

УДК: 524.74

О КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ ИЗ PSCz - ОБЗОРАА.В.ТИХОНОВ¹, А.И.КОПЫЛОВ²

Поступила 18 июля 2001

Принята к печати 21 октября 2001

С помощью корреляционной Гамма-функции ($\Gamma(r)$ и $\Gamma'(r)$) исследовались свойства обзора ИК-галактик PSCz-обзора. Результаты по различным ограниченным по объему подвыборкам свидетельствуют о том, что области сильных корреляций (степенной закон падения плотности с расстоянием с показателем степени $\gamma_1 \sim 1$) ограничены масштабом ~ 10 -15 Мпк. На этом масштабе в зависимостях $\log(\Gamma)$ от $\log(r)$ и $\log(\Gamma')$ от $\log(r)$ присутствует излом. Подобный излом наблюдается и по другим различным выборкам галактик и скоплений (на разных масштабах). После излома ход плотности переходит в другой режим, для ярких галактик северной галактической полусферы соответствующий полностью однородному распределению. По некоторым подвыборкам южной и северной полусфер второй режим соответствует некоторому падению плотности с расстоянием. Получены указания на существенные различия в распределении объектов в южной и северной полусферах. Доказана значимость участка Гамма-функции после излома даже при малой его протяженности как указателя на реальные корреляционные свойства распределения. В целом результаты анализа находятся в хорошем согласии с предыдущими исследованиями обзора PSCz.

1. *Введение.* Вопрос о протяженности режима степенного сгущивания или, как его иногда называют, режима фрактальных флуктуаций плотности является актуальным для космологии. Большинство исследователей первых крупных обзоров галактик и скоплений склоняется к тому, что области сильных корреляций, характеризующие нелинейный режим гравитационного сгущивания вещества, ограничены масштабами сверхскоплений (30-40 Мпк) [1-4]. Ряд ученых, в основном группа Пьетронеро [5-7] (Пьетронеро ввел Гамма-функцию как математический аппарат и получил первые результаты), считают, что этот масштаб может быть существенно большим (100-150 Мпк) и распределение внутри области обладает свойствами фракталов, описанных Мандельбротом [8].

В данной работе мы старались не делать акцент на "фрактальной" терминологии, так как для идентификации фрактальной структуры (присутствие подобных образований на всех масштабах в классическом определении Мандельброта) необходим существенный интервал масштабов, на котором осуществляется степенное падение плотности [9]. Получаемых же масштабов степенного падения плотности по различным выборкам (10-15 Мпк), вероятно, недостаточно для утверждения о фрактальности даже на таких масштабах. Поэтому в данной работе метод Гамма-функции (в дальнейшем Гамма) использовался как метод корреляционной функции плотности, способной

корректно разделить масштабы с различным характером сгущения объектов.

Суть и особенности подсчета Гамма-функции подробно описаны в работах Пьетронеро и сотрудников [10,11,7]. Используемая в данной работе практическая реализация аппарата Гамма-функции детально описана в нашей работе [12].

Гамма-функция определяет усредненное по всем объектам выборки изменение средней плотности с расстоянием. Подсчеты объектов проводятся в сферических слоях вокруг каждого объекта выборки (ширина слоя dr) на расстоянии r от объекта для дифференциальной Гамма $\Gamma(r)$ и в сферах радиуса $r + dr$ для интегральной Гамма $\Gamma^*(r)$. В данной работе мы в основном будем рассматривать $\Gamma^*(r)$.

Масштаб использования Гамма ограничен радиусом R_j максимальной сферы с центром в объекте выборки, вписывающейся в геометрические границы выборки. Результат представляется в логарифмическом масштабе в виде зависимостей $\log(\Gamma)$ от $\log(r)$ и $\log(\Gamma^*)$ от $\log(r)$. Угловой коэффициент ($-\gamma$) аппроксимирующей прямой, которая строится по выбранному участку изменения $\log(r)$, определяет корреляционную размерность распределения (ко-размерность) $D = 3 - \gamma$ ($\gamma \geq 0$).

В общем случае больший наклон Гамма (γ) (соответствующий меньшей размерности) означает более сильное среднее падение плотности внутри объема и, следовательно, большую скученность объектов. Горизонтальные участки графика указывают на равномерность распределения объектов в выборке на соответствующих масштабах.

2. *Описание PSCz-обзора.* Обзор PSCz (Point Source Catalog with redshifts (z)) [13] создавался с целью выяснения структурных особенностей ближайших областей Вселенной. Он основан на каталоге компактных объектов IRAS с некоторыми добавлениями и исправлениями для достижения большей полноты и однородности. Целью авторов обзора было получение красных смещений для всех галактик, поток от которых на длине волны 60 мкм больше, чем 0.6 Jy. Из обзора исключены зоны, не наблюдаемые IRAS (две тонкие полосы по эклиптической долготе), области, где галактическое поглощение в полосе V больше, чем $1^m.5$, а также области, закрываемые Магеллановыми облаками. В результате обзор покрывает около 84% неба (10.56 стеррад). Обзор содержит сведения для ~15000 галактик, в частности их красные смещения (z) с внешней ошибкой около 120 км/с. Наибольшая полнота (около 90%) обзора реализована в области $z < 0.1$ и $|b| > 10^\circ$ по всему небу.

