

УДК 524.82

ДОЛЖНЫ ЛИ МЫ ИСПРАВИТЬ КВАДРУПОЛЬ В КАРТЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ WMAP?

© 2007 П. Д. Насельский^{1*}, О. В. Верхованов^{2**}¹ Южный Федеральный государственный университет, Ростов-на-Дону, Россия² Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 18 декабря 2006; принята в печать 17 января 2007

В работе исследуется проблема высокой корреляции квадрупольного реликтового излучения с квадрупольными фоновыми компонентами. Проанализирована причина этого явления и показано, что в методе анализа данных, применяемом командой миссии WMAP и называемом внутренней линейной комбинацией ILC, высокая корреляция накопленных трехлетних данных сигнала реликтового излучения (ILC(III)) и мешающих фоновых компонент определяется знаком в моде $m = 0$ квадрупольного излучения. Мы проанализировали по методу Монте Карло 10^4 вариантов моделей реликтового излучения и его восстановления по методу ILC, представленных Эриксоном и др. [1], и показали, что для 50% реализаций квадрупольного реликтового излучения моды $m = 0$ со знаком, эквивалентным знаку фоновой компоненты, квадрупольные исходные и восстановленные карты имеют противоположные знаки. Сохраняя спектр мощности для квадрупольного WMAP ILC(III) и изменяя знак моды $m = 0$ для ILC(III), мы получаем коэффициент корреляции $|K(\ell = 2)| < 10\%$, что уменьшает уровень кросс-корреляций в 5–6 раз. Мы используем мультипольные векторы для перенормировки квадрупольного ILC(III) и показываем, что эти векторы очень чувствительны к знаку и амплитуде моды $m = 0$.

1. ВВЕДЕНИЕ

Миссия WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) посвящена исследованию реликтового излучения СМВ (cosmic microwave background) и проводится на спутнике с одноименным названием, обращающемся вокруг точки Лагранжа L2 и измеряющем распределение температуры микроволнового фона на небесной сфере. К настоящему времени команда WMAP предоставила для астрономического сообщества исходные данные и результаты анализа годичного и трехгодичного циклов измерения температуры СМВ [2–6]. Для восстановления сигнала СМВ из многочастотных наблюдений в этих работах применялся метод внутренней линейной комбинации ILC (Internal Linear Combination), в результате которого была получена карта реликтового излучения, называемая также картой ILC и используемая для анализа низких гармоник с номерами мультиполей $\ell \leq 100$. Среди требующих объяснения загадок карты — нетривиальное поведение квадрупольного компонента, гармоники с номером $\ell = 2$, о чем и пойдет речь в данной работе. Проблеме квадрупольной карты СМВ сейчас уделяется очень серьезное внимание (см. обзоры [7–10]). Две важных особенности квадрупольной карты

ILC реликтового излучения широко обсуждаются в современной литературе. Первая из них — низкая мощность сигнала квадрупольного СМВ, полученного командой WMAP [1, 7, 8, 11–14].

Недавно Хаян [15] указал, что основная часть мощности квадрупольного и октупольного ILC обусловлена излучением двух областей около галактической плоскости, покрывающих всего 9% неба. Одна из них — холодное пятно в окрестности галактического центра, а вторая — горячее пятно в направлении туманности Гам¹). Этот факт может быть объяснен или как случайное событие в первичном сигнале СМВ [15], или как серьезный аргумент в пользу вклада в ILC-карту галактических фоновых компонент [13, 16, 17].

Другая особенность квадрупольного излучения — выравнивание плоскостей квадрупольного и октупольного ILC трехлетнего массива данных (далее ILC(III)) [9, 10, 18, 19]. Эта особенность широко обсуждалась в свете первичной статистической анизотропии Вселенной, сходной с индуцированной анизотропией в космологических моделях Bianchi VIIh [20–24]. Тем не менее, Группусо и др. [25] упоминали, что обе эти особенности могут быть результатом “проникновения” кинематического диполя через далекие

*E-mail: naselsky@nbi.dk

**E-mail: vo@sao.ru

¹Gum Nebula — по имени австралийского астронома: Colin Stanley Gum

лепестки диаграммы направленности, и отметили важность систематических эффектов.

