

УДК 524.827-77

## ОСЕВЫЕ СИММЕТРИИ В ДАННЫХ WMAP ILC

© 2010 В. С. Беркутов<sup>1\*</sup>, Я. В. Найденов<sup>1\*\*</sup>, О. В. Верховданов<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Петродворец, Университетский проспект, 28, Санкт-Петербург, 148504 Россия

<sup>2</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 5 октября 2009 г.; принята в печать 12 декабря 2009 г.

Предлагается тест для проверки гауссовости фонового сигнала в зонах, симметрично расположенных относительно экватора. Тест основан на исследовании доминирующих гармоник в симметричных зонах и распределения корреляционных коэффициентов в зависимости от номера выделенного мультиполя. В галактической и эклиптической системах координат выбраны симметрично расположенные зоны и исследованы на наличие антисимметричного сигнала. Для нескольких зон в распределении корреляционных коэффициентов обнаружены негауссовы свойства.

Ключевые слова: *радиоисточники*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Космическая миссия WMAP<sup>1</sup> (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) посвящена исследованию реликтового излучения (СМВ — Cosmic Microwave Background). Спутник обращается вокруг точки Лагранжа L2 системы Солнце — Земля и измерил распределение температуры микроволнового фона на небесной сфере за 7 лет. Команда WMAP предоставила астрономическому сообществу исходные данные и результаты обработки годичного, трехлетнего, пятилетнего и семилетнего циклов измерения температуры СМВ [1–7]. Для восстановления сигнала СМВ из многочастотных наблюдений в этих работах применялся метод внутренней линейной комбинации (ILC — Internal Linear Combination) фоновых компонент, в результате которого была получена карта реликтового излучения, также называемая картой ILC и используемая для анализа низких гармоник фоновых компонент с номерами мультиполей  $\ell \leq 100$ . Для построения карты ILC брались данные в пяти наблюдательных каналах: 23 ГГц (полоса K), 33 ГГц (полоса Ka), 41 ГГц (полоса Q), 61 ГГц (полоса V) и 94 ГГц (полоса W).

Полная карта микроволнового фона неба на сравнительно низких мультиполях ( $\ell \leq 100$ ) чрезвычайно интересна для исследования гауссовости распределения фонового сигнала. Предоставление

данных в общее пользование привело к большому числу работ по исследованию статистики сигнала в различных диапазонах мультиполей. Как было отмечено в ряде работ [8–10], имеются серьезные аргументы, говорящие о том, что в данной карте на различных угловых масштабах присутствует остаточный вклад фоновых компонент, который, в частности, и дает обнаруживаемую негауссовость. Этот вклад может проявляться также в обнаруженной ранее связи в квадруполье между очищенной картой микроволнового фона и галактическими компонентами излучения [11–13]. Негауссовость сигнала в данных WMAP, кроме фазового анализа [8, 9, 14], была также обнаружена другими методами на различных угловых масштабах: с помощью функционалов Минковского [15], вейвлет-анализа [16], корреляционных функций [17], как асимметрия в распределении сигнала [18], а также другими методами.

В некоторых работах [19, 20], посвященных проблемам негауссовости, исследуется симметрия в данных карты ILC. Так, в работе [19] анализируется хиральность крупномасштабной анизотропии СМВ, включающей четность и нечетность карты, обусловленной возможным подавлением четных гармоник. В ней обсуждается “видимость” нечетности карты и делается вывод, что обнаруживаемая ось симметрии обусловлена положительным (четным) зеркальным отражением. Авторы [20] исследовали две схожие области на карте, положение которых почти центрально симметрично и определяется пятнами октуполя. Подобная симметрия негауссова и авторы обсуждают возможные

\*E-mail: dair-targ@inbox.ru

\*\*E-mail: yarnaid@mail.ru

\*\*\*E-mail: vo@sao.ru

<sup>1</sup><http://lambda.gsfc.nasa.gov>

объяснения эффекта с помощью нетривиальной пространственной топологии.

Ранее мы также проверяли достоверность визуальных эффектов в карте ILC [21], исследуя проявление симметричных структур в зависимости от уровня шума, добавляемого к карте нечетных гармоник. Как уже упоминалось в работе [19], канал V в данных WMAP содержит наиболее сильный сигнал реликтового фона относительно фоновых компонент излучения Галактики. При разделении гармоник на четные и нечетные (четность определяется четностью суммы номера мультиполя и его моды:  $\ell + m$ ) большая часть галактического фона попадает в четные гармоники в силу четности дипольной компоненты нашей Галактики. В нечетных гармониках прослеживается фоновое излучение. Сказанное демонстрируется Рис. 1.

Кроме того, были смоделированы шумовые карты с целью определения уровня шума, при котором симметрия перестает выделяться визуально. Как было ранее продемонстрировано [21], добавление шумового сигнала на уровне 70% от основного, определяемого случайными гауссовыми возмущениями в  $\Lambda$ CDM-космологии, к чистому антисимметричному сигналу<sup>2</sup>, задаваемому только нечетными гармониками, “замывает” визуально выделяемый сигнал (Рис. 2), в то время как при более низком уровне добавляемого шума антисимметрии обнаруживаются. Уровень корреляции карт в зависимости от вклада шума показан на Рис. 3.

## 2. АНТИСИММЕТРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭКВАТОРА

Напомним, что для исследования карт используется их разложение по сферическим гармоникам (мультиполям):

$$\Delta T(\theta, \phi) = \sum_{\ell=2}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi). \quad (1)$$

Здесь  $\Delta T(\theta, \phi)$  — вариации температуры фона в полярных координатах,  $\ell$  — номер мультиполя,  $m$  — номер моды мультиполя.

$$Y_{\ell m}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{(2\ell + 1)(\ell - m)!}{4\pi(\ell + m)!}} P_{\ell}^m(x) e^{im\phi}, \quad (2)$$

$$x = \cos \theta,$$

<sup>2</sup>Мы называем сигнал антисимметричным, когда он при отображении север-юг относительно экватора меняет знак на противоположный.

