/r_c)^2] + C \}, \quad (1)$$

где J_0 — центральная поверхностная плотность, r_c — радиус «ядра» скопления, C — константа, определяющая число фоновых галактик. Свободный нелинейный параметр r_c искался методом симплексного поиска Нелдера—Мида, при этом линейные параметры J_0 , C находились точно путем решения линейного уравнения (уравнение получается из требования минимума суммы квадратов невязок). Задача решалась как традиционным образом [3, 6], путем адаптации целевой функции (1) к значениям плотности галактик в кольцах, получаемых при равномерном разбиении

радиуса скопления, так и путем адаптации целевой функции к значениям плотности галактик в кольцах равной заселенности. При этом для неравномерно заселяющих скопление подсистем второй подход предпочтительнее, так как улучшает статистическую представительность подынтервалов разбиения (не существует подынтервалов, в которые не попала ни одна галактика), и наблюдаемая функция плотности (1) не будет иметь явных провалов.

Параметры профилей Кинга, которые наиболее точно описывают эмпирическую функцию плотности распределения галактик изучаемых подсистем зоны 1, представлены в табл. 4. В четвертой колонке описан параметр $J_c = J_0/(2r_c)$ — плотность галактик в «ядре». Отметим, что значения параметра C оказались малыми, т. е. числом фоновых галактик для данных подсистем можно пренебречь. Графики кривых Кинга, соответствующие параметрам табл. 4, представлены на рис. 8. Кривые изображены в логарифмическом масштабе.

Таблица 4. Параметры Кинг-профилей радиального распределения галактик

Выборка	J_0 , гал/□	r_c , град	$J_c = J_0/(2r_c)$
Virgo	27.4	2.03	6.7
dE	15.6	1.85	4.2
dE+dSph	22.2	1.73	6.4
dSph	8.6	1.25	3.4
dIm+dIr	3.3	2.16	0.8
E+S0	4.1	1.03	2.0
S+Ir	2.8	3.53	0.4
Все яркие	5.7	2.13	1.3

Сравнение данных результатов показывает, что галактики ранних типов (dE, dSph и яркие E+S0) более концентрируются к центру скопления, чем галактики поздних типов (яркие спиральные галактики и dIm+dIr).

Эллиптические карлики демонстрируют высокую центральную плотность (см. также рис. 1), а их плотность распределения вдоль радиуса хорошо описывается Кинг-профилем. Карликовые галактики типа dSph наиболее компактны в ядре скопления, имея самое низкое значение r_c среди подсистем карликовых галактик, — данный факт для галактик, выбранных не случайно, а в соответствии с морфологической классификацией [11] и КШ88, может служить аргументом в дискуссии о выделении сфероидальных карликов как реальной самостоятельной системы. Отметим, что объединенные подсистемы dE- и dSph-карликов наиболее точно отслеживают Кинг-профиль плотности распределения галактик всего скопления Virgo. Яркие E+S0-галактики компактно расположены в центре (самое низкое значение r_c среди всех подсистем и наиболее крутое падение радиальной плотности по мере удаления от центра); Кинг-профиль для данной подсистемы описывается с минимальной ошибкой отклонения от эмпирического распределения.

Яркие спиральные галактики, в отличие от рассмотренных выше подсистем, отсутствуют в центре скопления (табл. 4), имеют самое высокое значение r_c , т. е. рассеяны по его периферии. Их профиль плотности распределения не моделируется законом Кинга. Объединение ранних и поздних типов ярких галактик в единую подсистему возможность этого моделирования не улучшает, r_c остается выше значения r_c всего скопления. Другая подсистема галактик позднего типа, — карлики dIr+dIm, аналогично

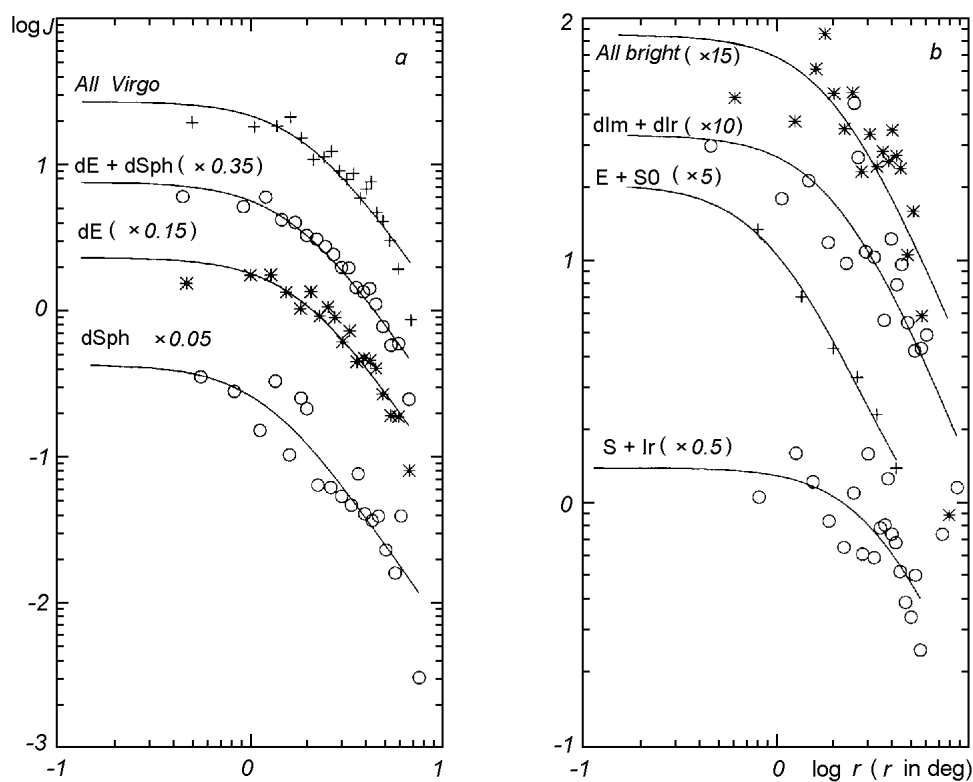


Рис. 8. Профили радиальной плотности галактик (Кинг-модель), принадлежащих к различным подсистемам Virgo. Параметры Кинг-профилей представлены в табл. 4

ярким галактикам позднего типа избегают центра скопления и не подчиняются Кинг-модели.