В этой заметке мы бы хотели показать, что реальный квадруполь СМВ мог иметь компоненту $Q_{2,0}$ со знаком, противоположным знаку ILC(III) $Q_{2,0}$. Эта особенность имеет отношение к невязкам, возникающим при разделении СМВ и фоновых компонент, и, в частности, из-за результатов кросс-корреляции СМВ—сигнала в карте ILC (III) и фоновых компонент. Сначала мы покажем, что при оценке кросс-корреляции “СМВ—фоновые компоненты” соответствующий коэффициент $K^{(j)}(\ell)$, определяемый в мультипольном пространстве, как описано в Разделе 2, показывает замечательно высокий уровень корреляции между низкими мультиполями ($\ell \leq 10$) из ILC(III) и фоновыми компонентами в тех же мультиполях.

В Разделе 3 мы покажем, что эффект изменения знака у нулевой моды квадруполя является общей особенностью лагранжевого метода ILC (LILC), для чего используем метод Монте Карло при анализе данных 10^4 моделей СМВ и регистрируемого сигнала в каналах, а также при разделении реликтового излучения и мешающих фоновых компонент [1]. Т.к. ILC(III)-квадруполь и LILC-квадруполь в точности одно и то же, мы используем этот метод для анализа пекулярностей в полученном сигнале СМВ.

Далее мы покажем, что с вероятностью около 0.44 компонента $Q_{2,0}$ квадруполя ILC(III) изменит знак, если мы попытаемся сохранить мощность квадруполя ILC(III) на уровне сигнала WMAP.

И, наконец, в заключение мы обсудим возможные последствия эффекта изменения знака моды $m = 0$.

2. КРОСС-КОРРЕЛЯЦИЯ “ILC—ФОНОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ”

Кратко напомним идеологию метода ILC, используемого для исследования анизотропии СМВ на основе экспериментальных данных $T(\theta_j, \phi_j, \nu_k)$, полученных для набора частот ν_1, ν_2, \dots . Здесь θ и ϕ — стандартные полярный и азимутальный углы в галактической системе координат, а индекс j — номер пиксела на сфере. Идея метода ILC состоит в том, чтобы скомбинировать все частотные (ν_k) карты в одну c_p с использованием вещественных взвешивающих коэффициентов w_j с дополнительными ограничениями $\sum_k w_k = 1$ и $Var(c_j) \rightarrow \min(w_k)$:

$$c_p = T(\theta_j, \phi_p, \nu_k) - \sum_{i=1}^{J-1} w_p (T(\theta_p, \phi_p, \nu_k) - T(\theta_p, \phi_p, \nu_i)),$$

$$Var(c_p) = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{p \in \mathfrak{R}} [c_p - \langle c_p \rangle]^2, \quad \frac{\delta Var(c_p)}{\delta w_j} = 0. \quad (1)$$

Здесь N_{tot} — полное число пикселов, включенных в область \mathfrak{R} , где происходит осреднение $\langle c_p \rangle$ по N_{tot} пикселям, J — полное число частотных полос²⁾.

Так как сигнал СМВ является частотно независимым, каждый пиксел карты для каждой частоты содержит комбинацию сигнала СМВ и фоновых компонент: $T(\theta_j, \phi_p, \nu_k) = c_p^{sky} + F_p^{(j)}$. Таким образом, если мы верим, что СМВ и фоновые компоненты статистически независимы, то

$$\langle Cov(c_p^{sky} \sum_{i=1}^J w_i F_p^{(i)}) \rangle \equiv \langle \sum_{i=1}^J w_i Cov(c_p^{sky} F_p^{(i)}) \rangle = 0, \quad (2)$$