где  $P_{\ell}^m(x)$  — присоединенные полиномы Лежандра. Для непрерывной функции  $\Delta T(x, \phi)$  коэффициенты разложения  $a_{\ell m}$  выражаются как

$$a_{\ell m} = \int_{-1}^1 dx \int_0^{2\pi} \Delta T(x, \phi) Y_{\ell m}^*(x, \phi) d\phi, \quad (3)$$

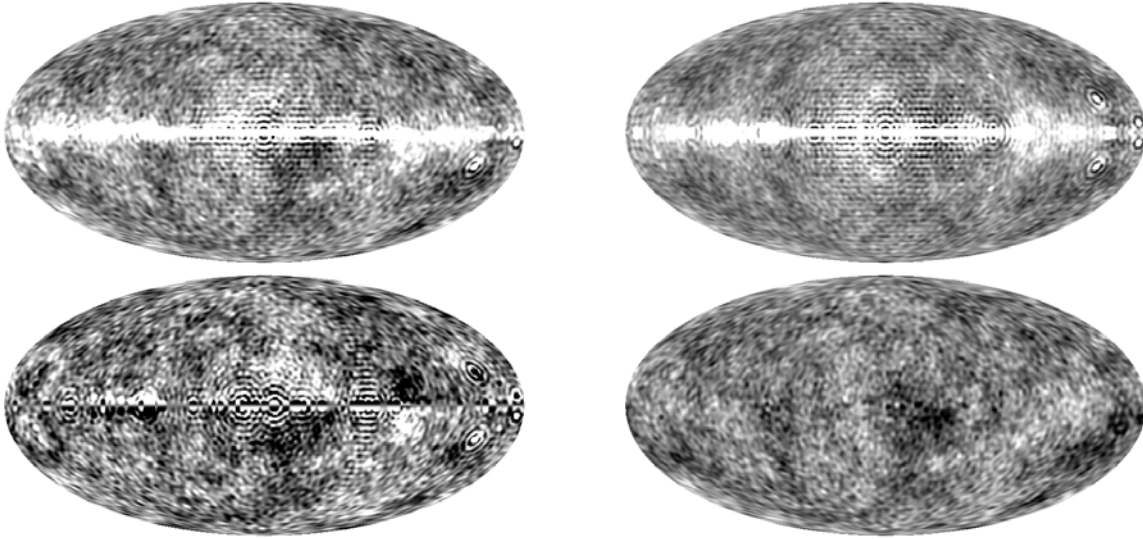
где  $Y_{\ell m}^*$  обозначает комплексное сопряжение  $Y_{\ell m}$ .

Используя карту нечетных мультиполей, можно выделить антисимметричные области, т.е. такие, которые расположены симметрично относительно галактического экватора, но имеют противоположное поведение сигнала. Наличие подобных зон в карте ILC обсуждалось в [22, 23]. Здесь мы проводим статистический анализ сигнала на выбранных площадках. Сначала обратим внимание, что визуальное сравнение распределения сигнала нечетных гармоник и карты ILC позволяет обнаружить на этой карте такие же зоны. На Рис. 4 указаны отобранные площадки. Необходимо заметить, что, кроме галактической системы координат, другой выделенной сеткой является эклиптическая система координат, которая проявляется в данных WMAP, в частности, в распределении шума. В этой системе координат (СК) мы также визуально выделили несколько зон (Рис. 4), характеристики которых тоже будут проверены. Сразу следует сказать, что выделение антисимметричных зон достаточно условно, так как их форма и положение определяются в первую очередь визуально. Тем не менее, проверка их существования — один из тестов гауссовости данных реликтового излучения, чем бы их происхождение не определялось. Итак, на карте микроволнового фона мы выбрали визуально в галактической системе координат 7 пар зон, а в эклиптической — 11 пар (Таблицы 1 и 2).

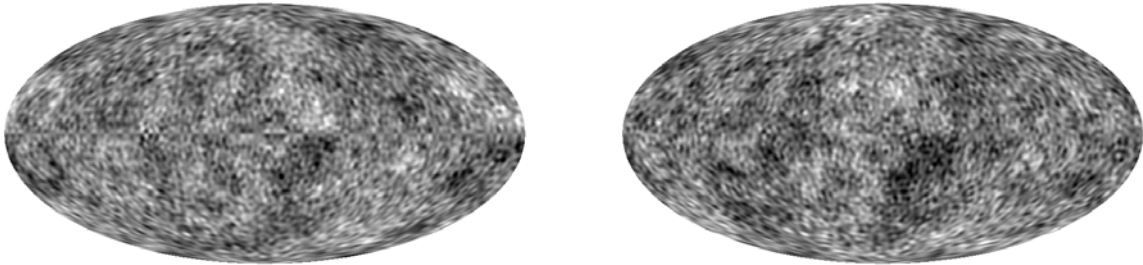
В данной работе мы проводим статистическое исследование гармоник, которые определяют свойства выбранных зон. Предлагаемая методика может быть применена также для анализа гауссовости карт реликтового излучения на полной сфере.