3. *Некоторые результаты, полученные по PSCz-обзору.* PSCz-обзор уже исследовался рядом авторов. Так, в работе [14] исследовалось пространственное распределение галактик PSCz с помощью двухточечной корреляционной ξ -функции. Авторы пришли к выводу о том, что все

их подвыборки по глубине (по z -координате) характеризуют один и тот же тип распределения. Найденные параметры ξ -функции согласуются с полученными прежде по обзору IRAS 1.2 Jy: $r_0 = 4.43 h^{-1}$ Мпк, $\gamma_\xi = 1.28$. Результаты подсчетов в ячейках показали согласие между такими подсчетами для обзора ИК-галактик только с угловыми координатами и PSCz-обзора (трехмерного).

Пан и Коулз [15], проведя мультифрактальный анализ обзора, получили четкие указания на то, что распределение PSCz-галактик становится однородным на достаточно больших масштабах. Они определили корреляционную размерность $D_2 = 2.992 \pm 0.003$ для масштабов больших 30 Мпк. Для масштабов меньших 10 Мпк $D_2 = 2.16$ и, таким образом, наблюдается переходный режим сгущивания на промежуточных масштабах.

Топология PSCz была исследована в работе [16]. Установлено, что распределение галактик хорошо согласуется с моделью гауссова поля плотности с соответствующим спектром мощности и гипотезой о спектре начальных флуктуаций со случайными фазами.

Сравнение PSCz с обзором Stromlo-APM [17], содержащим 1787 галактик в области северной галактической полусферы, посредством использования методов подсчета в ячейках и двухточечной корреляционной ξ -функции, показало, что амплитуда флуктуаций в Stromlo-APM систематически выше, как и ожидалось авторами, - из-за дефицита галактик ранних типов в каталоге IRAS-объектов.

Таким образом, PSCz-обзор исследован достаточно подробно. Но объем, покрытый каталогом PSCz, и однородность объектов дают основания считать, что применение аппарата Гамма позволит получить новую информацию как о распределении объектов обзора, так и о влиянии особенностей конкретной выборки на параметры Гамма. Применение Гамма-анализа имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием, например, ξ -функции (см. [10]).

4. *Построение выборок.* Для проведения анализа выборки из исходных данных строились следующим образом: при выбранном пределе на глубину R_{lim} , в выборке оставлялись только объекты, для которых

$$F_{60} \cdot R^2 > F_{lim} \cdot R_{lim}^2, \quad (1)$$

где F_{60} - поток от объекта на 60 мкм, $F_{lim} = 0.6$ Jy, а R - метрическое расстояние до объекта. Тем самым обеспечивается однородность выборки по светимости и реализуется выборка, ограниченная по объему (volume limited). При подсчетах области, не заполненные объектами PSCz (см. описание обзора), искусственно не заполнялись. Область наибольшего галактического поглощения исключена ограничением на галактическую широту $|b| > 10^\circ$. Метрические расстояния были получены по стандартной формуле

$$R = \frac{c}{H_0} \frac{q_0 z + (q_0 - 1) \sqrt{1 + 2q_0 z - 1}}{q_0^2 (z + 1)} \text{ Мпк} \cdot h^{-1}, \quad (2)$$

где $H_0 = 100 \text{ км/с/Мпк}$, $h = H/H_0$, z - красное смещение, H - истинное значение постоянной Хаббла, $q_0 = 0.1$ - параметр замедления, выбранный для вычислений.

5. *Результаты.* Рис.1а и рис.1б представляют Γ и Γ^* для выборки $R_{\text{lim}} = 200 \text{ Мпк}$, галактический север и юг соответственно. N - число объектов в выборке. В выборку $R_{\text{lim}} = 200 \text{ Мпк}$, в соответствии с критерием (1), попали наиболее яркие IRAS-галактики из PSCz-обзора,

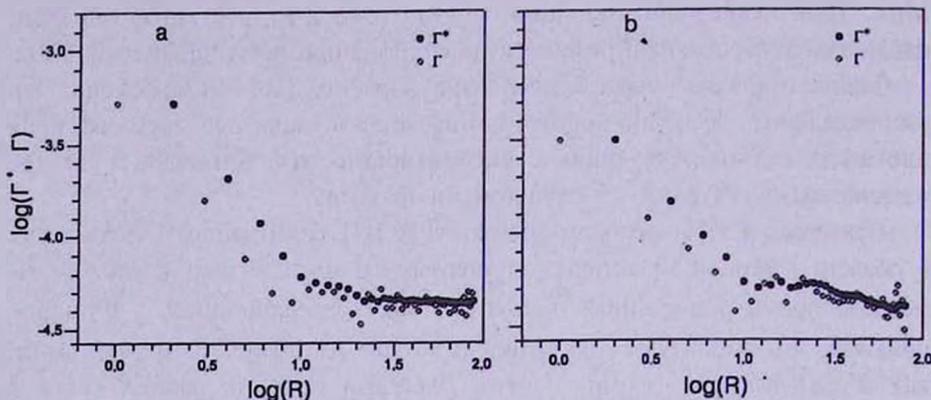


Рис.1. Гамма-функция для выборок с $R_{\text{lim}} = 200 \text{ Мпк}$. а) - $b_{\text{gal}} > 10^\circ$ (север), $N = 599$, $R_{\text{gal}} = 93 \text{ Мпк}$. б) - $b_{\text{gal}} < -10^\circ$ (юг), $N = 603$, $R_{\text{gal}} = 96 \text{ Мпк}$.