где по определению выражение ‘ $\langle \dots \rangle$ ’ означает осреднение статистического ансамбля реализаций СМВ. К несчастью, в реальности мы имеем дело с единственной реализацией СМВ на небе, и настоящий вариант метода ILC просто игнорирует этот очень важный факт, основываясь на предположении эргодичности сигнала, когда осреднение реализаций эквивалентно осреднению в области \mathfrak{R} . Это предположение корректно, когда соответствующие угловые масштабы сигнала очень малы в сравнении с размером карты. Но для больших масштабов сигнала СМВ (низкие мультиполи, включая и квадрупольную, и октупольную компоненты) мы легко можем получить для одной единственной реализации $\langle Cov(c_p^{sky} F_p^{(i)}) \rangle \neq 0$, в то время как при осреднении по ансамблю эта кросс-корреляция исчезает. Посмотрим на кросс-корреляции между полученными командой WMAP картами ILC и фоновыми компонентами, скомбинированными для каждой частотной полосы из синхротронного и свободно-свободного излучений, а также излучения пыли. Мы ожидаем, что кросс-корреляционная

²⁾Заметим, что этот метод применялся командой WMAP для 12 разъединенных областей карты для полос K–W. Поэтому соответствующий спектр мощности определялся для каждой области (см. также [1, 26]).

функция, определяемая для каждого пиксела как

$$Cov = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{p \in \mathbb{R}} c_p F_p^j, \quad (3)$$

близка к нулю (здесь c_p и $F_p^{(j)}$ — полученные сигналы СМВ и фоновых компонент соответственно для каждого пиксела).

Допустим, что спектр мощности выделенного реликтового излучения был получен с учетом маскированных областей неба, и затем был корректно восстановлен сигнал всего неба. Сигнал в пиксельном пространстве может быть представлен коэффициентами в терминах разложения по сферическим гармоникам стандартным путем:

$$\begin{aligned} & \begin{Bmatrix} c_p \\ F_p^{(j)} \end{Bmatrix} = \\ & = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \begin{Bmatrix} |c_{\ell,m}| \\ |F_{\ell,m}^{(j)}| \end{Bmatrix} \exp \begin{Bmatrix} i\xi_{\ell,m} \\ i\Phi_{\ell,m}^{(j)} \end{Bmatrix} Y_{\ell m}(\theta_p, \varphi_p), \end{aligned} \quad (4)$$

где $|c_{\ell,m}|$, $|F_{\ell,m}^{(j)}|$ — модули, и $\xi_{\ell,m}$, $\Phi_{\ell,m}^{(j)}$ — фазы коэффициентов в разложении. Тогда для всего неба уравнение (3) имеет форму

$$Cov = \sum_{\ell} \frac{2\ell + 1}{8\pi} \times \sum_{m=-\ell}^{\ell} \left(c_{\ell,m} (F^*)_{\ell,m}^{(j)} + (c^*)_{\ell,m} F_{\ell,m}^{(j)} \right), \quad (5)$$

где ‘*’ означает комплексное сопряжение. Определим нормировочный коэффициент кросс-корреляции между мультиполями СМВ и фоновыми компонентами как

$$K(\ell)_j = \frac{1}{2} \frac{\sum_{m=-\ell}^{\ell} \left(c_{\ell,m} (F^*)_{\ell,m}^{(j)} + (c^*)_{\ell,m} F_{\ell,m}^{(j)} \right)}{\left[\sum_{m=-\ell}^{\ell} |c_{\ell,m}|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{m=-\ell}^{\ell} |F_{\ell,m}^{(j)}|^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

