

# ФОРМЫ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СВЕРХСКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК

Е.А.Панько

Николаевский национальный университет им. В.А.Сухомлинского  
panko.elena@gmail.com

**ABSTRACT.** We analyzed the shapes of galaxy superclusters, contains only 3 galaxy clusters. The superclusters were found using PF Catalogue Galaxy Clusters and Groups covering 5000 square degrees as input data. We applied Friend-of-Friend method and found 111 galaxy superclusters including 62 three-member ones. We showed the real superclusters are elongated structures. In best fit ellipse approximation the typical value of minor axis less than 0.5 of major axis; 30% of the galaxy clusters triplets have minor axis less than 0.8 of major axis. The Kolmogorov-Smirnov test confirmed this property is not random.

## Введение

Распределение галактик во Вселенной не однородно, и это заметно как в их положениях на небесной сфере, так и при анализе трехмерного распределения галактик в пространстве. Даже без применения специальных методов видны области повышенной концентрации галактик, такие, как двойные и кратные системы галактик, группы галактик и скопления, в которых насчитывается от десятков до нескольких тысяч членов [1]. Применение современных вычислительных методов позволяет уверенно находить, описывать и анализировать эти структуры в том же и статистическими методами [2, 6, 7, 12, 15]. В рамках современной космологической парадигмы  $\Lambda$ CDM эволюция скоплений галактик связана с развитием первичных флуктуаций плотности, а скопления галактик являются крупнейшими вириализованными структурами во Вселенной. В работе [8] на базе CfA обзора измеренных красных смещений галактик показано, что группы галактик показывают волокнистое распределение. На масштабах в десятки мегапарсек скопления и группы галактик формируют ассоциации еще большего порядка – сверхскопления галактик. Эти структуры не вириализованы, но в случае доминирования во Вселенной темной энергии дальнейшая эволюция сверхскоплений галактик приводит к формированию

островных изолированных сверхплотных конгломераций вещества [2]. В настоящее время крупномасштабная структура Вселенной развивается и, если формирование сверхскоплений идет по иерархическому сценарию, то вытянутость формирующихся структур должна быть заметна уже для трехчленных образований. Мы нашли типичные значения эллиптичности для трехкомпонентных сверхскоплений галактик.

## Наблюдательный материал

Мы использовали Каталог скоплений и групп галактик (далее *PF*) [12], базирующийся на Мюнстерском красном обзоре неба [16], как входной список для поиска сверхскоплений. Основной каталог *PF* насчитывает 6188 групп и скоплений галактик, с численностью галактик в поле структуры  $N_g$  от 10 до 837, с оценочными значениями количества фоновых галактик  $N_{bg}$  от 3-х до 243. Для каждой структуры в каталоге *PF* приведен набор параметров, описывающих ее форму и ориентацию в приближении наилучшего эллипса. Каталог покрывает 5000 квадратных градусов в южном полушарии неба и базируется на статистически полном списке галактик до красной звездной величины  $r_r=18.{}^m3$  в этой области неба [16]. Как и исходный список, каталог *PF* является двухмерным, но проведенная калибровка расстояний по звездной величине десятой по яркости галактики [13] позволяет рассматривать этот каталог как трехмерный. В работе [4] показано, что структуры с  $N_g \geq 50$  ( $N_{bg} \geq 21$ ) по значениям их эллиптичности  $E=1-b/a$  и эволюционного фактора  $dE/dz$  можно отнести к одной популяции, а остальные – к другой. При этом объекты первой популяции (скопления галактик) отражают основные детали крупномасштабного распределения светящегося вещества, а группы галактик (вторая популяция) позволяют проследить детали этого распределения.

В процессе работы выяснилось, что несколько структур каталога *PF* требуют дополнительного анализа, который и был проведен. В модифицированном

каталоге *PF* насчитывается 1711 скоплений с  $N_g \geq 50$ . Среди них 9 имеют больше 400 галактик в поле скопления, от 301 до 400 галактик содержат 19 скоплений, от 201 до 300 – 71, от 101 до 200 – 362 и от 50 до 100 галактик имеют 1250 скоплений. Большая часть этих 1711 скоплений имеют красные смещения до 0.12, т.е. мы будем рассматривать ближние сверхскопления. Распределение красных смещений входного списка скоплений показано на Рис. 1.