в большой степени однородные по своим физическим свойствам. На малых масштабах наклон Гамма $\gamma_1 \approx 1$. Наклон Гамма-функции $\gamma = 1$ считается выделенным значением. Он соответствует фрактальной размерности $D=2$. На возможность того, что распределение галактик ближайших областей Вселенной сходно по свойствам с монофракталом такой размерности ($D=2$) указывали группа Пьетронеро [5] и Барышев [18]. После излома на масштабе примерно 10 Мпк по северной выборке сгущения практически нет. Функция выходит на плато и довольно определенно указывает на равномерность распределения галактик из PSCz-обзора на масштабах больших 10 Мпк. На этом же масштабе по независимой выборке в южной части также присутствует излом, после которого наблюдается некоторое падение плотности с расстоянием (наклон $\gamma_2 = 0.23$). Статистическая значимость второго участка падения плотности нуждается в дополнительном исследовании.

Рис.2а показывает ошибки вычислений интегральной Гамма, определенные как стандартные отклонения подсчетов при данном r . Однако стандартное отклонение, по-видимому, нельзя рассматривать как указатель на реальную ошибку среднего, особенно на участке сильных корреляций, где распределение не подчиняется гауссовой статистике и такой большой разброс естественен. Более реалистичную оценку ошибок дает разновидность метода bootstrap [19].

Случайным образом из подвыборки $R_{\text{min}} = 200$ Мпк (север) выбиралась только половина объектов подвыборки, по которым производилось построение Гамма-функции. Эта процедура повторялась 10 раз. Рис.2b дает представление о разбросе значений Гамма на разных масштабах при таком способе подсчета. Стандартное отклонение для второго наклона Гамма $\sigma_{\gamma_2} = 0.07$ и, таким образом, существование второго наклона по южной выборке $R_{\text{min}} = 200$ Мпк (юг) определяется скорее всего флуктуациями плотности.

По выборкам галактик с другими критериями отбора объектов (например, по пределу на видимую величину в оптическом диапазоне) излом наблюдается на больших масштабах, что указывает на принципиальные отличия распределения популяции галактик, ярких в инфракрасном диапазоне, от распределения галактик, отбираемых по другим критериям.

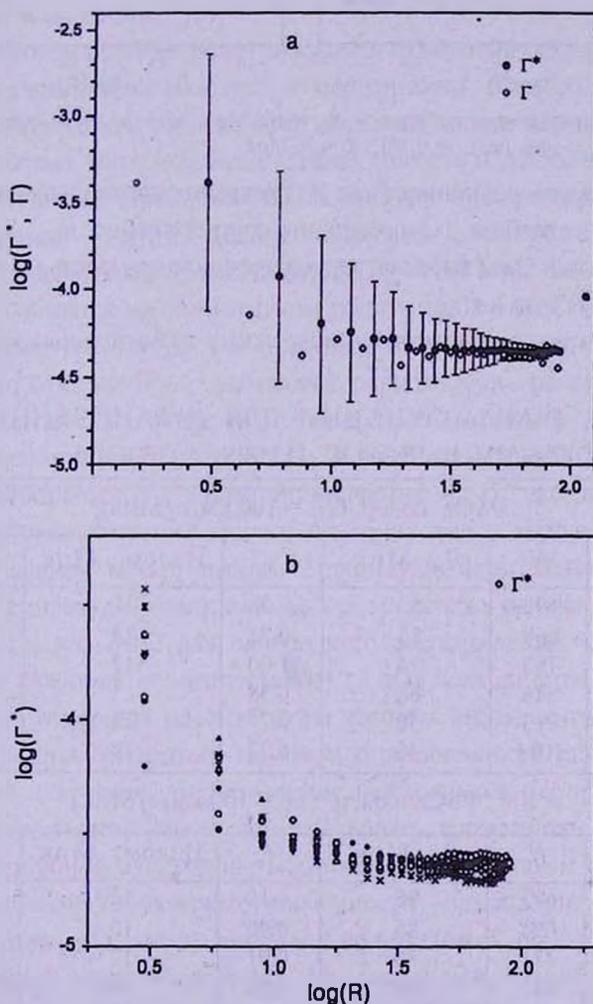


Рис.2. Выборка $R_{\text{min}} = 200$ Мпк, $b_{\text{min}} > 10^\circ$. а) - Ошибки значений интегральной Гамма (Γ), представляющие собой стандартное отклонение подсчетов на каждом шаге (при каждом r_0). б) - Разброс значений Γ , полученный методом bootstrap.

Если глубину выборки выбирать меньшей, тем самым понижая предел на поток от галактики в ИК-диапазоне для включения ее в выборку, картина корреляций меняется существенно. Рис.3а и рис.3б, полученные по выборке $R_{lim} = 160$ Мпк (север и юг), показывают другой вариант поведения Гамма - после излома падение плотности продолжается.

В табл.1 помещены основные результаты для выборок из PSCz различной

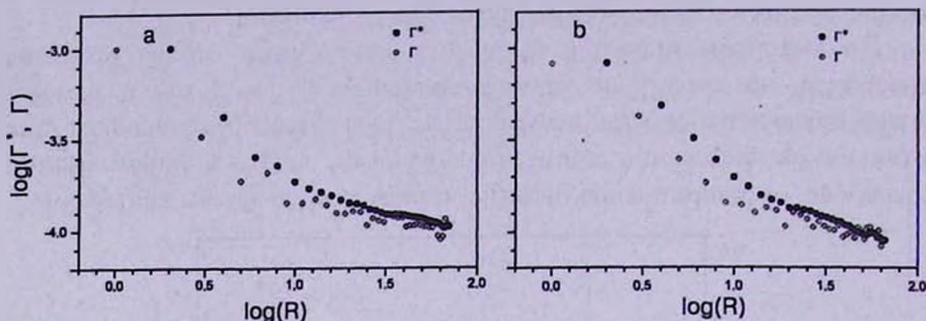


Рис.3. Гамма-функции для выборок с $R_{lim} = 160$ Мпк. а) - $b_{dec} > 10^\circ$ (север), $N = 762$, $R_s = 74$ Мпк. б) - $b_{dec} < -10^\circ$ (юг), $N = 771$, $R_s = 76$ Мпк.

