

А. Ш. ГАЙТИНОВ¹, А. И. ЛЕБЕДЕВА^{1,2}, И. А. ЛЕБЕДЕВ¹

(¹Физико-технический институт, г. Алматы;

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЧАСТИЧНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЯДЕР ЗОЛОТА С ЭНЕРГИЕЙ 10.7 АГЭВ
И ЯДЕР СВИНЦА С ЭНЕРГИЕЙ 158 АГЭВ
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ**

Аннотация

Проведено исследование структуры флуктуаций плотности псевдобыстротных распределений вторичных частиц, образованных во взаимодействиях ядер свинца *Pb* с энергией 158 АГэВ и ядер золота *Au* с энергией 10.7 АГэВ с ядрами фотоэмульсии *Em* на основе метода Херста. Обнаружены события взрывного и смешанного типа. Эти типы имеют различные фрагментационные характеристики. Большинство событий взрывного типа являются процессами полного разрушения ядра снаряда, в которых многозарядные фрагменты отсутствуют. В событиях смешанного типа наблюдается множественное образование многозарядных фрагментов. Кроме того, события смешанного и взрывного типа существенно отличаются по множественности ВТО-ричных частиц. При этом относительное число событий смешанного типа значительно больше во взаимодействиях *Au+Em* 10.7 АГэВ.

Ключевые слова: взаимодействия ядер, множественные процессы, фрагментация.

Кілт сөздер: ядролардың әрекеттестігі, көптеген үдерістер, фрагментация.

Keyword: interactions of the kernels, plural processes, a fragmentation.

Введение. Согласно теоретическим предсказаниям в области энергий в интервале от 4 до 11 ГэВ на нук-лон должна формироваться смешанная фаза «возбужденной адронной материи», включающая как свободные кварки и глюоны, так и протоны с нейтронами [1].

Заманчивая перспектива обнаружения такого состояния ядерной материи обусловила не только новый взгляд на проблему исследования взаимодействия ядер, но и привела в настоящее время к новой целенаправленной концентрации как теоретических, так и экспериментальных исследований в этой области.

В данной работе проводится анализ характеристик взаимодействия тяжелых ядер, примерно одинаковой массы (${}_{79}\text{Au}^{197}$ и ${}_{82}\text{Pb}^{208}$), но существенно отличающихся по энергии. Причем ядра золота имеет энергию в области смешанной фазы ядерной материи, а ядра свинца почти в 15 раз выше.

Исследование структуры флуктуаций плотности частиц, образованных в множественных процессах, позволяет выявить и исследовать многочастичные корреляции в распределениях вторичных частиц и механизмы формирования сложных конечных адронных состояний [2].

В данной работе для исследования многочастичных корреляций в псевдобыстротных распределениях вторичных частиц в множественных процессах использовался метод Херста [3].

В работе [4] показано, что использование этого метода позволяет оценить «силу» и «длину» многочастичных корреляций в псевдобыстротных распределениях вторичных частиц, отличать флуктуации динамически коррелированных распределений вторичных частиц от стохастических, связанных со статистическими причинами.

Метод. Для количественной характеристики «силы» корреляций в методе Херста используется отношение двух величин: стандартного (среднеквадратичного) отклонения на расстоянии k значений:

$$S(k) = \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [\xi_i - \langle \xi \rangle]^2 \right]^{1/2}, \quad \langle \xi \rangle = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \xi_i. \quad (1)$$

и размаха, R , который определяется как разность между наибольшим и наименьшим накопленным отклонением от среднего на расстоянии k значений:

$$R(k) = \underbrace{\max_{1 \leq m \leq k} X(m, k)} - \underbrace{\min_{1 \leq m \leq k} X(m, k)} \quad X(m, k) = \sum_{i=1}^m [\xi(z_i) - \langle \xi \rangle], \quad 1 \leq i \leq m \leq k \quad (2)$$

В работе [3] было показано, что нормированный размах, определенный как:

$$H(k) = R(k) / S(k), \quad (3)$$

подчиняется соотношению:

$$H(k) = (ak)^h, \quad (4)$$

где h и a – два свободных параметра (h так называемый показатель коррелированности или индекс Херста). Причем, если последовательность ξ_i представляет собой белый шум, т.е. совершенно некоррелированный сигнал, то $h = 0.5$. Случай $0.5 < h < 1$ говорит о наличии корреляций в системе (для полностью коррелированного сигнала $h = 1$) [3,5].

Процедура анализа. Анализируемый набор включал экспериментальные данные EMU-01 коллаборации: взаимодействия ${}^{208}\text{Pb}$ 158 А·ГэВ и ${}^{197}\text{Au}$ 10.7 А·ГэВ с ядрами фотоэмульсии [6,7].

