

P1-2001-288

В. В. Ужинский, В. Ш. Навотный<sup>1</sup>, Г. А. Ососков,  
А. Полянский, М. М. Чернявский<sup>2</sup>

**ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ  
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В ЯДРО-ЯДЕРНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**  
Нерегулярности псевдобыстротных  
распределений частиц

---

<sup>1</sup>Физико-технический институт, Ташкент

<sup>2</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

---

© Объединенный институт ядерных исследований, 2001

В последние годы для анализа временных рядов, встречающихся в геофизике, метеорологии, астрофизике и т.д., все чаще используют непрерывное и дискретное вейвлет-преобразование [1–4] (описание приложений в авиации, медицине и биологии см. в [5]). В физике элементарных частиц дискретное вейвлет-преобразование применялось при анализе событий взаимодействий ядер космического излучения с веществом [6] и при поиске "черенковского излучения глюонов" в соударениях ядер свинца с ядрами фотоэмульсии при энергии 158 ГэВ/нуклон [7]. Последние работы в этой области посвящены экспериментальным поискам проявления дезориентированного кирального конденсата в ядро-ядерных взаимодействиях [8].

Большинство указанных работ страдают отсутствием количественных результатов, что обусловлено или уникальностью (единичностью) исследуемых природных явлений, или малой статистикой анализируемых событий. В немалой степени это связано и с особенностями вейвлет-анализа (см. [9]). Необходим регулярный метод применения вейвлет-преобразования в физике частиц. Настоящая работа представляет опыт использования вейвлет-преобразования для анализа более чем 2000 событий взаимодействий ядер с ядрами при высоких энергиях.

Экспериментальный материал был получен при горизонтальном облучении фотоэмульсии НИКФИ БР-2 на ускорителе CERN SPS ядрами кислорода и серы с импульсами 200 и 60 ГэВ/с/нуклон. Чувствительность фотоэмульсии была не хуже 30 зерен на 100 мкм для однозарядных частиц с минимальной ионизацией.

Все взаимодействия находились при просмотре вдоль трека быстро вперед и медленно назад, со скоростью, для быстрого просмотра, исключаящей какую-либо дискриминацию в отборе событий. Медленный просмотр проводился для обнаружения событий с почти сохранившимся и не отклонившимся ядром-снарядом. После исключения из исследуемых ансамблей взаимодействий событий электромагнитной диссоциации и чисто упругого рассеяния у нас осталось для изучения 884 события  $S + Et$  и 504 события  $O + Et$  взаимодействий при импульсе 200 ГэВ/с/нуклон и 884 события  $O + Et$  взаимодействий при импульсе 60 ГэВ/с/нуклон.

В каждом найденном при просмотре событии для всех заряженных частиц были измерены пространственные ( $\theta$ ) и азимутальные ( $\varphi$ ) углы.

В настоящем анализе рассматривались так называемые ливневые,

или  $s$ -частицы, – однозарядные частицы со скоростью  $\beta = v/c \geq 0,7$ ; среди них доминируют частицы, рожденные во взаимодействии, и однозарядные фрагменты снаряда. Какого-либо выделения спектров однозарядных фрагментов налетающих ядер не производилось.

Следуя [7], распределение вторичных частиц по псевдобыстротам  $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$  в отдельных событиях мы представляли в виде

$$f(\eta) = \frac{dn}{d\eta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(\eta - \eta_i), \quad (1)$$

где  $N$  - множественность  $s$ -частиц в событии, а  $\eta_i$  - псевдобыстрота  $i$ -й частицы.

Непрерывное вейвлет-преобразование функции  $f(x)$  определяется [10] как

$$W_{\Psi}(a, b)f = \frac{1}{\sqrt{C_{\Psi}}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\Psi_{a,b}(x)dx, \quad (2)$$

$$\Psi_{a,b}(x) \equiv a^{-1/2}\Psi\left(\frac{x-b}{a}\right),$$

где функция  $\Psi$  называется вейвлетом,  $b$  – смещением,  $a$  – масштабом или шкалой, а  $C_{\Psi}$  – нормализующий коэффициент:

$$C_{\Psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} |\tilde{\Psi}(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega,$$

$\tilde{\Psi}(\omega)$  – фурье-образ функции  $\Psi(x)$ .