глубины и, тем самым, различных (хотя и перекрывающихся) наборов галактик по светимости. В столбцах 1-3 помещены соответственно R_{lim} , N , R_s . Далее для наглядности нами была выбрана аппроксимационная модель по параметрам зависимости $\log(\Gamma^*)$ от $\log(r_0)$:

1. Наклон Гамма, соответствующий режиму значительных корреляций

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ ГАММА-ФУНКЦИИ ДЛЯ ОГРАНИЧЕННЫХ ПО ОБЪЕМУ ВЫБОРОК ИЗ PSCz-ОБЗОРА

PSCz север ($H_0 = 100$ км/с/Мпк)					
R_{lim} , Мпк	N	R_s , Мпк	γ_1	Излом, Мпк	γ_2
200	599	93	1.05	11	0.08
180	668	83	0.71	13	0.09
160	762	74	1.00	12	0.26
140	846	68	0.58	15	0.20
120	973	56	0.77	18	0.17
100	1094	46	0.73	18	0.15
PSCz север ($H_0 = 100$ км/с/Мпк)					
R_{lim} , Мпк	N	R_s , Мпк	γ_1	Излом, Мпк	γ_2
200	603	96	1.18	12	0.23
180	694	85	0.90	10	0.31
160	771	76	0.91	12	0.36
140	835	69	1.03	10	0.36
120	948	58	0.82	12	0.47
100	1026	47	0.79	12	0.53

$\sigma_\gamma = 0.08$ -наибольшая ошибка линейной аппроксимации.

(наклон γ_1) - столбец 4.

2. Масштаб излома в зависимости $\log(\Gamma')$ от $\log(r_0)$ - столбец 5.

3. Второй участок Гамма-функции, соответствующий изменению режима сгущивания (наклон γ_2) - столбец 6.

Существенным является то, что для всех северных подвыборок наклон γ_2 систематически меньше, чем γ_2 для южных.

Из возможных причин отличия вида участка после излома в выборках с $R_{\text{н}} < 200$ Мпк от наблюдаемого в выборке $R_{\text{н}} = 200$ Мпк (север) можно указать на следующие:

1. Добавились более слабые галактики PSCz-обзора, у которых ИК-свойства выражены слабее, и, возможно, второй наклон отражает появление корреляций, присущих распределению, в которое включены галактики всех типов.

2. Некоторое влияние может оказывать граничный эффект (максимальная сфера подсчета стала меньше) и особенности подсчета (уменьшение с масштабом количества рабочих сфер и их уход в центр выборки), в сочетании с возможностью того, что более слабые галактики добавляются в областях, соответствующих присутствию структур, наблюдаемых по общему распределению галактик (если, например, это происходит в районе сверхскопления Coma, то для выборки $R_{\text{н}} = 160$ Мпк (север) более слабые галактики добавятся на значительном расстоянии от дальнего края выборки).

Заметим, что почти все выборки более слабых в ИК галактик показывают отклонение от полностью равномерного распределения (плато на графике) в одну сторону - после излома плотность падает, и это падение является систематическим и значимым эффектом, особенно по южным выборкам (γ_2 достигает значения 0.53), что видно из табл.1.

Однако существование второго наклона, хотя и хорошо определенного, из-за его малости нельзя связать с понятиями фрактальности, так как для фракталов амплитуда флуктуаций на всех масштабах одинакова и значительна (учитывая то, что $D=3$ для однородного распределения, было бы неверно говорить о "фрактале" размерности $D=2.7$ (для большинства выборок $\gamma \leq 0.3$) при малости интервала масштабов, на которых наблюдается второй наклон).

Но если придерживаться гипотезы ограниченности сильных степенных флуктуаций плотности, второй наклон необходимо интерпретировать. Такой картине корреляций может соответствовать изотропное распределение с крупномасштабной однородностью, в котором некоторым образом расположены различные структурные особенности - скопления разной степени концентрации к центру, крупные уплощенные образования, пустоты ограниченных масштабов и др. На малых масштабах, когда области, относительно свободные от галактик, по масштабам сходны с размерами структур (областей повышенной плотности галактик), средняя плотность не является определенной величиной. При увеличении области рассмотрения,

с некоторого масштаба такой тип распределения заканчивается (возможно, этот переходный масштаб каким-то образом связан со степенью вириализации наблюдаемых систем), структуры больших масштабов присутствуют, их можно выделить при рассмотрении "на глаз", но амплитуда флуктуаций (контраст над фоном) мала.

В таком построении гипотеза об однородности не противоречит тому, что наблюдаются структуры - северная Великая Стена (Great Wall) [20], протяженностью около 70 Мпк, почти симметричное образование в южном полушарии, охватывающее несколько скоплений, сверхскопление Шепли и другие.