Выполненный параллельно анализ функции распределения галактик вдоль радиуса скопления, непосредственно получаемой при интегрировании функции (1) для плотности распределения, не изменяет описанных выше выводов и усиливает их при рассмотрении полученных значений r_c различных подсистем: $r_c(\text{Virgo}) = 2.78^\circ$, $r_c(\text{dE}) = 2.6^\circ$, $r_c(\text{dSph}) = 1.76^\circ$, $r_c(\text{dE} + \text{dSph}) = 2.34^\circ$, $r_c(\text{dIr} + \text{dIm}) = 3.26^\circ$, $r_c(\text{E} + \text{S0}) = 1.07^\circ$, $r_c(\text{все яркие}) = 3.3^\circ$, $r_c(\text{S}) = 7.23^\circ$.

Полученные результаты моделирования радиальной плотности распределения галактик различных подсистем Кинг-профилем важны также для анализа динамической эволюции скопления и принадлежности рассмотренных подсистем скоплению, но это является предметом другой работы.

Авторы благодарят ГКНТ Украины и Американское Астрономическое Общество за финансовую поддержку данной работы.

1. Манджос А. В., Тельнюк-Адамчук В. В. Изучение ориентации компактных групп галактик Ягеллонского каталога // Пр. косм. физики.—1979.—**14**.—С. 139—143.
2. Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A. Studies of the Virgo cluster. II. A catalog of 2096 galaxies in the Virgo cluster area // Astron. J.—1985.—**90**, N 9.—P. 1681—1758.
3. Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A. Studies of the Virgo cluster. YI. Morphological and cinematal structure of the Virgo cluster // Astron. J.—1987.—**94**, N 2.—P. 251—277.
4. Binggeli B., Sandage A., Tammann G. A. The luminosity function of galaxies // Annu. Rev. Astron. and Astrophys.—1988.—**26**.—P. 509—560.

5. *Binggeli B.* Dwarf galaxies as bound companions. — Habilitationsschrift, Universitat Basel.— 1993.—47 p.
6. *Ferguson H. C.* Population studies in groups and clusters of galaxies. II. A catalog of galaxies in the central 3°.5 of the Fornax cluster // *Astron. J.*—1989.—**98**, N 2.—P. 367—418.
7. *Ferguson H. C., Sandage A.* Population studies in groups and clusters of galaxies. IV. Comparison of the luminosity functions and morphological-type distributions in seven nearby groups // *Astron. J.*—1991.—**101**, N 3.—P. 765—782.
8. *Ferguson H. C.* Bound companions in the Virgo cluster // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1992.—**255**.—P.389—400.
9. *Gregul A. Ja., Mandzhos A. V., Vavilova I. B.* The existence of the structural anisotropy of the Jagellonian field of galaxies // *Astrophys. and Space Sci.*—1991.—**185**.—P. 223—235.
10. *Ichikawa S.-I., Wakamatsu K.-I., Okamura S.* Surface photometry of dwarf elliptical galaxies in the Virgo cluster // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1986.—**60**, N 2.—P. 475—506.
11. *Karachentseva V. E., Karachentsev I. D., Borngen F.* // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*—1985.—**60**.—P. 213.
12. *Karachentseva V. E., Sharina M. E.* The Catalogue of low surface brightness dwarf galaxies // *Commun. SAO RAS.*—1988.—**57**.—P. 3—120.
13. *Karachentseva V. E., Vavilova I. B.* Clustering of low surface brightness dwarf galaxies. I. General properties // *Bull. of SAO RAS.*—1994.—**37**.—P. 98—118.
14. *King I.* The structure of star clusters. I. An empirical density law // *Astron. J.*—1962.—**67**, N 9.—P. 471—480.
15. *Kormendy J., Bender R.* CFHT photometry of Virgo cluster elliptical galaxies // *Dwarf galaxies* / Eds. J. Meylan and P. Prujniel: ESO Conf. Workshop Proc. N 49. — 1993.—P. 161—170
16. *Paturel G., Fouque P., Bottinelli L., Gouguenheim L.* Catalogue of Principal Galaxies. — Lyon, 1989.
17. *Reaves G.* A catalog of dwarf galaxies in Virgo // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1983.—**53**, N 2.—P. 375—395.
18. *Reaves G.* The mean properties of Virgo cluster dwarf galaxies as a function of distance from the center of the cluster // *Star forming dwarf galaxies and related objects* / Eds D. Kunth, T. X. Thuan, J. T. T. Van. — Edition Frontiers.—1985.—P. 69—71.
19. *Thompson L. A., Gregory S. A.* Dwarf galaxies in the Coma cluster // *Astron. J.*—1993.—**106**, N 6.—P. 2197—2212.

Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета
имени Тараса Шевченко

Поступила в редакцию
01.11.94