В качестве вейвлета часто используют производные функции Гаусса

$$\Psi(x) \equiv g_n(x) = (-1)^{n+1} \frac{d^n}{dx^n} e^{-x^2/2}, \quad n > 0, \quad C_{g_n} = 2\pi(n-1)!.$$

В настоящей работе использовалась вторая производная функции Гаусса, так называемый МНАТ-вейвлет. Как показано в [11], вейвлет-преобразование с функцией  $g_2$  позволяет выделять группы частиц: положения локальных максимумов функции  $W_{\Psi}(a, b)f$  на оси масштабов ( $a_{max}$ ) отражают размеры групп, а их положения на оси смещений ( $b_{max}$ ) дают центры групп частиц на оси псевдобыстрот.

На рис. 1 представлены распределения по  $a_{max}$  во всех исследуемых взаимодействиях. Как видно, распределения не могут быть описаны простой экспоненциальной зависимостью. Необходимо использовать при фитировании как минимум сумму двух экспонент. При этом, как показывают наши расчеты, выполненные с помощью модели HIJING [12], появление двух экспонент связано с образованием струй

частиц. Без учета струй спектры хорошо фитируются одной экспонентой, наклон которой совпадает с наклоном распределений рис. 1 при  $a_{max} > 0,4$ . Таким образом, данные рис. 1 указывают на возможное существование струй в ядро-ядерных взаимодействиях.

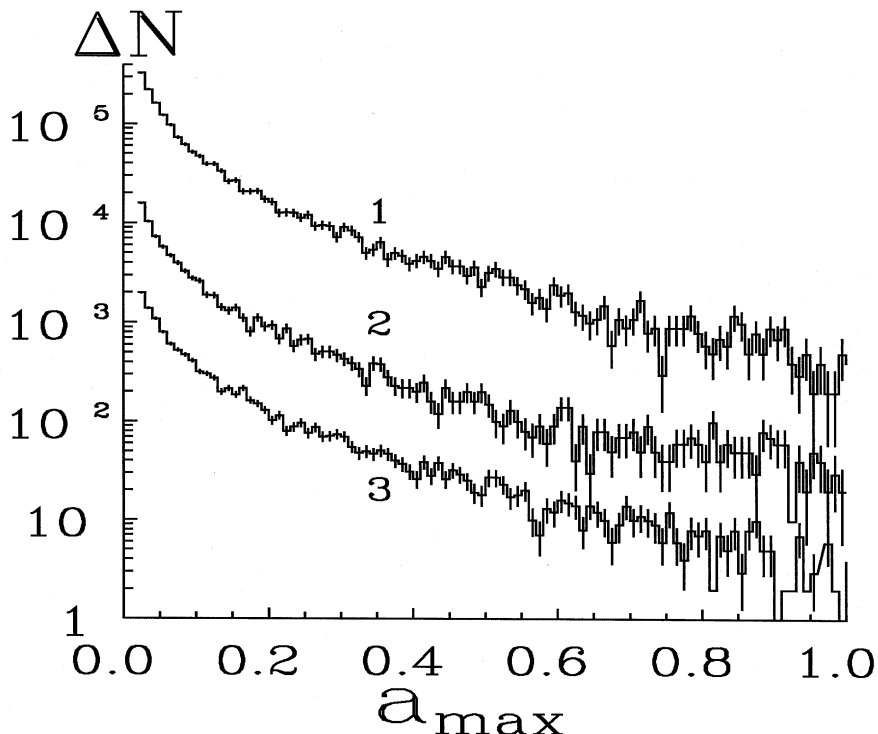


Рис. 1. Распределения по  $a_{max}$  в  $S + Et$  и  $O + Et$  взаимодействиях при энергии 200 ГэВ/нуклон (гистограммы 1 и 2 соответственно) и в  $O + Et$  соударениях при энергии 60 ГэВ/нуклон (распределение 3). Распределения 1, 2, 3 умножены на  $10^2$ ,  $10^1$  и  $10^0$  соответственно

При наличии хорошо сформировавшихся струй частиц можно было бы ожидать особенностей при характерном размере струй  $\sim 0,2$ . Однако различные нерегулярности наблюдаются при  $a_{max} \sim 0,2 - 0,6$ , что можно объяснить размытием, "гашением" струй. К сожалению, статистика наших данных не позволяет сделать четких выводов. Тем не менее отметим, что особенности располагаются примерно при одних и тех же значениях  $a_{max}$  для разных соударений.