### 2.1. Статистический анализ гармоник в выделенных зонах СМВ

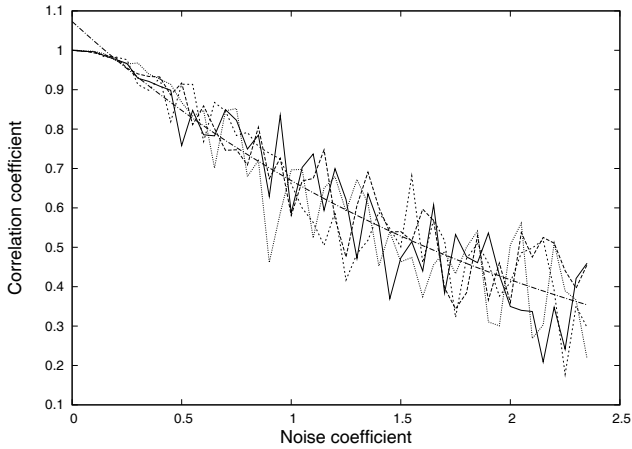
В стандартном разложении (1) сигнал в каждом пикселе карты определяется суммой всех гармоник. Выделяя зоны фиксированного размера, мы ограничиваем вклад низких гармоник и усиливаем вклад высоких коррелированных мультиполей. Вычитая определенные гармоники, удается выделить основные мультиполи разложения и определить гармонические корреляционные свойства симметричных зон. Используя данный подход, можно исследовать статистические свойства пятен



**Рис. 1.** Слева направо сверху вниз: данные V-канала, карта четных гармоник в этом канале, карта нечетных гармоник, карта ILC. Карты построены для диапазона мультиполей  $\ell \leq 100$ . Уровни яркости соответствуют диапазону изменения температуры фона:  $-0.2, 0.2$  мК. В карте нечетных гармоник для увеличения контраста уровень задан как  $-0.1, 0.1$  мК.



**Рис. 2.** Нечетные гармоники ILC карты (слева) и то же с добавлением шума на уровне 70% (справа).



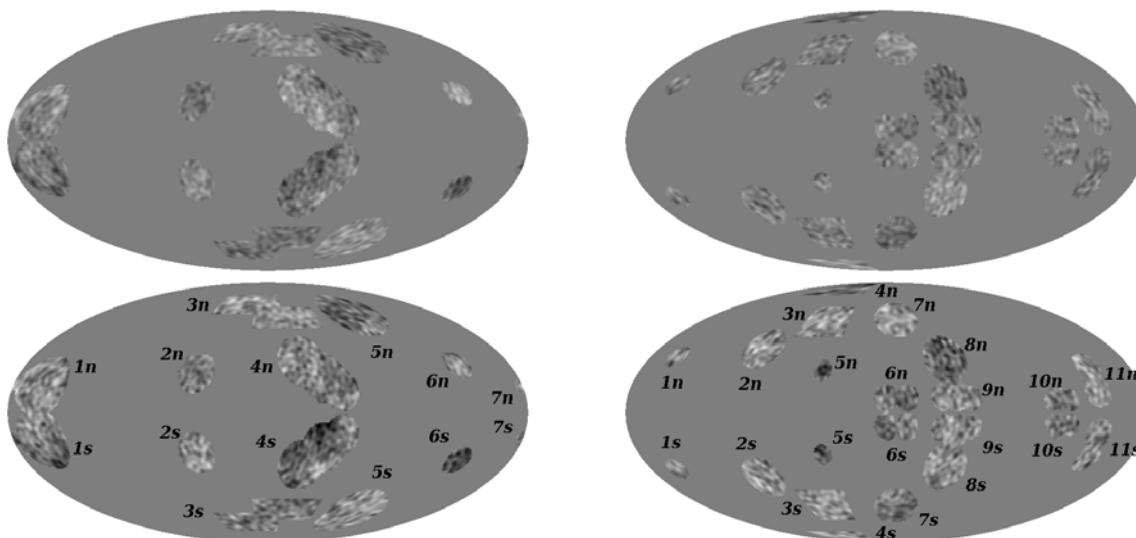
**Рис. 3.** Зависимость коэффициента корреляции от уровня шума. Ломаными линиями показаны корреляционные зависимости для различных генераций шумовых карт. Штрихами обозначена средняя аппроксимационная зависимость в виде  $1.047 \exp(-0.421x)$ , где  $x$  — относительный уровень добавляемого случайного шума.

и уровень значимости их корреляционных (антикорреляционных) свойств. На Рис. 5 (для галактической СК) и 6 (для эклиптической) демонстрируется поведение корреляционного коэффициента  $K_r(p)$ , рассчитанного для  $p$ -ой пары симметрично расположенных областей карты, построенной для суммы гармоник с исключением мультиполя  $\ell = s$ :

$$K_r(p) = \frac{1}{N_p^2} \frac{\sum_{\Omega_{pn}} (T_r(\Omega_{pn}) - \overline{T_r(\Omega_{pn})}) \sum_{\Omega_{ps}} (T_r(\Omega_{ps}) - \overline{T_r(\Omega_{ps})})}{\sigma_{\Omega_{pn}} \sigma_{\Omega_{ps}}}, \quad (4)$$

где  $\Omega_{pn}$  и  $\Omega_{ps}$  — зоны с номером  $p$  в северном и южном полушариях соответственно,  $N_p$  — количество пикселей в этих зонах,  $\sigma_{\Omega_p}$  — дисперсия сигнала в  $p$ -ой площадке,  $T_r(\Omega_p)$  — распределение температуры в зоне с вычтенным вкладом мультиполя  $r$ :

$$T_r(\theta, \phi) = \sum_{\ell=2}^{\ell_{max}} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi) - \sum_{m=-r}^{m=r} a_{r m} Y_{r m}(\theta, \phi). \quad (5)$$



**Рис. 4.** Визуально отобранные зоны на карте в галактической (слева) и эклиптической (справа) системах координат, в которых флуктуации сигнала могут иметь противоположный знак. Верхний ряд: только нечетные гармоники, нижний ряд — данные из полного набора мультиполей карты ILC.

