УДК 519.22/25

ЛОКАЛЬНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ПЛОТНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

Г. Ф. Жарков, В. Г. Жарков[1]

С помощью метода локального статистического анализа [1] изучено распределение всплесков космического γ-излучения. Отмечена значительная флуктуация повышенной плотности числа источников, расположенная в районе туманности Андромеда.

Ранее [1] мы изложили общий метод локального статистического анализа распределения точечных объектов в ансамбле из M точек. В качестве конкретного приложения этого метода нами была написана компьютерная программа, с помощью которой анализировалось распределение источников космического γ-излучения, зарегистрированных американской летающей станцией GRO (эксперимент BATSE [2]). В нашем распоряжении имелись координаты 260 событий [3], которые, на первый взгляд, распределены совершенно случайно по небесной сфере. Обработка этого ансамбля с помощью обычного метода корреляционных функций не выявляет [4] каких-либо отклонений от закона случайного равнораспределения. Представляло интерес посмотреть, какие выводы можно получить, используя метод [1].

В соответствии с методом [1] вокруг каждой точки ансамбля (M = 260) выбиралась некоторая окрестность (окно) радиусом r_w и подсчитывалось число соседей n, находящихся в каждом окне. Зная полное число точек M и предполагая, что они разбрасываются по сфере случайно (по принципу равнодоступности любого участка сферы), можно найти вероятность того, что в окне радиусом $r_w = \epsilon L$ окажется ровно n соседей (см. подробнее [1]; здесь L – среднее угловое расстояние между точками, $L = 14°$ для ансамбля

[1] Институт биологии гена РАН.

$M = 260$; ϵ – безразмерный радиус окна). В результате возникает распределение типа, изображенного на рис. 1. Здесь, в качестве примера, показаны распределения числа соседей по окнам с радиусами $\epsilon = 1,0$ и $\epsilon = 1,6$. Сплошной кривой дана теоретическая вероятность $P(m)$ найти в окне $m = n + 1$ точку. Вертикальные линии – наблюдаемые значения $P_{obs} = k_w/M$, где k_w – число окон, внутри которых находится ровно m точек (то есть, k_w – число повторов состояния окна). Отличная от нуля разность $P(m) - P_{obs}$ свидетельствует о наличии флуктуации в наблюдаемом распределении точек по сравнению с ожидаемым. Величину этой флуктуации можно оценить по обычным формулам математической статистики [5].

Нас особо интересовали окна с наибольшими числами заполнения m, то есть, те окна, где наблюдается максимальная плотность источников γ-излучения. В частности, при радиусе окна $\epsilon = 0,5$ имеется три точки с максимальным числом заполнения окон $m_{max} = 6$, причем ожидаемое (в среднем) число заполнения $m_* = 1$. (Галактические координаты (l, b) центров этих трех пекулярных групп равны (в градусах): (93,6; -34,3), (92,9; -31,1), (101,1; -31,8)). При радиусе $\epsilon = 1,0$ в окне с координатами $l = 91,9°, b = -37,4°$ наблюдается $m_{max} = 12$ источников, а ожидаемое их число $m_* = 4$.

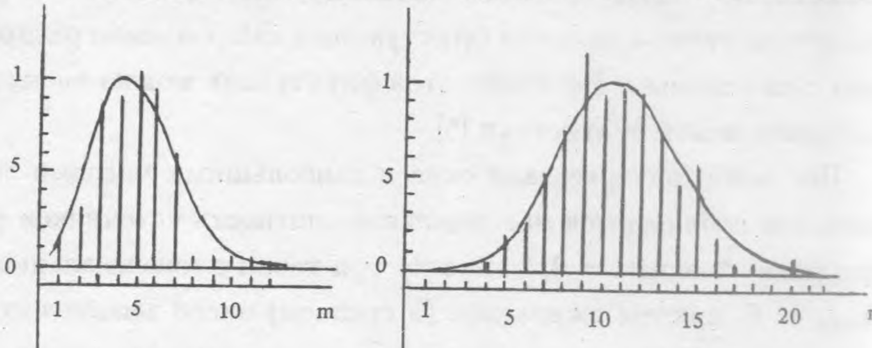
Для того, чтобы определить статистическую значимость таких отклонений, применялась следующая процедура. Обозначим через $G(n) =< n, N-n >$ конфигурацию окна, когда в окне находится n соседей, а остальные $N - n$ точек лежат вне окна. Пусть $P(n)$ – вероятность того, что при случайном разбросе $N = M - 1$ точек в круге радиусом ϵ, проведенном вокруг выбранной точки, окажется n соседей. Вероятность того, что данная конфигурация $G(n)$ будет реализована k раз в M попытках случайного разброса N точек, дается биномиальным распределением [5]