Таким образом, крупномасштабная однородность не означает отсутствия структурности распределения на любых масштабах. При этом флуктуации не описываются моделью белого шума. Возможно, такая картина снимает видимые противоречия между результатами Гамма-анализа по ряду выборок галактик, скоплений и сверхскоплений [21] и недавними результатами подсчетов спектра мощности по галактикам обзора 2dF [22].

Подобная модель для описания распределения крупномасштабной материи была предложена в работе [23].

6. Тест на устойчивость параметров Гамма-функции. В работе [21] нами были получены графики Гамма-функции с плоскими и наклонными участками различной протяженности после излома, которые интерпретировались нами как смена режима скучивания в распределении объектов, начиная с некоторого масштаба. При этом отмечалось, что при увеличении рабочего радиуса Гамма оставшиеся центры сфер "уходят" в центральные части выборки, и, таким образом, поведение Гамма после излома (менее резкое падение плотности или выход на плато) подвержено влиянию граничного эффекта. Граничный эффект значительно уменьшает статистическую значимость результата анализа любым методом. Для эффективного использования всего объема полученной выборки при использовании ряда корреляционных методов подсчеты, в которых участвуют объекты у границ выборки, подвергаются процедуре взвешивания, при которой приходится делать некоторые предположения о распределении за геометрическими границами выборки. Предложенный Пьетронеро аппарат Гамма использует только информацию внутри границ выборки, но делает неравноценными подсчеты на разных масштабах и содержит в себе систематическое изменение рабочих параметров (количества центров сфер, в которых производятся подсчеты на данном шаге).

Масштабы, охваченные каталогом PSCz, и однородность объектов позволяют провести тест для проверки значимости участка Гамма после излома и того, насколько существенно влияет на параметры Гамма процесс перехода центров сфер в центральные области выборки при увеличении рабочего

радиуса.

Для проведения теста внутри конуса выборки была выделена подобная фигура меньшего объема (тоже конус), границы которого отстоят от границ начального конуса на одинаковое расстояние R_b , и проведено 3 варианта подсчета:

1. Стандартный подсчет Гамма в малом конусе (Γ_1^*).
2. Использование только точек внутреннего конуса как центров Гамма и проведение подсчетов во всем большом объеме, чтобы тем самым обеспечить до рабочего радиуса $r=R_b$ равноправность всех сфер (Γ_2^*).
3. Стандартный подсчет Гамма в большом конусе (Γ_3^*).

В первом случае (Γ_1^*) исследуется подобный основному объем выборки внутри основного объема для оценки того, насколько граничный эффект искажает информацию о точке излома и последующем ходе Гамма-функции (сравнение с подсчетами в основной выборке, содержащей внутри себя малый конус) - в данном случае информация о распределении за границами выделенного объема имеется. Во втором случае (Γ_2^*) до определенного масштаба $r=R_b$ количество центров сфер одинаково и значения Гамма до этого масштаба равноправны. Далее Гамма должна точно повторять значения стандартного подсчета (Γ_3^*).

Для демонстрации результатов теста взяты выборки $R_{\text{изм}} = 200$, $b > 10^\circ$, север (рис.4) и юг (рис.5). По приведенным на рисунках проекциям распределения объектов выборки на плоскость XZ в выбранных декартовых координатах видно "на глаз", что распределение в большой степени равномерное (нет выделенных резких структур), хотя известно, что, например, в северной части по координате Z на расстоянии $\sim 70-80$ Мпк должна находиться Великая Стена.

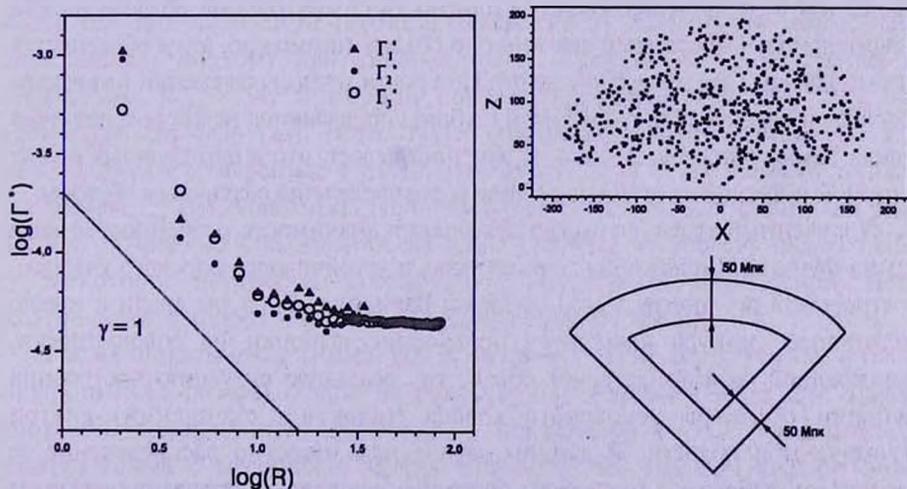


Рис.4. Тест на воспроизводимость вида Гамма при выделении в выборке $R_{\text{изм}} = 200$ Мпк, $b_{\text{изм}} > 10^\circ$, север ($N_{\text{изм}} = 599$) внутреннего конуса ($N_{\text{изм}} = 126$) и проведении 3 вариантов подсчета Гамма. Показана схема расположения исследуемых областей и проекция распределения на плоскость XZ .