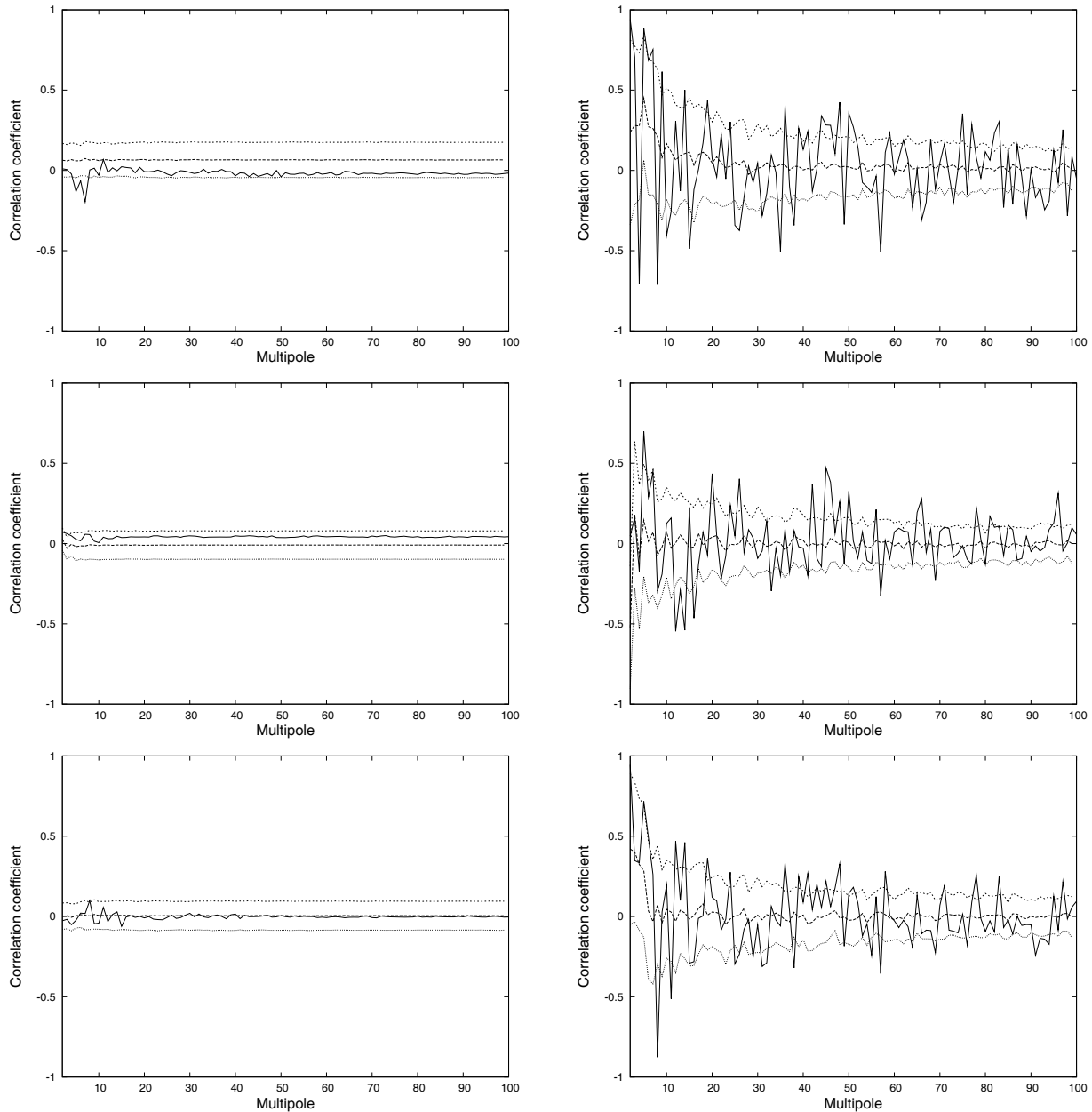
**Таблица 1.** Номера пар зон в галактических координатах, их форма и координаты: “с” – круг (параметры  $lat/-lat$ ,  $lon$ ,  $radius$  соответственно), “r” — прямоугольник (параметры  $lat1/-lat1$ ,  $lon1$ ,  $lat2/-lat2$ ,  $lon2$  соответственно), где  $(lat, lon)$  — галактические широта и долгота и “ $-lat$ ” — широта симметричной зоны. Несколько площадок под одним номером обозначают комбинированную зону.

Пара	Форма	Координаты
1	с	$15^\circ/-15^\circ, 160^\circ, 17^\circ$
2	с	$23^\circ/-23^\circ, 52^\circ, 12^\circ$
3	г	$75^\circ/-75^\circ, 60^\circ, 60^\circ/-60^\circ, -15d$
	г	$65^\circ/-65^\circ, 15^\circ, 50^\circ/-50^\circ, -50d$
4	с	$30^\circ/-30^\circ, -25^\circ, 15^\circ$
	с	$20^\circ/-20^\circ, -40^\circ, 15^\circ$
	с	$13^\circ/-13^\circ, -52^\circ, 12^\circ$
5	с	$60^\circ/-60^\circ, -90^\circ, 15^\circ$
6	с	$27^\circ/-27^\circ, -141^\circ, 8^\circ$
7	с	$15^\circ/-15^\circ, -179^\circ, 4^\circ$

В данной работе мы ограничивались разрешением карты ILC на уровне  $l_{max} = 100$ . Таким образом, пробегаая весь цикл  $r = 2, l_{max}$ , мы рассчитываем соответствующую корреляцию.