На рис. 2 приведены распределения по  $b_{max}$  при различных ограничениях на  $a_{max}$ . Бросается в глаза повторяющаяся картина нерегулярностей в распределениях для разных ядер-снарядов и для разных энергий, в частности незначительный пик при  $b_{max} \sim 1,5$ , более выраженный пик при  $b_{max} \sim 2,2$ , наконец, четкие нерегулярности при  $b_{max} \sim 3$  и 4 при энергии 200 ГэВ/нуклон.

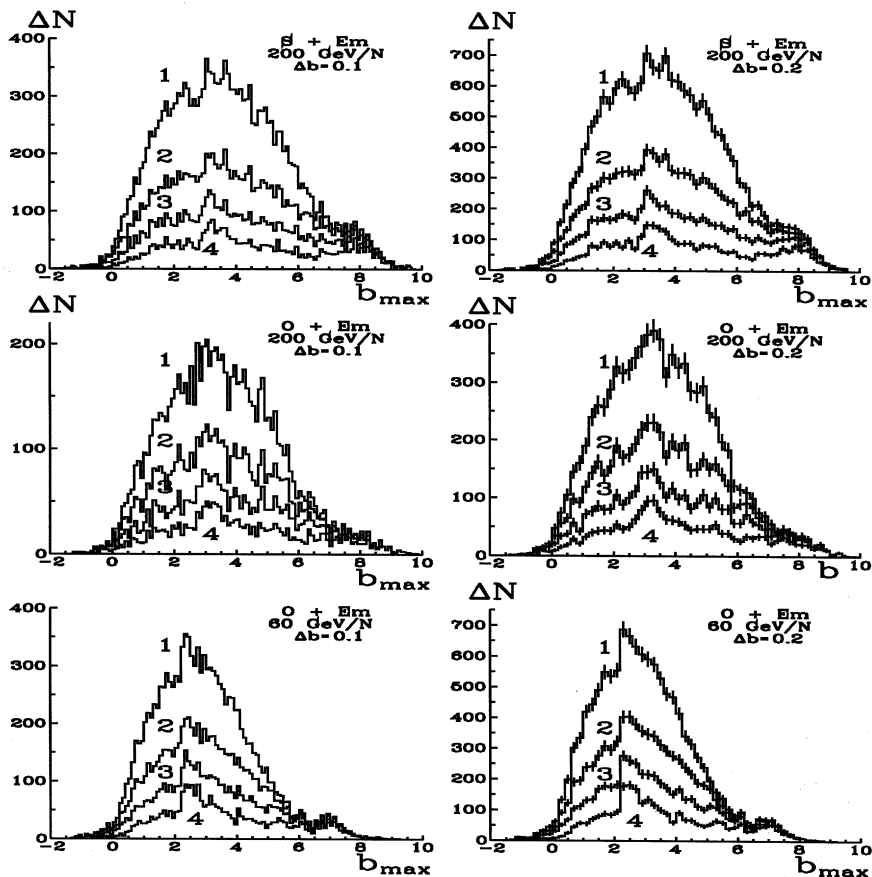


Рис. 2. Распределения по  $b_{max}$  в  $S + Em$  и  $O + Em$  взаимодействиях при энергии 200 ГэВ/нуклон и в  $O + Em$  соударениях при энергии 60 ГэВ/нуклон.  $\Delta b$  - шаг гистограммирования. Распределения 1 - 4 получены при  $a_{max} \geq 0$ ,  $a_{max} \geq 0,05$ ,  $a_{max} \geq 0,1$  и  $a_{max} \geq 0,2$  соответственно

Интересно отметить, что в работе [13] докладывалось об обнаруже-

нии с помощью вейвлет-анализа кольцевых структур в Pb+Em взаимодействиях с полярными углами испускания частиц в кольцах, соответствующих псевдобыстротам 2,1; 2,7; 3,1 и 3,5. Некоторые из них совпадают с найденными нами. В отличие от авторов работы [13] мы использовали значительно больший экспериментальный материал.

Визуальный анализ наших событий с помощью непрерывного вейвлет-преобразования не дал положительных результатов – не удалось обнаружить ярко выраженные группы частиц и определить какие-либо закономерности. Согласно рис. 2 нерегулярности в распределениях по  $b_{max}$  обусловлены плотными группами частиц с размерами  $a < 0,1$ . При визуальном анализе из-за большого числа точек экстремума при малых масштабах какие-либо нерегулярности определить трудно. Только статистическая обработка точек экстремума позволила выявить наличие структуры в распределениях по  $b_{max}$ . Природа наблюдаемых нами особенностей не ясна. Возможно, они связаны с "черенковским излучением глюонов". Для проверки этой гипотезы необходимо дополнить наше рассмотрение анализом азимутальных распределений, что требует привлечения другой группы вейвлет-преобразований.