Из полной кинематической области рассматривался только центральный

псевдобыстротный интервал $\Delta\eta = 4$, так называемая область пионизации. Этот интервал был разделен на k частей.

Подсчитав число частиц, заполнивших каждый подинтервал $\delta\eta_i = \Delta\eta/k$, где i меняется от 1 до k , мы получили последовательность чисел n_i . Для анализа относительных флуктуаций в индивидуальных событиях относительно среднего псевдобыстротного распределения мы рассмотрели последовательность

$$\xi_i = \frac{n_i^e n}{n^e n_i},$$

где n_i^e – число частиц, попавших в i -й бин рассматриваемого события; n^e – число частиц в этом событии; $n_i = \sum n_i^e$ – полное число частиц в i -м бине для всех событий; $n = \sum n^e$ – полное число частиц во всех событиях.

Для исследования многочастичных корреляций в распределении вторичных частиц была рассмотрена зависимость величины нормированного размаха $H(d\eta) = R(d\eta)/S(d\eta)$, где $d\eta = k' \cdot \delta\eta$ ($1 \leq k' \leq k$), от величины псевдобыстротного интервала.

Согласно уравнениям (1-3), вычислялся нормированный размах для этого псевдобыстротного интервала. Далее последовательность ξ_i была поделена на две части. Получив, таким образом, два независимых ряда «длиной» $k' = k/2$, мы рассчитали значение $H(k/2)$ для каждого ряда отдельно. После этого каждый из вновь полученных рядов мы разбили на две части, получив четыре независимых последовательности «длиной» $k' = k/4$, и вычислили $H(k/4)$. Такая процедура разбивки и анализа вновь получаемых рядов значений ξ_i продолжалась до тех пор, пока число членов в рядах – остатках не становилось меньше 16 («1»), после чего процедура деления останавливалась. Результаты для H , соответствующие одному и тому же значению k' , усреднялись и откладывались в двойном логарифмическом масштабе как функция от k' . Затем, используя (4), находилось значение показателя h .

Результаты и обсуждение

На основе описанной процедуры мы провели последовательный анализ отдельных событий.

Отбор событий производился по среднему показателю скоррелированности $h_{cp} = 0.62$. В работе [8] было показано, что критерий $h_{cp}=0.62$ соответствует процессу с максимальными двухчастичными корреляциями, т.е. процессу, в котором все вторичные частицы родились из двухчастичных распадов. И, следовательно, этот критерий условно делит весь экспериментальный набор на процессы, в которых наблюдаются некие динамические многочастичные корреляции, и на события, в которых многочастичные корреляции отсутствуют (преобладают двухчастичные корреляции и стохастические флуктуации).

На основе детального анализа отдельных взаимодействий были обнаружены события четырех типов.

Первый тип характеризуется линейным поведением кривой Херста с показателем $h \sim 0.5$ и соответствует некоррелированному или слабо коррелированному псевдобыстротному распределению вторичных частиц. События такого типа хорошо описываются на основе модельных расчетов со стохастическим псевдо-быстротным распределением или в распределениях, полученных с учетом двухчастичных корреляций.

События второго типа характеризуются показателем кривой Херста $h > 0.62$ в области малых значений псевдобыстротных интервалов ($d\eta \leq 0.2$) и $h \sim 0.5$ при других значениях $d\eta$. Такое поведение корреляционной кривой соответствует существенному проявлению близких многочастичных корреляций и относится к процессам струйного типа.

К третьему типу были отнесены события, характеризующиеся $h > 0.62$ в области больших значений псевдобыстротных интервалов ($d\eta \geq 1$) и $h \sim 0.5$ при других значениях $d\eta$. Такое поведение корреляционной кривой соответствует существенному проявлению дальних многочастичных корреляций и относится к процессам взрывного типа.

К четвертому типу были отнесены события, имеющие $h > 0.62$ и при малых значениях и при больших значениях псевдобыстротного интервала. Такое поведение кривой Херста соответствует событиям смешанного типа, в котором на фоне процесса взрывного типа присутствуют процессы струйного типа.

Детальное исследование различных типов событий показало существенное различие их фрагментационных характеристик.