### Метод поиска сверхскоплений

Для поиска сверхскоплений мы использовали *Friend-of-friend (FoF)* алгоритм. Он применяется в двух версиях, предложенных в работах [17] и [9]. Различие этих алгоритмов поиска кластеризованных объектов связано только со значением критической дистанции, при которой объекты считаются связанными: в [17] эта одинакова для всего набора объектов, а в [9] дистанция изменяется с увеличением расстояния от наблюдателя. Мы применили *FoF* алгоритм с постоянным значением критической дистанции, т.к. 1711 скоплений исходного списка имеют  $z$  в пределах 0.16 (Рис. 1). По этой же причине для расчета расстояний мы применили простейший вариант определения расстояния между скоплениями. Для  $z$  в пределах до 0.16 значения расстояний, вычисленные по всем трем формулам, совпадают в пределах точности вычислений нашего исследования.

Для поиска сверхскоплений галактик методом *FoF* мы определили расстояние до ближайшего скопления  $D$  для всего исходного массива данных. Эти значения находятся в пределах от  $4.5 h^{-1}$  Мпк до  $169 h^{-1}$  Мпк

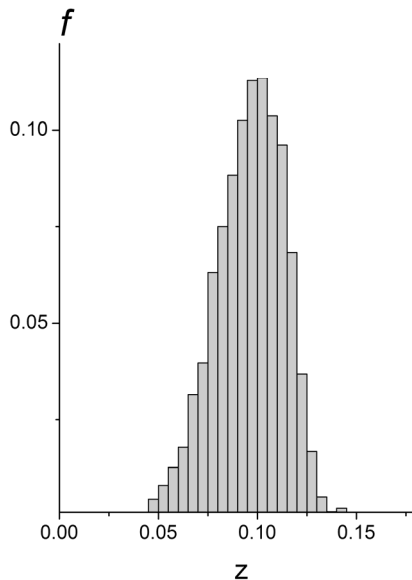


Рис. 1: Распределение красных смещений 1711 скоплений галактик модифицированного каталога *PF*.

(Рис. 2). При этом из 1711 только 13 имеют расстояния до ближайшего соседа больше, чем  $70 h^{-1}$  Мпк. Эти скопления мы будем рассматривать как кандидаты в изолированные скопления, а рабочий диапазон расстояний принимаем в пределах от 4.5 до  $70 h^{-1}$  Мпк.

Мы определили контраст линейной шкалы расстояний аналогично определению контраста площадей для плоскости как:

$$\gamma = \frac{\bar{D} - D}{D} \quad (1)$$

где  $\bar{D}$  – среднее значение расстояния для случайного распределения.

Для нашего рабочего диапазона  $\bar{D} = 37.2 h^{-1}$  Мпк, и в этом случае значение  $\gamma = 1.5$  соответствует значению  $D_{\text{lim}} = 24 h^{-1}$  Мпк. Это значение совпадает с критической дистанцией в работе [7]. Мы приняли это значение как предельное для поиска сверхскоплений методом *FoF*. Для выбранного значения  $D_{\text{lim}}$  в случайном распределении кластеризованными будут 15% ядер.

Поиск сверхскоплений выполнялся таким образом: для каждого скопления находилось ближайшее соседнее скопление. Если расстояние до этого соседа (*Friend*) было меньше критического, то такой набор считался кластеризованным. Затем для каждого из соседей поиск повторялся (*next Friend*). Процедура останавливалась, когда больше не находилось ближайшего соседа на расстоянии, меньшем, чем  $D_{\text{lim}}$ . Всего было найдено 111 сверхскоплений с количеством членов от 3-х до 9-ти. Больше всего трехчленных структур – 62, что позволяет проанализировать эту выборку статистическими методами.