**Таблица 2.** Номера пар зон в эклиптической системе координат. Обозначения такие же как в Таблице 1. Несколько площадок под одним номером обозначают комбинированную зону.

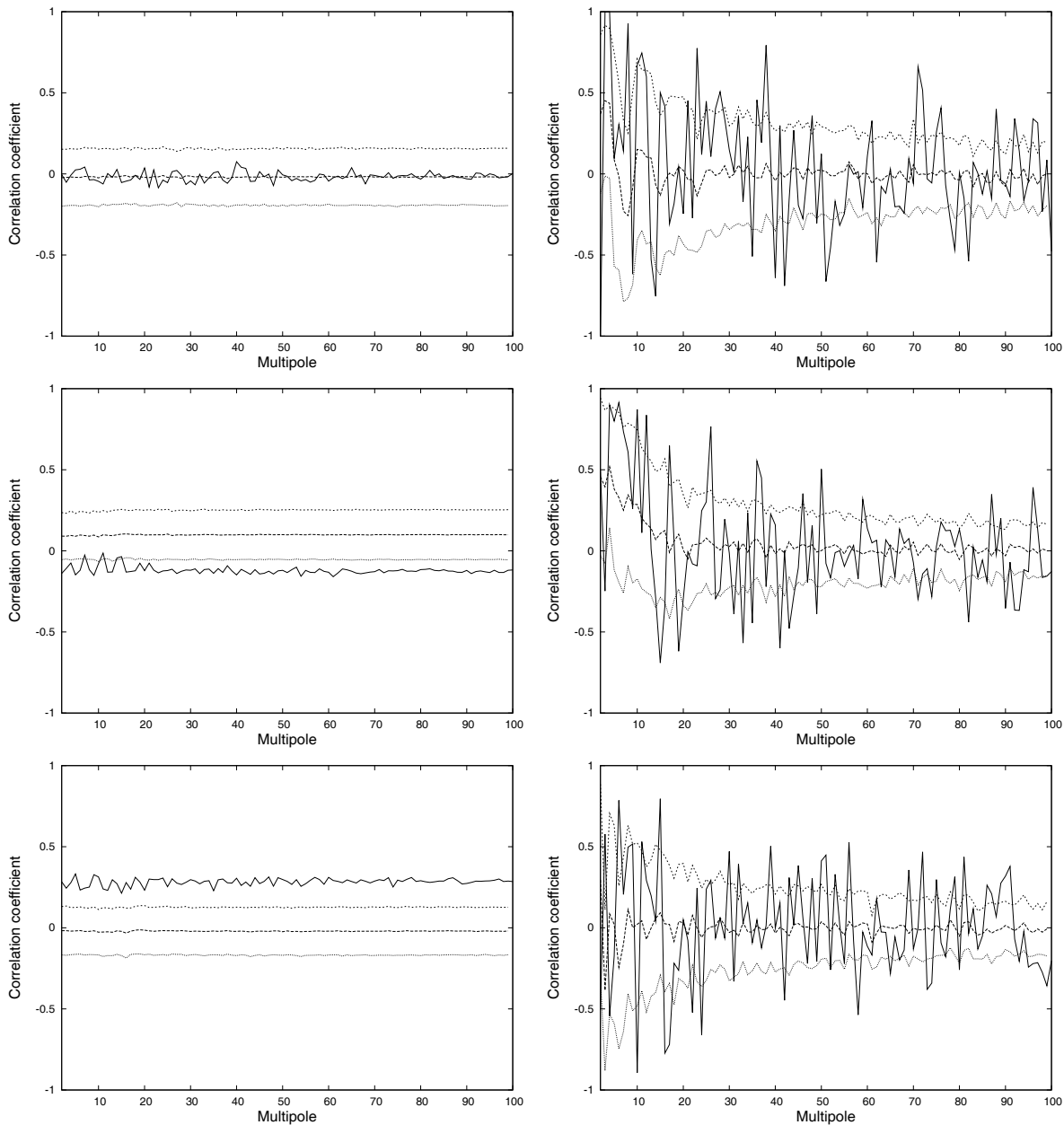
Пара	Форма	Координаты
1	с	$32^\circ/-32^\circ, 160^\circ, 6^\circ$
2	с	$37^\circ/-37^\circ, 97^\circ, 12^\circ$
3	г	$65^\circ/-65^\circ, 78^\circ, 45^\circ/-45^\circ, 37^\circ$
4	г	$89^\circ/-89^\circ, 135^\circ, 75^\circ/-75^\circ, 40^\circ$
5	с	$24^\circ/-24^\circ, 46^\circ, 6^\circ$
6	с	$8^\circ/-8^\circ, 0^\circ, 8^\circ$
	с	$8^\circ/-8^\circ, -15^\circ, 8^\circ$
7	с	$56^\circ/-56^\circ, -10^\circ, 12^\circ$
8	с	$31^\circ/-31^\circ, -45^\circ, 14^\circ$
9	с	$9^\circ/-9^\circ, -40^\circ, 8^\circ$
	с	$10^\circ/-10^\circ, -50^\circ, 9^\circ$
	с	$8^\circ/-8^\circ, -60^\circ, 7^\circ$
10	с	$6^\circ/-6^\circ, -115^\circ, 5^\circ$
	с	$8^\circ/-8^\circ, -120^\circ, 7^\circ$
	с	$7^\circ/-7^\circ, -129^\circ, 6^\circ$
11	с	$26^\circ/-26^\circ, -149^\circ, 8^\circ$
	с	$12^\circ/-12^\circ, -149^\circ, 9^\circ$



**Рис. 5.** Корреляционные коэффициенты пар симметричных зон в галактической системе координат (в данном примере — с номерами 1, 3, 4 — сверху вниз), рассчитанные для карт (1) с одним удаленным мультиполем (левый столбец), для карт (2) только с одним мультиполем (правый столбец). Номера соответствующих мультиполей отложены по оси абсцисс. Штриховыми линиями показаны среднее и границы вариаций коэффициентов на уровне  $1\sigma$  для аналогичных моделированных данных в  $\Lambda$ CDM-космологии.