На малых масштабах (до излома) все три Гамма-функции Γ_1^* , Γ_2^* и Γ_3^* показывают наклон $\gamma \sim 1$. Излом хода Гамма во внутреннем конусе (Γ_1^*) на масштабе ~ 10 -12 Мпк практически совпадает с точками изломов Γ_2^* и Γ_3^* . Участки Гамма двух дополнительных вариантов подсчета (Γ_2^* и Γ_3^*) после излома изменяются синхронно с Γ_1^* . Таким образом, эффекты, уменьшающие достоверность подсчета (уменьшение количества центров, перемещение центров в центральные области выборки, граничный эффект), в данном случае не оказывают серьезного влияния на результат.

После выхода на плато при подсчете в малом конусе значения Γ_1^* находятся

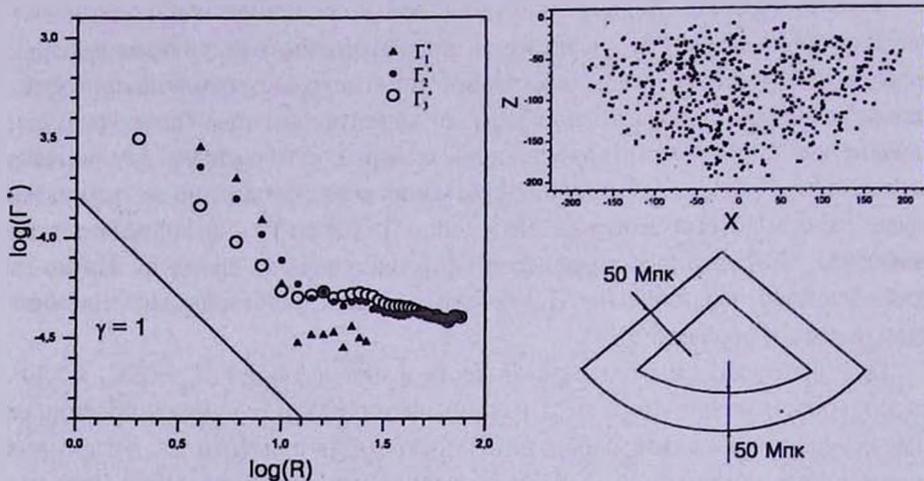


Рис.5. То же самое, что на рис.4, но для южной полушеры ($b_{\text{пл}} < -10^\circ$), $N_{\text{пл}} = 603$,

значительно ниже Γ_2^* и Γ_3^* для южной выборки и чуть выше для северной. Это означает, что в центральной области северной части выборки плотность объектов выше, чем в среднем по объему, а плотность симметричной области на юге значительно ниже среднего значения по объему (возможно, этим объясняется слабый наклон Гамма в южной части). При почти точном совпадении количества объектов в подвыборках одинаковой глубины проявляются некоторые различия в виде Гамма для севера и юга, и тест показывает, что в центральных частях северной и южной подвыборок объекты распределены различным образом.

Полученный результат важен для оценки значимости особенностей вида Гамма-функции (положения точки излома и устойчивости плоского участка), построенной по произвольной выборке. Вариант выбора для анализа только внутреннего конуса имитирует построение выборки из совокупности, занимающей гораздо больший объем, т.е. реальную ситуацию построения выборки объектов некоторого класса (галактик, скоплений) внутри ограниченной области. В данном случае нам известно распределение за границами выборки и мы можем проверить насколько разделение режимов сгущения в малом объеме соответствует аналогичному эффекту в большом объеме.

Таким образом, наличие излома Гамма и ее дальнейший ход вплоть до максимальных масштабов, доступных для способа подсчета Гамма, указывает на реальные свойства исследуемого распределения. Значительного искажения граничным эффектом основных параметров, получаемых с помощью Гамма-функции, не происходит, и достоверность результатов, приведенных в нашей работе [21], получает дополнительное подтверждение.

7. *Подсчеты PSCz-галактик в области APM-обзора скоплений.* Область обзора PSCz включает в себя зону выборки скоплений APM. С помощью Гамма мы исследовали то, как физически различные и даже представляющие разные степени иерархии скучивания объекты проявляют корреляционные свойства в одном и том же объеме, если их рассматривать как точечные объекты. Гамма-функция для скоплений APM была построена в работе [12]. График демонстрирует четкий излом на 30 Мпк и дальнейший участок с небольшим наклоном до 100 Мпк, что формально означает присутствие коррелированных структур, но с гораздо меньшей амплитудой флуктуаций. Тот факт, что обе выборки реализованы в одном и том же объеме, определяемом границами APM-обзора (так что влияние границ выборки на результат одинаково для разных распределений), позволяет проверить значимость второго наклона для APM-скоплений, так как мы знаем ход Гамма для ярких PSCz-галактик в большем объеме.

Выборка APM-скоплений (z или $z_{cut} < 0.12$) [24] построена по объектам южной области $-72^{\circ}.5 < \delta < -17^{\circ}.5$, $20^h.5 < \alpha$, $\alpha < 5^h.6$, $z < 0.12$. Всего в этой области по пластинам APM-обзора галактик до $20^m.5$ b_j -величины машинным алгоритмом выделено 957 скоплений, для которых оцененное $z < 0.12$. Из них для 374 объектов красные смещения определены спектроскопически, включая 55 скоплений с измеренными $z > 0.12$. Для более богатых скоплений полнота измерений z значительно выше, чем для бедных, поэтому для анализа были выбраны APM-скопления с богатством $R_{APM} > 54$, примерно соответствующим богатству $R_{Abell} > 0$ скоплений Эйбелла [25]. Всего таких скоплений насчитывается 346. Из них 43 имеют измеренное $z > 0.12$, для 217 $z < 0.12$ и для 86 есть только оцененное z_{cut} (меньше 0.12). Полнота измерений красных смещений для данной подвыборки скоплений из APM-каталога составляет около 72%.