Тогда из уравнений (5–6) получаем

$$Cov = \sum_{\ell} \frac{2\ell + 1}{4\pi} K_j(\ell) \times \left[\sum_{m=-\ell}^{\ell} |c_{\ell,m}|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times \left[\sum_{m=-\ell}^{\ell} |F_{\ell,m}^{(j)}|^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Важно отметить, что уравнение $Cov = 0$ может иметь 2 решения. Первое соответствует нулевому коэффициенту кросс-корреляции для каждого мультиполя $K_j(\ell) = 0$. Этот режим прямо отражает интуитивное предположение, что для случайного гауссова процесса, которым по нашей гипотезе является СМВ, каждый мультиполь имеет нулевую или очень малую корреляцию с соответствующим мультиполем фоновых компонент. Второе решение воспроизводит статистическую независимость СМВ и фоновых компонент “в среднем” (см. уравнение 7), когда среднее всех мультиполей ℓ и вариация знака и амплитуды случайной величины $K_j(\ell)$ удовлетворяют условию $Cov = 0$. Так как гауссова статистика — это “рабочий метод” для анализа низких мультиполей ИЛС, то теоретически естественно было бы использовать критерий $K_j(\ell) = 0$ как метод оценки кросс-корреляций “ИЛС— фоновые компоненты”. Тем не менее, ни один из этих режимов не представлен в наблюдательных данных. В следующем разделе мы проанализируем это утверждение в деталях. Чтобы продемонстрировать критерий $K_j(\ell) = 0$, используем 10000 реализаций случайных гауссовых СМВ-сигналов, полученных Эриксоном и др. [1]. Далее мы будем называть эти реализации входными картами. Эриксен и др. [1] скомбинировали каждую из этих карт с фоновыми данными и с модельным инструментальным шумом в искусственных картах, чтобы воспроизвести свойства реального сигнала WMAP. Затем они провели разделение по методу LILC сигнала СМВ и фоновых компонент и шума, используя 12 отдельных областей неба, и получили 10000 выходных карт восстановленного сигнала СМВ.

Прежде всего обсудим статистические свойства $K_j(\ell)$ для гауссова входного сигнала, вычислим кросс-корреляцию всех фоновых компонент Кa—W с 10000 входными картами СМВ для квадруполья. На рис.1 мы приводим в виде гистограммы число событий P в зависимости от аргумента $K_j(\ell)$. По определению, эта гистограмма воспроизводит функцию плотности вероятности для коэффициента кросс-корреляции внутри интервала $K \div K + \delta K$. Распределение аппроксимируется функцией $P(K) = A(1 - K^2)$, где A — нормировочный множитель. Используя $P(K)$, показанный на рис.1 слева, мы нашли первый $\langle K \rangle = -0.00043$ и второй $\langle K^2 \rangle = 0.19934$ моменты для $P(K)$. Затем, используя выходные карты, мы провели такой же анализ (рис.1 (справа)). На этом рисунке можно видеть, что функция распределения значительно сдвинута ($\langle K \rangle \simeq -0.254$) с дисперсией $\sigma^2 = \langle K^2 \rangle - \langle K \rangle^2 \simeq 0.1454$. Как следует из правой

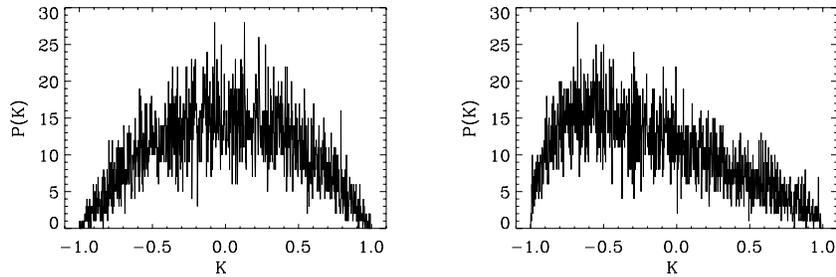


Рис. 1. Функция распределения $P(K)$ для кросс-корреляции между случайными реализациями сигнала СМВ и фоном в полосе V (слева). Правый рисунок показывает кросс-корреляцию между восстановленным по методу LILC сигналом СМВ и фоном в полосе V.