$$W(k) = M!\frac{P^k(1-P)^{M-k}}{k!(M-k)!}, \sum_{k=0}^{M} W(k) = 1. \tag{1}$$

Пусть $k_* = MP(n)$ – ожидаемое число повторов конфигурации $G(n)$ в M испытаниях; $k_0 = [k_*]$ – ближайшее к k_* целое число; k_w – наблюденное число повторов конфигурации $G(n)$; $\Delta =| k_0 - k_w |$ отклонение наблюдаемого числа повторов k_w от ожидаемого k_0. Вводя обычным образом [5] величину статистического доверия

$$C(\Delta) = \sum_{k=k_0-\Delta}^{k_0+\Delta} W(k), \tag{2}$$

как сумму вероятностей, лежащих в интервале $dk = \pm\Delta$, можно определить доверительный интервал $\Delta(\alpha)$ такой, что $C(\Delta) = \alpha$, где α – некоторое число, достаточно близкое к единице. Если наблюденное число повторов k_w лежит вне доверительного интервала $\Delta(\alpha)$, то с вероятностью α можно утверждать, что наблюдаемая конфигурация $G(n)$ не описывается законом случайного равнораспределения, то есть, представляет собой аномалию. (Обычно аномальными считаются отклонения от среднего, превышающие три стандартные ошибки, при этом $\alpha = 0,995$). Вместо $C(\Delta)$ можно рассматривать величину $D(\Delta) = 1 - C(\Delta)$, тогда аномальными будут конфигурации с малыми значениями $D < 1 - \alpha$.



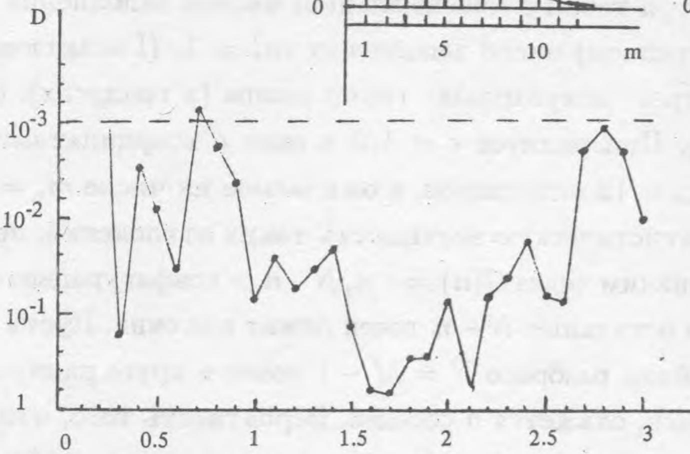


Рис. 1. *Распределение вероятностей $P(n)$ найти n соседей в окне радиусом $\epsilon = 1,0$ и $\epsilon = 1,6$. Сплошные кривые – значения $P(n)/P_*$, где P_* – максимальное значение $P(n)$; вертикальные линии – значения k_*/MP_*.*

Рис. 2. Значения D, отвечающие максимальным числам заполнения окон разного радиуса ϵ ($\Delta\epsilon = 0,1$).

На рис. 2 приведены значения D, отвечающие окнам с максимальными числами заполнения m для разных радиусов окна ϵ. Видно, что при просмотре ансамбля $M = 260$ выявляются окна, вероятность заполнения которых при действии случайного механизма очень мала. Так, например, при $\epsilon = 0,7 (m_{max} = 10, m_* = 1,96, k_w \simeq 1, k_* = 0,038)$ величина $D(m = 10) < 10^{-3}$, то есть мы наблюдаем флуктуацию плотности, которая, скорее всего, не случайна. Обращает на себя внимание тот факт, что центр этой флуктуации (а также координаты других окон, представленных на рис. 2) лежит в районе туманности Андромеда ($l = 110°, b_A = -20°$). На рис. 3 приведена карта неба, где показаны 260 событий, зарегистрированных BATSE [3]; точками отмечена группа событий, которая выделяется с помощью данного метода ($\epsilon = 1,2$); крестом помечено положение туманности Андромеда.