Некоторое неудобство сравнения распределений обусловлено тем, что полнота выборок реализована до различных масштабов.

Рис.6а показывают Гамма для скоплений APM до глубины $z = 0.1$ (полнота PSCz-обзора). Излом наблюдается на масштабе ~ 30 -35 Мпк. Далее плотность падает намного медленнее - с показателем $\gamma \sim 0.3$. Завал второго участка Гамма с масштабов 80 Мпк незначим, так как при анализе этой выборки при глубине $z = 0.12$ (полнота APM-обзора сохраняется) такого завала нет. Мы считаем, что второй наклон, указывающий на некоторое падение

плотности, - это реальный эффект, означающий существование переходного режима сгущения на масштабах 30-100 Мпк для АРМ-скоплений.

На рис.6b в Гамма-функции появляется плато, свойственное типу сгущения ярких галактик PSCz-обзора (см. табл.1), то есть ограничение PSCz-обзора довольно сложными границами АРМ-обзора не привело к искажению получаемой с помощью Гамма-функции информации о типах сгущения на разных масштабах. Излом в данном случае наблюдается на масштабе ~16-18 Мпк, что несколько больше, чем при подсчетах в пределах границ PSCz-обзора. Видимо, в зависимости от выбранной области

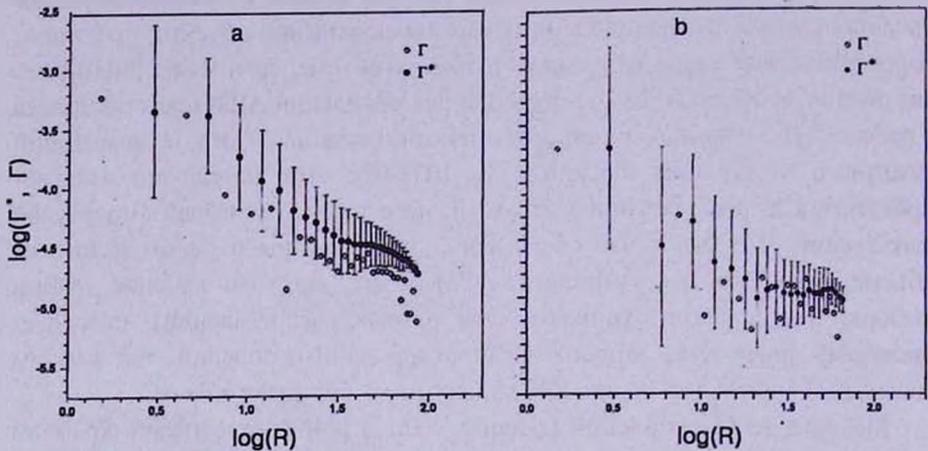


Рис.6. Гамма-функция для объектов в области, $z < 0.1$, $-72^{\circ}.5 < \delta < -17^{\circ}.5$, $20^{\circ}.5 < \alpha$, $\alpha < 5^{\circ}.6$. а) - построенная по выборке скоплений АРМ, $N = 162$, $R_s = 87$ Мпк. б) - построенная по галактикам PSCz-обзора, $N = 101$, $R_s = 85$ Мпк.

распределения масштаб излома может несколько изменяться. Этот параметр Гамма-функции не очень устойчив, так как находится в интервале смены режима поведения Гамма. Основные результаты расчетов приведены в табл.2.

Галактики PSCz показывают в области АРМ качественно тот же результат, что и яркие галактики во всей области PSCz. Можно предположить, что и распределение АРМ-скоплений в данной области отражает глобальное распределение объектов, отобранных таким образом. Интересно, что включение области неполноты PSCz-обзора (при подсчетах в выборке до $z=0.12$) не повлияло

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ ГАММА-ФУНКЦИИ ДЛЯ ВЫБОРОК АРМ-СКОПЛЕНИЙ И ГАЛАКТИК PSCz-ОБЗОРА В ОБЛАСТИ ОБЗОРА АРМ

Выборка	R_{lim} , Мпк	N	R_s , Мпк	γ_1	Излом, Мпк	γ_2
АРМ $z < 0.12$	339	303	105	1.24	32	0.31
АРМ $z < 0.1$	284	162	87	1.40	33	0.60
PSCz $z < 0.12$	339	98	105	2.38	18	0.27
PSCz $z < 0.1$	284	101	85	1.62	18	0.002

на вид плоского участка (не произошло завала хода плотности). Существенное различие между обзорами PSCz и APM в масштабе, на котором происходит излом Гамма-функции, - еще одно указание на то, что физически различные объекты распределены различным образом.

8. *Заключение.* Для ярких галактик PSCz-обзора области значительного сгущения вещества (корреляционная Гамма-функция показывает падение плотности по степенному закону) ограничены масштабом ~ 10 -12 Мпк. Это значение несколько меньше, чем по другим выборкам галактик и скоплений, возможно, из-за дефицита ИК-галактик в скоплениях.