Для оценки допустимого интервала разброса корреляционных коэффициентов, мы сгенерировали 100 случайных карт, соответствующих гауссовым возмущениям плотности в  $\Lambda$ CDM-космологии [7], используя процедуры пакета GLESP [24, 25]. На Рис. 5 и 6,  $1\sigma$ -уровень отклонений от среднего, рассчитанный для случайных флуктуаций, показан пунктирной линией. Сплошная линия демонстрирует зависимость коэффициента корреляции от номера вычитаемого мультиполя для реальных

данных. Кроме того, на тех же рисунках показано поведение корреляции зон, рассчитанной для одиночного мультиполя. При исследовании полученных зависимостей среди выделенных площадок обращает на себя внимание зона 1, отмеченная в галактической системе координат. Ее особенность состоит в том, что при удалении из карты определенных мультиполей ( $\ell = 5, 6, 7$ ), антикорреляция симметричных площадок возрастает и достигает уровня  $2\sigma$ , что уже является

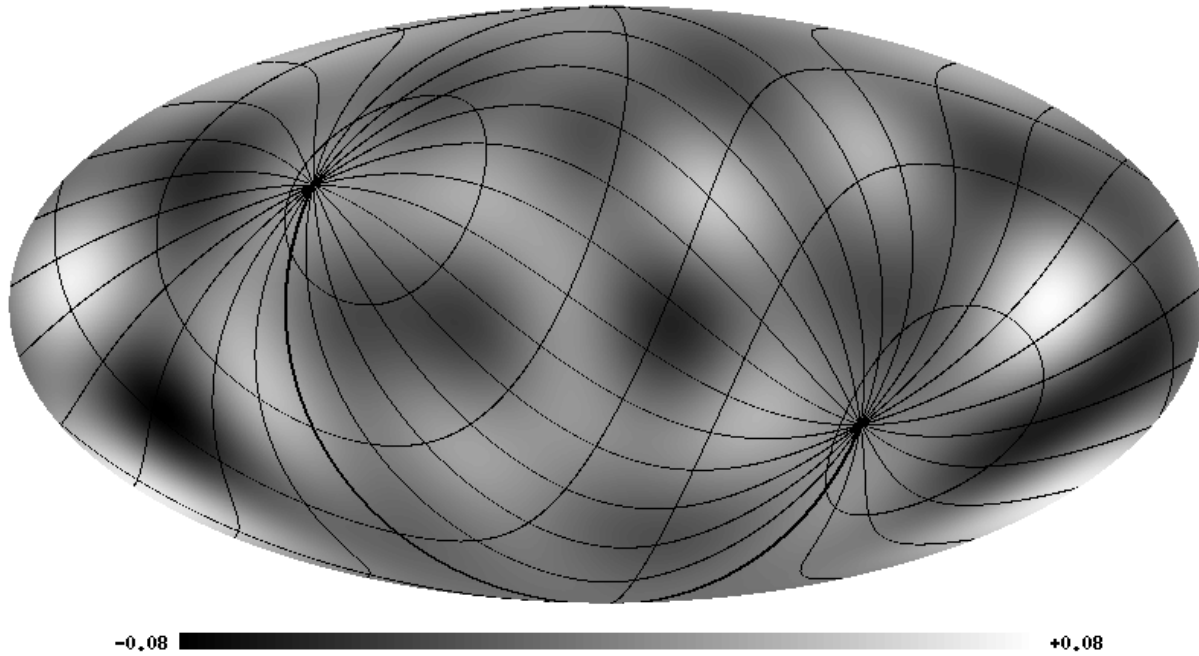


**Рис. 6.** Корреляционные коэффициенты пар симметричных зон в эклиптической системе координат (в данном примере с номерами 5, 6, 7 — сверху вниз), рассчитанные для карт (1) с одним удаленным мультиполом (левый столбец), карт (2) только с одним мультиполом (правый столбец). Номера соответствующих мультиполей отложены по оси абсцисс. Штриховыми линиями показаны среднее и границы вариаций коэффициентов на уровне  $1\sigma$  для аналогичных моделированных данных в  $\Lambda$ CDM-космологии.

существенным показателем антисимметричности (и, как следствие, негауссовости) этих зон. Эти гармоники, подавляющие корреляции, сформированы сигналом из эклиптической плоскости (Рис. 7). Корреляции отмеченных зон в отдельных гармониках позволяют выявить угловые масштабы симметричного сигнала, дающего максимальный вклад в исследуемые площадки (правая колонка на Рис. 5). Интересно, что в симметричных зонах

наблюдается вклад низких ( $\ell < 20$ ) нечетных гармоник.

В площадках, выделенных аналогичным образом в эклиптической системе координат, обнаруживаются особенности, не наблюдаемые в симметричных зонах галактической системы. Так, для некоторых областей в пятнах присутствует слабый коррелированный сигнал, почти не зависящий от удаляемых мультиполей (см. Рис. 6, зоны 6 и 7). Несмотря на противоположный знак в зонах 7 и



**Рис. 7.** Карта мультиполей  $\ell=5, 6$  и  $7$  из данных CMB ILC в галактической СК. На изображение наложена координатная сетка эклиптической системы.

эклиптической системе, коррелированный сигнал является положительным, что говорит о разных уровнях фона у этой пары областей карты.