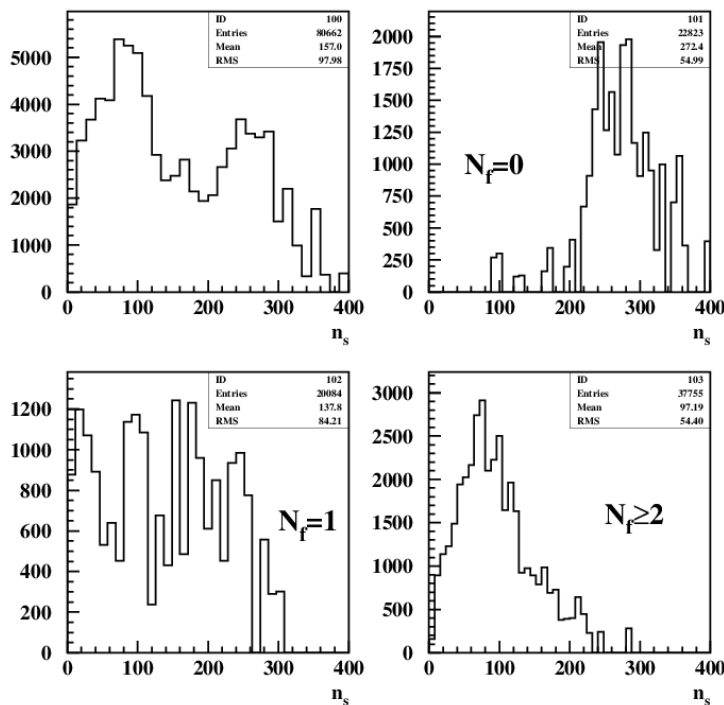


Рисунок 1 – n_s -распределение, нормированное на множественность события, в зависимости от числа многозарядных фрагментов во взаимодействиях $Au+Em$ 10.7 А

ГэВ

На рисунке представлены нормированные распределения по множественности событий различного типа во взаимодействиях $Au+Em$ 10.7 А ГэВ.

При этом обнаружена довольно четкая двухгорбовая картина (рисунок 1 левый верхний) – наблюдается довольно четкое разделение событий разного типа по числу многозарядных фрагментов ядра снаряда.

События взрывного типа характеризуются полным отсутствием многозарядных фрагментов $N_f = 0$ (рисунок правый верхний).

В событиях смешанного типа наблюдается большое количество много зарядных фрагментов $N_f \geq 2$ (рисунок правый нижний).

События с $N_f = 1$ соответствуют событиям струйного и каскадно-испарительного типа. По параметрам фрагментации события струйного типа и каскадно-испарительного типа были объединены в общую группу и в дальнейшем рассматривались совместно.

В таблице представлен сравнительный анализ соотношения событий струйного, взрывного и смешенного типа во взаимодействиях тяжелых ядер свинца и золота.

Абсолютное и относительное число событий с различными типами фрагментации ядра-мишени для взаимодействий ядер золота при энергии 10.7 АГэВ и ядер свинца с энергией 158 АГэВ с ядрами фотоэмульсии

Тип события	Au		Pb	
	$N_f = 0$	89 событий	8.1 %	32 событий
$N_f = 1$	406 событий	36.9 %	189 событий	52.8 %
$N_f \geq 2$	605 событий	55 %	137 событий	38.3 %
Всего событий	1100		358	

Анализ результатов, представленных в таблице, позволяет сделать вывод о существенном различии развитии динамики множественного процесса при изменении энергии взаимодействия ядер.

При этом, относительное число событий полного разрушения ядра мишени практически не изменилось при увеличении энергии более, чем на порядок (8.1% событий во взаимодействиях $Au+Em$ 10.7 АГэВ и 8.9 % во взаимодействиях $Pb+Em$ 158 АГэВ). Более того, существенно уменьшилось число событий с $N_{f3} \geq 2$ (55% событий во взаимодействиях $Au+Em$ 10.7 АГэВ и только 38.3% во взаимодействиях $Pb+Em$ 158

АГЭВ).

Данные результаты являются довольно неожиданными и в этой связи очень интересными.

Работа поддержана грантом МОН РК №1563/ГФ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Sissakian A.N., Sorin A.S., Toneev V.D. QCD Matter: A Search for a Mixed Quark-Hadron Phase // Nucl-th. – 2006. – 0608032. – Vol. 1. – P. 23.
- 2 Dremin I.M. The quark-gluon medium (micro- and macro- QCD) // HEP-Ph. – 2011. – 1101.5970 v1.
- 3 Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. Long-Term Storage: An Experimental Study. – Constable, London, 1965.
- 4 Lebedev I.A., Shaikhatdenov B.G. The use of Hurst method for rapidity correlations analysis // J. Phys. G:Nucl. Part. Phys. – 23 (1997) 637.
- 5 Feder J. «Fractals» – Plenum Press, New York, 1988.
- 6 Adamovich M.I. et al. // Phys. Lett. B352 (1995) 1472.
- 7 Adamovich [M.I. et al.](#) Multifragmentation of gold nuclei in the interactions with photoemulsion nuclei at 10.7-GeV/nucleon // Z. Phys.– A359, 1997. – P. 277-290.
- 8 Gaitinov A.Sh., Lebedev I.A., et al. A search of multiparticle correlations in 10.7 A GeV 197Au and 200 A GeV 32S interactions with emulsion nuclei by the Hurst method // Nucl-th. – 2011. – 1105.3029 vol. 1. – P. 1-10.