По ограниченным по объему выборкам с различной глубиной видно, что после излома на масштабах 10-15 Мпк (достоверность которого высока, поскольку он наблюдается практически по всем выборкам) возможны различные варианты хода плотности с расстоянием: выход на однородное распределение наблюдается для ярких галактик (выборка $R_{\text{зм}} = 200$ Мпк, $b > 10^\circ$, север); падение плотности продолжается с меньшим наклоном (что соответствует менее коррелированному распределению), например, выборка $R_{\text{зм}} = 120$ Мпк, $b_{\text{пол}} < -10^\circ$, юг. Это означает, что на таких масштабах структуры внутри обзора еще могут влиять на вид Гамма после излома - небольшие флуктуации плотности на этих масштабах могут приводить к вариациям величины второго наклона (или даже к его возникновению) и некоторое падение плотности с расстоянием после излома можно рассматривать как переходный режим к однородному распределению (фрактальные размерности для этих участков находятся в диапазоне $D \cong 2.5 - 3$, а для однородного распределения $D = 3$), в котором, тем не менее, могут присутствовать протяженные связанные структуры.

Значения второго наклона (γ_2) систематически больше для южной галактической полусферы по сравнению с северной, что указывает на существенное различие в распределении объектов в соответствующих выборках.

Тест по выборке ($R_{\text{зм}} = 200$ Мпк, $b > 10^\circ$, север) позволяет утверждать: если за пределами границ выборки не происходит сильного искажения поля плотности, то есть распределение статистически того же типа, что и внутри выборки, то горизонтальные и наклонные участки Гамма после излома с большой долей вероятности достоверны и отражают реальную картину сгущения данных объектов даже по выборкам небольшого объема.

Работа А.В.Тихонова была поддержана грантом No.A0007 программы "Интеграция".

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия

ON THE CORRELATION PROPERTIES OF THE DISTRIBUTION OF OBJECTS FROM PSCz-SURVEY

A.V.TIKHONOV¹, A.I.KOPYLOV²

Properties of the PSCz-survey of IR-galaxies were investigated with the correlation Gamma-function ($\Gamma(r)$ and $\Gamma'(r)$). Results on different volume limited samples show that regions of strong correlations (power-law density fall with distance) are limited by scale ~ 10 -15 Mpc. At this scale in dependencies $\log(\Gamma)$ on $\log(r)$ and $\log(\Gamma')$ on $\log(r)$ a break is evident. Similar break exists also in other different samples of galaxies and clusters of galaxies (at different scales). After the break the dependence of density on distance goes to the different law, that corresponds to strictly uniform distribution for bright galaxies of the northern galactic hemisphere. For some other volume limited samples (mainly for the southern samples) the second law corresponds to small but noticeable decrease of the density with distance. Some evidences of essential distinctions in the distribution of PSCz-galaxies in north and south parts of the survey were obtained. By using the special test we show that the part of the Gamma-function after the break even by it's small extent points to real correlation properties of the distribution. Our results are in good agreement with other investigations of PSCz-survey.

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.Davis*, in "Critical Dialogues in Cosmology", Proceedings of a Conference held at Princeton, ed. Nail Turok, Singapore, World Scientific, 1997, p.13.
2. *Ф.Дж.Э.Пиблс*, Структура Вселенной в крупных масштабах, Мир, М. 1983.
3. *M.Davis, P.J.E.Peebles*, Astrophys. J., **267**, 465, 1983.
4. *S.Borgani*, Phys. Reports, **251**, 1, 1995.
5. *L.Pietronero, M.Montuori, F.Sylos Labini*, in "Critical Dialogues in Cosmology", Proceedings of a Conference held at Princeton, ed. Nail Turok, Singapore, World Scientific, 1997, p.24.
6. *F.Sylos Labini, M.Montuori, L.Pietronero*, Phys. Reports, **293**, 61, 1998.
7. *F.Sylos Labini et al.*, Physica A, **226**, 195, 1996.
8. *B.Mandelbrot*, Fractals, Form, Chance and Dimensions, San Francisco, Freeman, 1977.
9. *J.L.McCauley*, SISSA (www.babbage.sissa.it), astro-ph/9703046
10. *P.H.Coleman, L.Pietronero*, Phys. Reports, **213**, 311, 1992.
11. *L.Pietronero*, Physica A, **144**, 257, 1987.

12. *A.V.Tikhonov*, *Астрофизика*, **45**, 99, 2002.
13. *W.Saunders, W.J.Sutherland, S.J.Maddox*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **317**, 55, 2000.
14. *I.Szapudi, E.Branchini, C.S.Frenk et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **318L**, 45, 2000.
15. *P.Jun, P.Coles*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **318L**, 51, 2000.
16. *A.Canavezes et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **297**, 777, 1998.
17. *M.D.Seaborne, W.Sutherland et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **309**, 89, 1999.
18. *Y.V.Baryshev et al.*, *Vistas in Astronomy*, **38**, 419, 1994.
19. *E.N.Ling, J.D.Barrow, C.S.Frenk*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **223**, 21P, 1986.
20. *M.J.Geller, J.P.Huchra*, *Science*, **246**, 897, 1989.
21. *A.V.Tikhonov, D.I.Makarov, A.I.Kopylov*, *Bull. SAO RAS*, **50**, 39, 2001.
22. *J.A.Peacock et al.*, *Nature*, **410**, 169-173, 2001.
23. *J.Gaite et al.*, *Astrophys.*, **522**, L5-L8, 1999.
24. *G.B.Dalton et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **289**, 263, 1997.
25. *G.O.Abell, H.C.Corwin, R.P.Olowin*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **70**, 1, 1989.