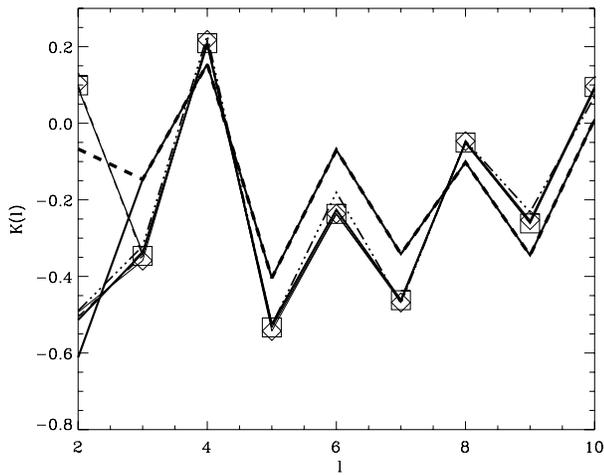


Рис. 2. Коэффициент кросс-корреляции ILC(III) и фоновых компонент для полос K–W. Сплошной тонкой линией показана полоса Ka, пунктирно-штриховой — полоса W. Для коэффициентов Q- и V-полос $K(l)$, показанных ромбиками и квадратиками, нет заметных различий от коэффициента Ka-полосы. Сплошная толстая линия соответствует корреляции ILC(III) и картам Хаслама и др. [27]. Штриховая толстая линия соответствует перенормированной кросс-корреляции карт ILC(III) и Хаслама и др. [27]. Сплошная линия средней толщины показывает перенормированную корреляцию с фонами WMAP.

части рис. 1, метод LILC более вероятно воспроизводит отрицательные корреляции выходных карт с фоновыми компонентами, а не положительные. Более того, мы обнаружили одну дополнительную особенность метода LILC, которая может оказать значительное влияние на решение проблемы квадрупольной ILC(III). А именно, мы рассматриваем 10000 реализаций входных и выходных карт для квадрупольной компоненты $c_{2,0}$, используя метод оценки $S = s_{2,0}^{in} * s_{2,0}^{out}$, где $s_{2,0}^{in,out} = +1$ или -1 для положительного и отрицательного знака компонента $c_{2,0}^{in,out}$ соответственно. Мы нашли, что для

2148 реализаций $sign(S) = -1$. Более того, так как для фонов $s_{2,0}^f = -1$, то практически 43% реализаций, имея на входе $s_{2,0}^{in} = -1$, после применения метода LILC получают $s_{2,0}^{out} = 1$. Заметим, что корректное восстановление этой гармоники $m = 0$ чрезвычайно важно, так как самая большая часть мощности мешающего фона сконцентрирована в Галактической плоскости, а четные компоненты коэффициентов $F_{\ell=2,m}$ имеют амплитуды $|F_{2,0}| \gg \gg |F_{2,2}| > |F_{2,1}|$. Таким образом, спектр мощности фона в каждой полосе определяется в основном компонентой $|F_{2,0}|$ и суммой $\sum_m |F_{2,m}|^2 \simeq |F_{2,0}|^2$. Тогда из уравнения (6) можно получить

$$K(\ell = 2) \simeq \frac{|c_{2,0}|}{\sqrt{\sum_m |c_{2,m}|^2}} \cos(\xi_{2,0} - \Phi_{2,0}) + 2 \frac{|F_{2,2}| |c_{2,2}|}{|F_{2,0}| \sqrt{\sum_m |c_{2,m}|^2}} \cos(\xi_{2,2} - \Phi_{2,2}). \quad (8)$$

Для карты ILC(III) имеем $|c_{2,2}| \gtrsim |c_{2,0}|$ и $\xi_{2,2} - \Phi_{2,2} \simeq 3.65$. Это означает, что второй член в уравнении (8) отрицательный. Теперь абсолютное значение коэффициента кросс-корреляции критически зависит от разности фаз $\xi_{2,0} - \Phi_{2,0} = (0 \text{ или } \pi)$. То есть если первичный СМВ-сигнал имеет отрицательную компоненту $c_{2,0}$, тогда наше предположение о малой корреляции с фоном приемлемо, а метод ILC в комбинации с методом минимальных вариаций MVM (Minimal Variance Method) дает правильную реконструкцию СМВ. Если мода $c_{2,0}$ положительна, то кросс-корреляции с фоном становятся очень высокими и метод MVM не может быть использован. Очевидно, чтобы показать, что $c_{2,0}$ из карты ILC(III) наиболее вероятно является отрицательной, нам надо провести дополнительные тесты, обсуждаемые ниже.