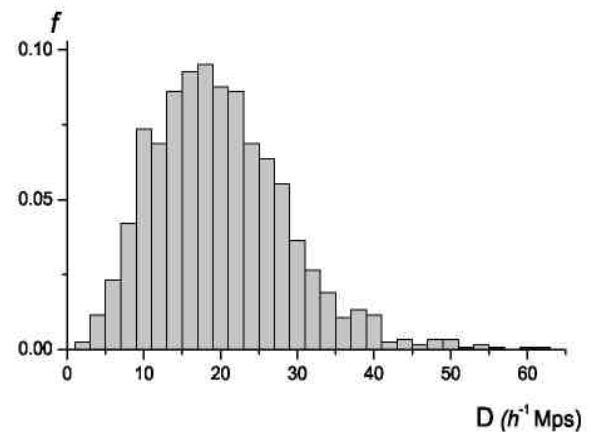


Рис. 2: Распределение расстояний до ближайшего соседа для 1711 скоплений галактик модифицированного каталога *PF* (13 скоплений с  $D > 70 h^{-1}$  Мпк не показаны).

Таблица 1: Интегральное распределение эллиптичностей реальных и смоделированных трехчленных сверхскоплений

Середина бина (размер бина 0.1)	Реальные сверхскопления	Смоделированные три- плеты	Разности между смоделиро- ванными и реальными три- плетами
0.05	0.0161	0	-0.0161
0.15	0.0161	0.0161	0
0.25	0.0806	0.1129	0.0323
0.35	0.129	0.2581	0.1291
0.45	0.2742	0.5161	0.2419
0.55	0.4194	0.7419	0.3225
<b>0.65</b>	<b>0.5484</b>	<b>0.9355</b>	<b>0.3871</b>
0.75	0.7097	0.9677	0.258
0.85	0.9196	1	0.0804
0.95	1	1	0

### Формы трехчленных сверхскоплений галактик

Для трехчленных сверхскоплений в качестве характеристики формы мы рассматриваем эллиптичность, определенную формально через отношение осей наилучшего эллипса:

$$E = 1 - b/a, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  соответственно большая и малая оси наилучшего эллипса.

Значения  $a$  и  $b$  мы определяли двумя способами: применяя формально метод ковариационного эллипса [3, 5] и как собственные значения ковариантной матрицы, составленной из векторов, определяющих положения членов сверхскопления в трехмерном пространстве. Как показано в работах [10, 11, 14], собственные значения составленной таким образом матрицы пропорциональны осям структуры в приближении наилучшего эллипсоида. В нашем случае значения  $E$ , определенные обоими методами совпадают с точностью до 4-го знака. Разумеется, для трехчленной структуры только два собственных значения рабочей матрицы не равны нулю. Можно добавить, что для точек, расположенных в вершинах равностороннего треугольника, значения  $a$  и  $b$  равны.

Для найденных трехкомпонентных сверхскоплений характерна вытянутая форма: большая их часть имеет эллиптичность  $E > 0.5$ , к филаментарным объектам с  $E > 0.8$  относятся 30% исследованных объектов (Рис. 3, верхняя панель).

Чтобы оценить влияние случайного фактора на изучаемый параметр мы смоделировали аналогичный набор трехчленных структур, но со случайными положениями членов. Распределение эллиптичности случайных триплетов гауссово с медианным значением 0.5 (Рис. 3, средняя панель). По разности этих распределений (Рис. 3, нижняя панель) мы можем сделать вывод, что вытянутость реальных сверхскоплений не случайна. Тест Колмогорова-Смирнова (Таблица 1) подтверждает этот вывод. Для интегрального распределения с бином 0.1 мы получили значение для квантиля распределения Колмогорова-Смирнова  $\lambda = 2.155$  по максимальной разнице интегральных распределений эллиптичности реальных и смоделированных триплетов, (бин 0.6 - 0.7, в Таблице 1 выделено полу-

жирным шрифтом). Критическое значение на уровне достоверности  $\lambda\alpha = 0.01 = 1.627$ . Полученное значение больше критического на уровне достоверности  $\alpha = 0.01$ , и это позволяет отвергнуть гипотезу о совпадении наблюдаемого распределения со случайным.