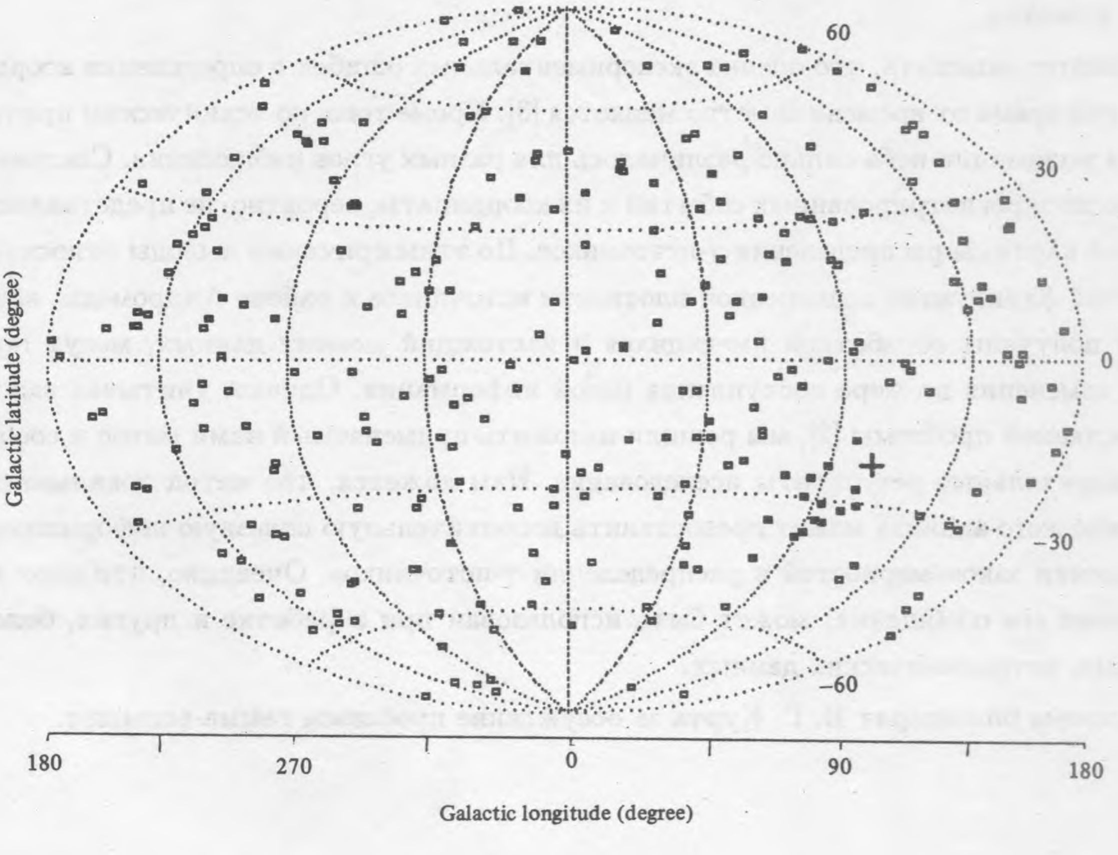


Рис. 3. *Карта распределения BATSE-всплесков. Черные точки – группа максимальной плотности ($\epsilon = 1,2$), крест – положение туманности Андромеда.*

Известно, что координаты γ-вспышек измерены с довольно большими ошибками, которые лежат в пределах $1^\circ \leq R_{er} \leq 25^\circ$, где R_{er} – радиус возможной позиционной ошибки. Для того, чтобы оценить влияние экспериментальных ошибок на результаты, получаемые данным методом, мы приняли, для простоты, некоторый средний радиус $R_{er} = 5^\circ$, общий для всех точек ансамбля, и с помощью генератора случайных чисел произвели разброс всех 260 точек в пределах круга с центром в данной точке и радиусом $R_{er} = 5^\circ$. Возникший новый ансамбль обрабатывался изложенным методом. Оказалось, что флуктуация повышенной плотности в районе Андромеды сохраняется. При постепенном увеличении радиуса случайного разброса R_{er} эта локальная флуктуация исчезала.

Следует заметить, что оценка экспериментальных ошибок в определении координат событий время от времени заметно меняется [3]. Кроме того, по техническим причинам, время экспозиции неба сильно различалось для разных углов наблюдения. Следовательно, число зарегистрированных событий и их координаты, вероятно, не представляют истинной картины распределения γ-источников. По этим причинам выводы относительно наличия флуктуации повышенной плотности источников в районе Андромеды, которые были получены обработкой имеющихся в настоящий момент данных, могут претерпеть изменения по мере поступления новой информации. Однако, учитывая важность обсуждаемой проблемы [2], мы решили изложить применяемый нами метод и сообщить предварительные результаты исследования. Нам кажется, что метод локального статистического анализа может предоставить дополнительную полезную информацию при выявлении закономерностей в распределении γ-источников. Очевидно, что этот метод (а также его обобщения) может быть использован при обработке и других, более надежных, астрономических данных.

Авторы благодарят В. Г. Курта за обсуждение проблемы гамма-вспышек.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Жарков В. Г., Жарков Г. Ф. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 7-8, 61 (1993).

[2] Gamma-Ray Bursts, ed. W. S. Paciesas and G. J. Fishman, 1992 (AIP Conf. Proc. 265).

[3] BATSE burst catalog obtained via Internet (GROSSC.GSFC.NASA.GOV, 1993).

[4] Komberg B. V. and Kurt V. G. Astronomical and Astrophysical Transactions (in press).

[5] Handbook of Applicable Mathematics, ed. Emlyn Lloyd, New York: Willey, v. II and VI, 1984.

Поступила в редакцию 27 октября 1993 г.