3. КОРРЕКЦИЯ КВАДРУПОЛЯ ILC

Рассмотрим кросс-корреляцию ILC(III) и фонов, являющихся суммами излучений синхротрон-

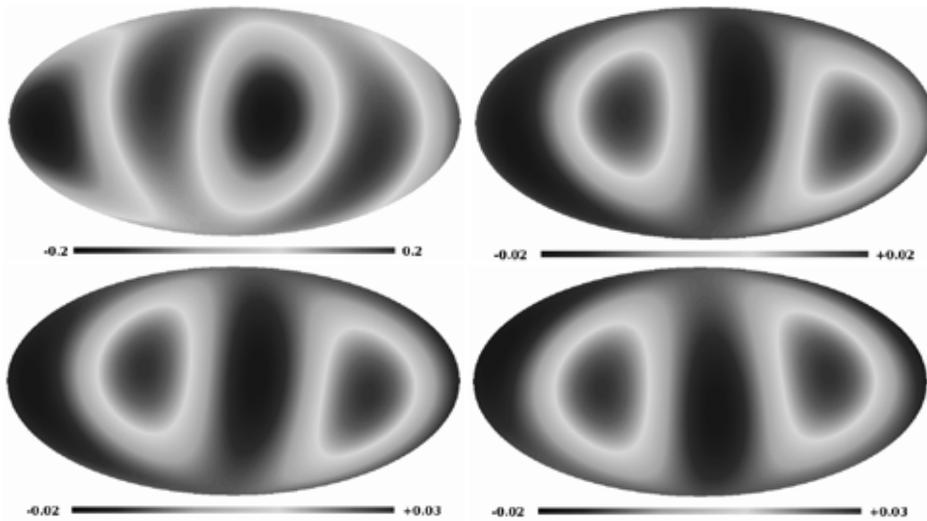


Рис. 3. Карты квадруполь ILC(III) (вверху слева) и модифицированной ILC(III) с отрицательным знаком моды $m = 0$ (вверху справа). Нижние левая и правая карты показывают квадруполь, полученные из пар полос Ka–V и V–W.

ного, свободно–свободного и излучения пыли для каждой из полос K–W.

В дополнение используем разность между полным регистрируемым сигналом и картой ILC(III) [16] для каждой из полос K–W. Если ILC(III) представляет сигнал СМВ корректно, тогда эта разность должна быть очень близка к реальной фоновой компоненте в каждой полосе.

На рис.2 мы изобразили коэффициент кросс-корреляции с фонами в полосах K–W для всех мультиполей $\ell \leq 10$. В дополнение, чтобы показать, что эффект изменения знака при кросс-корреляции с фонами является очень устойчивым по отношению к коррекции фоновых компонент, мы приводим $K(\ell)$ для карты ILC(III) и карты синхротронного излучения Хаслама и др. [27]. Из рис. 2 можно видеть, что форма функции $K(\ell)$ для карт Хаслама и др. [27] подобна форме $K(\ell)$, полученной для фонов Ka–W. Более того, коэффициент $K(\ell = 2)$ — отрицательный и его амплитуда около -0.514 для корреляций ILC(III) с фонами в полосах Ka, Q, V, W, и около -0.612 для корреляции ILC(III)—карта Хаслама и др. [27]. Заметим, что для фонов, определяемых как разность между полным сигналом в каждой полосе и сигналом ILC(III), эти коэффициенты практически одинаковы.

Результат перемены знака для компоненты $c_{2,0}$ в карте ILC(III) и пересчета коэффициента кросс-корреляции показан на рис.2. Для всех фоновых излучений, включая синхротронное по данным Хаслама и др. [27] и скорректированные, $f_{\ell,m} = a_{\ell,m}^{(j)} - c_{\ell,m}$, коэффициент кросс-корреляции для карт Хаслама и др. [27] $K(\ell = 2) \simeq -0.0672$ и $K(\ell = 2) \simeq 0.0919 \div 0.1079$ для полос Ka–W. И

наконец, мы рассмотрели пары Ka–V, V–W сигналов WMAP и провели разделение по методу ILC MVM без каких-либо масок и разъединенных областей в пространстве мультиполей, используя метод из работы [11]. На рис.3 мы показываем результат обработки карт с изменением знака в комбинации с квадруполем WMAP ILC(III) и модифицированной картой ILC(III), в которой мода $c_{2,0}$ имеет отрицательный знак и практически ту же амплитуду. Как видно из этого рисунка, морфология последних трех карт очень схожа, так как все они имеют отрицательную $c_{2,0}$ –компоненту, близкую по амплитуде.