Развитием предложенного метода является переход от выделения одного мультиполя  $\ell = r$  к диапазону  $\ell \in [r_0, r_0 + \Delta r]$ :

$$T_{r_0}(\theta, \phi) = \sum_{\ell=2}^{\ell_{max}} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi) - \sum_{r_0}^{s_0 + \Delta r} \sum_{m=-r}^{m=r} a_{r m} Y_{r m}(\theta, \phi). \quad (6)$$

Здесь  $r_0$  и  $\Delta r$  — соответственно скользящий начальный мультиполь (например, зависящий от  $r$ ) и величина диапазона. На Рис. 8 приведены результаты вычисления коэффициента корреляции симметричных зон в зависимости от удаленных из карт мультиполей для величины диапазона  $\Delta r = 10$ . Гладкими линиями показаны  $1\sigma$  границы допустимых вариаций корреляции в  $\Lambda$ CDM-модели, полученные по результатам 100 случайных реализаций гауссова процесса.

Данный подход позволяет исследовать поведение комбинации гармоник и их вклада в корреляционные свойства. Отметим сравнительно высокое отклонение статистики сигнала от ожидаемых гауссовых свойств в зонах 1, 2, 5 и 6. В зоне 1 при выделении набора гармоник основная доля корреляционного сигнала при  $\ell \leq 60$  находится вне ожидаемого диапазона гауссовости.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

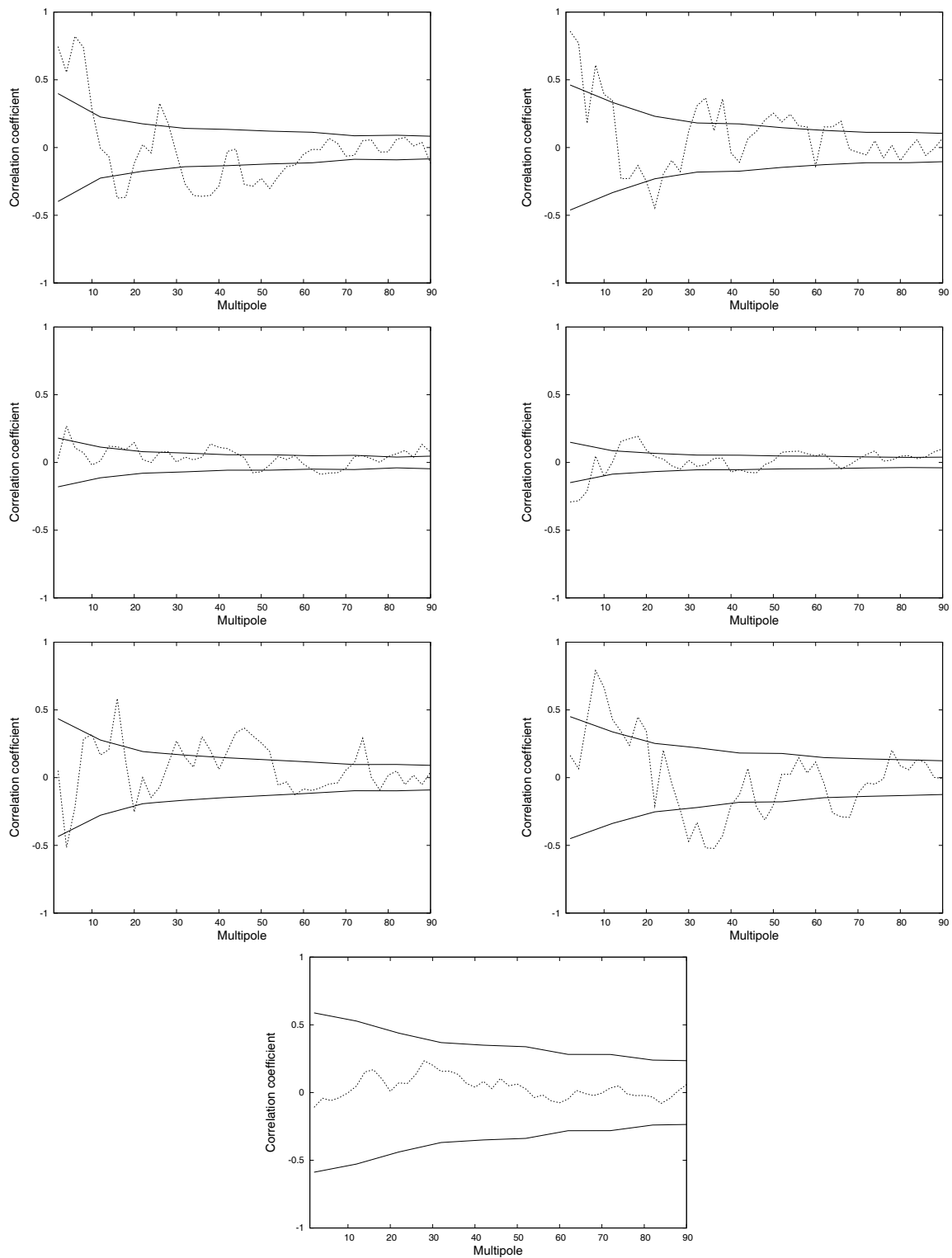
Предложен тест для проверки гауссовости фонового сигнала в зонах, симметрично расположенных относительно экватора. В основе подхода лежит проверка распределения корреляционных коэффициентов в зависимости от выделяемого мультиполя или набора мультиполей.

В галактической и эклиптической системах координат выделены симметричные относительно экватора зоны и исследованы на наличие в них антисимметричного сигнала. В нескольких зонах карты ILC в распределении корреляционных коэффициентов обнаружены негауссовы свойства, выраженные в существовании корреляции площадок для ряда гармоник. Приведены координаты этих зон. Симметричные свойства зон относительно экватора предполагают их объяснение возможными эффектами разделения компонент в процедуре чистки CMB и построения карты ILC. Также представляет интерес наличие фоновой корреляции в ряде зон, выделенных в эклиптической системе координат.