REFERENCES

- 1 Sissakian A.N., Sorin A.S., Toneev V.D. QCD Matter: A Search for a Mixed Quark-Hadron Phase // Nucl-th. – 2006. – 0608032. – Vol. 1. – P. 23.
- 2 Dremin I.M. The quark-gluon medium (micro- and macro- QCD) // HEP-Ph. – 2011. – 1101.5970. – Vol. 1.
- 3 H.E. Hurst, R.P. Black, Y.M. Simaika Long-Term Storage: An Experimental Study. – Constable, London, 1965.
- 4 Lebedev I.A., Shaikhatdenov B.G. The use of Hurst method for rapidity correlations analysis // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. – 23 (1997) 637.
- 5 Feder J. «Fractals» // Plenum Press, New York, 1988.
- 6 Adamovich M.I. et al. // Phys. Lett. – B352 (1995) 1472.
- 7 Adamovich [M.I. et al.](#) Multifragmentation of gold nuclei in the interactions with photoemulsion nuclei at 10.7-GeV/nucleon // Z. Phys. A359, 1997. – P. 277-290.
- 8 Gaitinov A.Sh., Lebedev I.A., et al. A search of multiparticle correlations in 10.7 A GeV 197Au and 200 A GeV 32S interactions with emulsion nuclei by the Hurst method // Nucl-th. 2011. – 1105.3029. – Vol. 1. – P. 1-10.

Резюме

А. Ш. Гайтинов¹, А. И. Лебедева^{1,2}, И. А. Лебедев¹

(¹Физика-техникалық институты, Алматы қ.);

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.)

10.7 АГЭВ ЭНЕРГИЯҒА ИЕ АЛТЫН ЯДРОСЫ МЕН 158 А ГЭВ ЭНЕРГИЯҒА ИЕ ҚОРҒАСЫН ЯДРОСЫНЫҢ ФОТОЭМУЛЬСИЯ ЯДРОЛАРЫМЕН ӘСЕРЛЕСУІНДЕГІ КӨПБӨЛШЕКТІК КОРРЕЛЯЦИЯНЫ ЗЕРТТЕУ

Херст әдісіне сүйеніп, 158 А гэв энергияға ие қорғасын *Pb* ядросы мен 10.7 АГЭВ энергияға ие алтын *Au* ядросының фотоэмульсия *Em* ядроларымен әсерлесуінен туындаған екінші ретті бөлшектердің жалған-жылдам үлестірілу тығыздығы флуктуациясының құрылымын зерттеу жұмыстары жүргізілді. Жарылыстық және аралас типтегі оқиғалар анықталды. Бұл типтер әртүрлі фрагментациялық сипаттарға ие. Жарылыстық типтегі көптеген үдерістер көпзарядты фрагменттері болмайтын снаряд ядросының толығымен бұзылу үдерісі болып табылады. Аралас типтегі оқиғаларда көпзарядты фрагменттердің көп ретті түзілуі байқалады. Сонымен қатар аралас және жарылыстық типтегі оқиғалар екінші ретті бөлшектердің көпреттілігі бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Соның ішінде аралас типтегі оқиғалардың салыстырмалы саны әсерлесулерде айтарлықтай көбірек $Au+Em$ 10.7 А ГЭВ.

Кілт сөздер: ядролардың әрекеттестігі, көптеген үдерістер, фрагментация.

Summary

A. Sh. Gaitinov¹, A. I. Lebedeva^{1,2}, I. A. Lebedev¹

¹Institute of Physics and Technology, Almaty;

²Kazak National University of Al-Farabi, Almaty)

RESEARCH OF MULTIPARTICLE CORRELATIONS
IN INTERACTIONS OF 10.7 AGEV GOLD NUCLEI AND
158 AGEV LEAD NUCLEI WITH PHOTOEMULSION NUCLEI.

Research of fluctuations structure of pseudorapidity distributions of secondary particles, formed in interactions of 158 AGeV lead nuclei *Pb* and 10.7 AGeV gold nuclei *Au* with photoemulsion nuclei *Em* by Hurst method, is carried out. As result, events of the explosive and mixed type are found out. These types have various fragmentation characteristics. The most of events of explosive type are processes of full destruction of projectile nuclei, in which multi-charge fragments are absent. Events with several multi-charge fragments of projectile nucleus have Hurst curves corresponding processes of mixed type. Besides, events of the mixed and explosive type essentially differ on multiplicity of secondary particles. Moreover, relative number of events of the mixed type is much more in interactions *Au+Em* 10.7 АГэВ.

Keyword: interactions of the kernels, plural processes, a fragmentation.

Поступила 27.03.2013г