Используя метод мультиполярных векторов, предложенный Копи и др. [9, 10], мы пересчитали соответствующие компоненты векторов для перенормированной величины $c_{2,0}^{ren} = -c_{2,0}^{ILC}$. Для стандартного квадруполь ILC эти векторы имеют координаты $v^{(2,1)} = (-0.56238, 0.815276, 0.138036)$ и $v^{(2,2)} = (0.97092, 0.048491, 0.23444)$, и соответствуют точкам на сфере с галактическими координатами $l = 124.6^\circ, b = 7.9^\circ$ и $l = 2.9^\circ, b = 13.6^\circ$ соответственно. Для перенормированной ILC–карты новые векторы $v^{(2,1)} = (-0.008077, 0.999956, 0.004864)$ и $v^{(2,2)} = (0.782798, 0.5898, 0.198402)$, и они указывают на направления $l = 90.5^\circ, b = 0.3^\circ$ и $l = 37.0^\circ, b = 11.4^\circ$. Таким образом, если октуполь ILC (III) корректен, то, по крайней мере, больше нет выравнивания перенормированного квадруполь и октуполь ILC(III), как было раньше. Детальный анализ проблемы выравнивания квадруполь и октуполь будет опубликован в отдельной работе.

4. ВЫВОДЫ

Мы проанализировали кросс-корреляцию карт ИЛС(III) и фоновых компонент и показали, что без коррекции знака для гармоники $m = 0$ эти корреляции очень высоки. При изменении знака гармоники $m = 0$ и сохранении спектра мощности ИЛС(III) мы получили коэффициент кросс-корреляции $|K(\ell = 2)| < 10\%$, что уменьшает уровень корреляции в 5 – 6 раз. Мы проверили реакцию мультипольных векторов на перенормировку моды $m = 0$ квадруполя карты ИЛС(III) и показали, что все эти векторы очень чувствительны к знаку и амплитуде этой моды. Рассмотрев перенормированную моду $m = 0$, мы показали, что упоминаемое выравнивание квадруполя и октуполя не существует в той форме, которая широко обсуждается в литературе. Важно отметить, что если знак моды $m = 0$ истинного СМВ окажется положительным, то метод минимальных вариаций (ММВ) не будет восстанавливать амплитуду этой моды аккуратно, что видно из очень высокого уровня кросс-корреляций с фоновыми компонентами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность за использование доступного архива NASA (NASA Legacy Archive), откуда были взяты данные *WMAP*. Мы также признательны создателям пакета HEALPIX³⁾ [28] за возможность его использования для получения $a_{\ell m}$ из данных *WMAP*. В работе также был использован пакет GLESP⁴⁾ [29, 30]. ОВВ благодарит РФФИ за частичную поддержку грантом No. 05-07-90139.