Предложенная методика может быть использована для исследования статистических свойств карт и поиска негауссовых зон в данных миссии Planck Европейского космического агентства.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность за возможность использования доступного архива NASA (NASA Legacy Archive), откуда были взяты



**Рис. 8.** Корреляционные коэффициенты для семи пар зон (нумерация справа налево и сверху вниз) в галактической системе координат. Зоны выделены в картах, построенных по данным ILC с удалением диапазона мультиполей  $\Delta r = 10$ . Положение начала диапазона задается номером по оси абсцисс.



данные WMAP. Мы также признательны за использование пакета HEALPix<sup>3</sup> [26], с помощью которого были преобразованы карты WMAP в коэффициенты  $a_{\ell m}$ . В работе использован пакет GLESP<sup>4</sup> второй версии [27] для дальнейшего анализа данных СМВ на сфере. Работа частично поддержана грантом РФФИ № 09-07-00159. О.В.В. благодарит за частичную поддержку Фонд Содействия Отечественной Науке (программа “Молодые доктора РАН”) и Фонд “Династия”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 1 (2003), astro-ph/0302207.
2. C. L. Bennett, R. S. Hill, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 97 (2003), astro-ph/0302208.
3. D. N. Spergel, L. Verde, H. V. Peiris, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 175 (2003), astro-ph/0302209.
4. G. Hinshaw, D. N. Spergel, L. Verde, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **170**, 288 (2007), astro-ph/0603451.
5. D. N. Spergel et al., *Astrophys. J. Suppl.* **170**, 377 (2007), astro-ph/0603449.
6. G. Hinshaw, J. L. Weiland, R. S. Hill, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 225 (2009), arXiv:0803.0732.
7. E. Komatsu, J. Dunkley, M. R. Nolta, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 330 (2009), arXiv:0803.0547.
8. L.-Y. Chiang, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, and M. J. Way, *Astrophys. J.* **590**, L65 (2003), astro-ph/0303643.
9. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich, and O. V. Verkhodanov, *Astrophys. J.* **599**, L53 (2003), astro-ph/0310542.
10. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich, and O. V. Verkhodanov, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **349**, 695 (2004), astro-ph/0310601.
11. P. D. Naselsky and O. V. Verkhodanov, *Int. J. Mod. Phys. D.* **17**, 179 (2008), astro-ph/0609409.
12. P. D. Naselsky and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **62**, 203 (2007).
13. P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, and M. T. B. Nielsen, *Astrophysical Bulletin* **63**, 216 (2008), arXiv:0707.1484.
14. P. Coles, P. Dineen, J. Earl, and D. Wright, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **350**, 989 (2004).
15. H. K. Eriksen, D. I. Novikov, P. B. Lilje, et al. *Astrophys. J.* **612**, 64 (2004).
16. J. D. McEwen, M. P. Hobson, A. N. Lasenby, and D. J. Mortlock, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **359**, 1583 (2005).
17. R. Tojeiro, P. G. Castro, A. F. Heavens, and S. Gupta, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **365**, 265 (2006).
18. F. K. Hansen, P. Cabella, D. Marinucci, and N. Vittorio, *Astrophys. J.* **607**, L67 (2004).
19. K. Land and J. Magueijo, *Phys. Rev. D* **72**, 101302 (2005), arXiv:astro-ph/0507289.
20. V. G. Gurzadyan, A. A. Starobinsky, A. L. Kashin, et al., *Mod. Phys. Lett. A* **22**, 2955 (2007), arXiv:0709.0886.
21. Ya. V. Naiden, V. S. Berkutov, and O. V. Verkhodanov, in *Actual problems of extragalactic astronomy*, XXVI Conf. Abstr. book, (Puschino, PRAO AstroSpace Center Phys. Lebedev Inst., 2009) p. 20.
22. O. V. Verkhodanov, P. D. Naselsky, L.-Y. Chiang, et al., in *Particles and Cosmology*, Proc. 14th Internat. School, Ed. by S. V. Demidov, V. A. Matveev, and V. A. Rubakov, (Inst. Nucl. Phys., 2008) p. 119.
23. O. V. Verkhodanov, in *Practical Cosmology, V.II*, Proc. Internat. Conf. “Problems of Practical Cosmology”, Ed. by Yu. Baryshev, I. N. Taganov, and P. Teerikorpi, (St.Petersburg, Russian Geograph. Soc., 2008), p. 206.
24. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Int. J. Mod. Phys. D* **14**, 275 (2003), astro-ph/0305537.
25. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).
26. K. Górski, E. Hivon, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
27. A. G. Doroshkevich, O. B. Verkhodanov, O. P. Naselsky, et al., arXiv0904.2517 (2009).

<sup>3</sup><http://www.eso.org/science/healpix/>

<sup>4</sup><http://www.glesp.nbi.dk>

## AXIAL SYMMETRIES IN WMAP ILC DATA

V.S. Berkutov, Ya.V. Naiden, O.V. Verkhodanov

A test of the Gaussianity of the background signal in the zones located symmetrically with respect to the Galactic equator is proposed. The test is based on the analysis of the dominating harmonics in symmetric zones and the distribution of the correlation coefficients as a function of the number of selected multipole. Zones located symmetrically in the Galactic and ecliptical coordinate systems are chosen and analyzed for the presence of an antisymmetric signal. Nongaussian properties are found in the distribution of the correlation coefficients for several zones.

Key words: *radio sources*