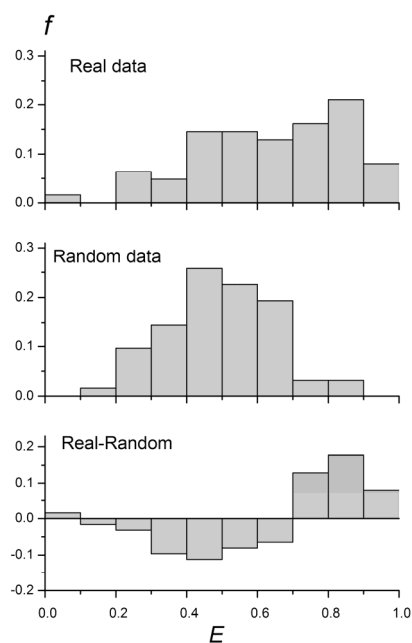


Рис. 3: Распределение эллиптичностей реальных и модельных структур и разность распределений

### Выводы

На основе анализа эллиптичности 62 трехчленных сверхскоплений галактик, найденных для скоплений каталога *PF* методом *Friend-of-friend*, мы показали, что их форма не является случайной: большая часть их имеет эллиптичность  $E > 0.5$ , а 30% относятся к филаментарным образованиям с  $E > 0.8$ . Тест Колмогорова-Смирнова опровергает гипотезу о случайности форм трехчленных сверхскоплений галактик на уровне достоверности  $\alpha = 0.01$ . Таким образом, уже на уровне самых бедных сверхскоплений идет формиро-

вание филаментарных структур. Кроме того, учитывая, что мы рассматривали ближайшие к нам сверхскопления, можно сказать, что вириализация таких структур из-за их относительно небольшой массы еще не произошла, и мы будем наблюдать вытянутые сверхскопления галактик и на больших расстояниях.

*Благодарности.* В исследовании мы пользовались сервисом Astrophysics Data System NASA. Это исследование частично поддерживается грантом BS052 Университета Яна Коханевского в Кельце, Польша.

### Литература

1. G.O.Abell, H.G.Corwin, R.P.Olowin: 1989, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **70**, 1.
2. P.A.Araya-Melo, A.Reisenegger, A.Mez. et al.: 2009, *Mon. Non. Roy. Astron.Soc.*, **399**, 97.
3. M.Biernacka, P.Flin, E.Panko, T.Juszczyk: 2007, *Odessa Astron. Publ.*, **20**, 26.
4. M.Biernacka, P.Flin, E.Panko, T.Juszczyk: 2009, *ASP Conf. Ser.*, **409**, 29.
5. D.Carte, N.Metcalf: 1980, *Mon. Non. Roy. Astron.Soc.*, **191**, 325.
6. G.B.Dalton, S.J.Maddox, W.J.Sutherland, G.Efstathiou: 1997, *Mon. Non. Roy. Astron.Soc.*, **289**, 263.
7. M.Einasto, E.Tago, J.Jaaniste, J.Einasto, H.Andernach: 1997, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **123**, 119.
8. M.J.Geller, J.P.Huchra: 1983, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **52**, 61.
9. J.P.Huchra, M.J.Geller: 1982, *Astrophys. J.*, **257**, 423.
10. H.Jang-Condell, L.Hernquist: 2001, *Astrophys. J.*, **548**, 68.
11. V.Kolokotronis, S.Basilakos, M.Plionis, I.Georgantopoulos: 2001, *Mon. Non. Roy. Astron.Soc.*, **320**, 49.
12. E.Panko, P.Flin: 2006, *Journal of Astronomical Data*, **12**, 1.
13. E.Panko, T.Juszczyk, M.Biernacka, P.Flin: 2009, *Astrophys. J.*, **700**, 1686.
14. M.Plionis, J.D.Barrow, C.S.Frenk: 1991, *Mon. Non. Roy. Astron.Soc.*, **249**, 662.
15. E.Tago, J.Einasto, E.Saar et al.: 2008, *Astron. Astrophys.*, **479**, 927.
16. R.Unguruhe, W.C.Seitter, H.W.Duerbeck: 2003, *Journal of Astronomical Data*, **9**, 1.
17. Ya.B.Zeldovich, J.Einasto, S.F.Shandarin: 1982, *Nature*, **300**, 407.