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, M. Halpern, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 1 (2003), astro-ph/0302207.
3. C. L. Bennett, R. S. Hill, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 97 (2003), astro-ph/0302208.
4. D. N. Spergel, L. Verde, H. V. Peiris, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 175 (2003), astro-ph/0302209.
5. G. Hinshaw, M. R.olta, C. L. Bennett, et al., *Astrophys. J.* (2007), (in press), astro-ph/0603451.
6. D. N. Spergel, R. Bean, O. Dore, et al., *Astrophys. J.* (2007), (in press), astro-ph/0603449.
7. G. Efstathiou, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.*, **346**, L26 (2003), astro-ph/0306431.
8. P. Bielewicz, H. K. Eriksen, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **635**, 750 (2005), astro-ph/0507186.
9. C. J. Copi, D. Huterer, and G. D. Starkman, *Phys. Rev. D* **70**, 043515 (2004), astro-ph/0310511.
10. C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. Starkman, *Phys. Rev. D* **75**, 023507 (2007), astro-ph/0605135.
11. M. Tegmark, A. de Oliveira-Costa, and A. Hamilton, *Phys. Rev. D* **68**, 123523 (2003), astro-ph/03022496.
12. A. de Oliveira-Costa and M. Tegmark, *Phys. Rev. D* **74**, 023005 (2006), astro-ph/0603369.
13. H. K. Eriksen, F. K. Hansen, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **605**, 14 (2004), astro-ph/0307507.
14. C.-G. Park, C. Park, and J. R. Gott III, *Astrophys. J.* (2006), (submitted), astro-ph/0608129.
15. A. Hajian, (2007), astro-ph/0702723.
16. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich, and O. V. Verkhodanov, *Astrophys. J.* **599**, L53 (2003), astro-ph/0310542.
17. L.-Y. Chiang, P. Coles, P. Naselsky, and P. Olesen, *JCAP* **01**, 21 (2007), astro-ph/0603662.
18. D. J. Schwarz, G. D. Starkman, D. Huterer, and C. J. Copi, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 221301 (2004), astro-ph/0403353.
19. K. Land and J. Magueijo, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 071301 (2005), astro-ph/0502237.
20. T. Jaffe, A. J. Banday, H. K. Eriksen, et al., *Astrophys. J.* **629**, L1 (2005), astro-ph/0503213.
21. T. R. Jaffe, S. Hervik, A. J. Banday, and K. M. Gorski, *Astrophys. J.* **644**, 701 (2006), astro-ph/0512433.
22. J. D. McEwen, M. P. Hobson, A. N. Lasenby, and D. J. Mortlock, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **359**, 1583 (2005), astro-ph/0406604.
23. J. D. McEwen, M. P. Hobson, A. N. Lasenby, and D. J. Mortlock, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **371**, 50L, (2006), astro-ph/0604305.
24. C. Gordon, W. Hu, D. Huterer, and T. Crawford, *Phys. Rev. D* **72**, 103002 (2005), astro-ph/0509301.
25. A. Gruppuso, C. Burigana, and F. Finelli, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* (2007), (in press), astro-ph/0701295.
26. F. K. Hansen, P. Cabella, D. Marinucci, and N. Vittorio, *Astrophys. J.* **607**, L67 (2004), astro-ph/0402396.
27. C. G. T. Haslam, C. J. Salter, H. Stoffel, and W. E. Wilson, *Astronom. and Astrophys.* **47**, 1 (1982).
28. K. Górski, E. Hivon, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
29. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Int. J. Mod. Phys. D* **14**, 275 (2003), astro-ph/0305537.
30. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).

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

⁴⁾<http://www.glesp.nbi.dk>

**DO WE NEED TO CORRECT THE INTERNAL LINEAR
COMBINATION QUADRUPOLE?****P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov**

The problem of high correlation of the CMB quadrupole with foregrounds is investigated in this paper. We present an analysis of the cross-correlation for the WMAP ILC(III) low multipoles and foregrounds and show that without correction of the sign for $m = 0$ harmonic of the quadrupole this correlation is very high. By analysis of 10^4 Monte Carlo simulations of the CMB-foreground separation, presented by Eriksen et al. [1], we show that practically for 50% realizations of the CMB quadrupole with the sign of the $m = 0$ mode equivalent to the sign of the foreground component, the input quadrupoles have the opposite sign of the output signal. Preserving the WMAP ILC(III) power spectrum of the quadrupole and changing the sign of the ILC (III) $m = 0$ mode, we get the coefficient of cross-correlations $|K(\ell = 2)| < 10\%$, what decreases the level of cross-correlations by a factor of 5 – 6. We use the multipole vectors for the renormalized ILC(III) quadrupole and show that these vectors are very sensitive to the sign and amplitude of the $m = 0$ mode.