Авторы благодарны Сотрудничеству ЕМУ-01 за предоставленный экспериментальный материал. Один из авторов (В.В.У.) благодарит РФФИ (грант N 00-01-00307) и ИНТАС (грант N 00-00366) за частичную материальную поддержку.

## Литература

- [1] H. Weng, K.-M. Lau// J. Atmos. Sci., 1994, **51**, p. 2523.
- [2] P. Kumar, E. Foufoula-Georgio// Rev. of Geophys., 1997, v. **235**, p. 385.
- [3] N.M. Astafyeva, G.A. Bazilevskaya// Phys. and Chem. of the Earth, 1999, v. **C25**, p. 129.
- [4] K. Kudela et al.// Solar Phys., 2001, v. **199**, p. 200.
- [5] И.М. Дремин// УФН, 2000, т. **170**, с. 1235.
- [6] N. Suzuki, M. Biyama, A. Oksawa// Prog. Theor. Phys., 1995, v. **94**, p. 91.

- [7] N.M. Astafyeva, I.M. Dremin, K.A. Kotelnikov// Mod. Phys. Lett., 1997, v. **A12**, p. 1185;  
I.M. Dremin et al.// hep-ph/0007060, 2000.
- [8] M.L. Kopytine et al.// nucl-ex/0104002, 2001.
- [9] C. Torrence, G.P. Compo// Bull. Amer. Meteorol. Society, 1998, v. **79**, p. 61.
- [10] I. Daubechies. Ten Lectures on Wavelets// Soc. for Ind. and Appl. Math., Philadelphia, Pa., 1992, p. 357.
- [11] В.В. Ужинский и др.// Сообщ. ОИЯИ P1-2001-119, Дубна, 2001.
- [12] M. Gyulassy, M. Plumer// Phys. Lett. B, 1990, v. **243**, p. 432;  
X.-N. Wang, M. Gyulassy// Phys. Rev. C, 1991, v. **44**, p. 3501.
- [13] I.M.Dremin et al.// Phys. Lett., 2001, v. **B499**, p. 97.

---

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 декабря 2001 года.



Ужинский В. В. и др.

P1-2001-288

Вейвлет-анализ угловых распределений вторичных частиц в ядро-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях. Нерегулярности псевдобыстротных распределений частиц

С помощью непрерывного вейвлет-преобразования анализируются экспериментальные данные о взаимодействиях ядер серы и кислорода с ядрами фотоэмульсии при энергиях 200 и 60 ГэВ/нуклон. При использовании в качестве вейвлета второй производной гауссиана обнаружены нерегулярности в распределениях узких групп вторичных ливневых частиц по псевдобыстротам в указанных взаимодействиях. Нерегулярности можно интерпретировать как наличие преимущественных углов испускания групп частиц. Такой эффект ожидается при излучении «черенковских» глюонов в ядро-ядерных соударениях. Положения некоторых найденных нерегулярностей на оси псевдобыстрот совпадают с ранее обнаруженными И. М. Дреминым и др. (Dremin I. M. et al. // Phys. Lett. B. 2001. V. 499. P. 97).

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Uzhinskii V. V. et al.

P1-2001-288

Wavelet Analysis of Angular Distributions of Secondary Particles in High Energy Nucleus-Nucleus Interactions. Irregularity of Particle Pseudorapidity Distributions

Experimental data on sulphur and oxygen nuclei interactions with photoemulsion nuclei at the energies of 200 and 60 GeV/nucleon are analysed with the help of a continuous wavelet transform. Irregularities in pseudorapidity distributions of narrow groups of the secondary shower particles in the pointed interactions are observed at application of the second order derivative of gaussian as a wavelet. The irregularities can be interpreted as an existence of the preference emission angles of the group of particles. Such effect is expected at emission of Cherenkov's gluons in nucleus-nucleus collisions. Some of the positions of the observed peculiarities on the pseudorapidity axis coincide with ones found by I. M. Dremin et al. (Dremin I. M. et al. // Phys. Lett. B. 2001. V. 499. P. 97).

The investigation has been performed at the Laboratory of Information Technologies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор А. Н. Шабашова. Макет Н. А. Киселевой

Подписано в печать 12.02.2002  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,37  
Тираж 375. Заказ 53117. Цена 37 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области