

ЭФФЕКТ "INTERMITTENCY" В КЛАСТЕРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

Н.Ангелов, В.Б.Любимов, Р.Тогоо

В ядерных взаимодействиях, в которых хотя бы часть вторичных частиц образуется через кластеры, наблюдается эффект усиления динамических флуктуаций плотности частиц. Результат получен на основе сравнения с данными для всех неупругих ядерных столкновений.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

"Intermittency" Effect in Cluster Nuclear Interactions

Angelov N., Lyubimov V.B., Togoo R.

In nuclear interactions in which only a part of secondary particles passes through clusters, the effect of strengthening of dynamic fluctuations of particle density is observed. The results are obtained in comparing with the data for all inelastic nuclear collisions.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

В в е д е н и е

Проблема изучения процессов множественного рождения частиц приобрела в последнее время как бы новое направление в связи с открывшейся возможностью анализа динамических флуктуаций плотности вторичных частиц в самых различных реакциях, вызванных лептонами, адронами и ядрами. Речь идет об анализе свойств масштабных факториальных моментов^{/1/}. Поведение этих моментов трактуется по аналогии с феноменом, известным как эффект "Intermittency" (перемежаемость) в гидродинамике турбулентных потоков жидкости. В этом подходе предлагается изучение зависимости факториальных моментов i -го порядка:

$$\langle F_i \rangle = \frac{1}{\langle \bar{n}_m \rangle^i} \langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^m n_m (n_m - 1) \dots (n_m - i + 1) \rangle$$

$$\langle \bar{n}_m \rangle = \langle \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_m \rangle, \quad (1)$$

от размеров быстрого разрешения $\delta y = \Delta y / M$. Здесь ΔY — изучаемый интервал быстрой, m — число разбиений этого интервала, n_m — множественность частиц в m -м интервале быстрой ($m = 1, \dots, M$). Усреднение $\langle \rangle$ производится по всем изучаемым событиям. В работе ^{/1/} показано, что чисто статистические флуктуации должны приводить к насыщению моментов $\langle F_1 \rangle$ с уменьшением разрешения δy . В случае же динамических (или физических по своей природе) флуктуаций δy -зависимость факториальных моментов имеет степенной характер:

$$\langle F_1 \rangle \sim (\Delta y / \Delta y)^{\Phi_1}. \quad (2)$$

Степенная зависимость (2) обнаружена практически во всех работах ^{/2/}, где использован при анализе флуктуаций указанный подход, и при этом выявлен ряд особенностей в поведении масштабных факториальных моментов. Это увеличение $\langle F_1 \rangle$ с увеличением порядка i , уменьшение степенной зависимости с увеличением "сложности" реакции (от e^+e^- до АА-взаимодействий, от взаимодействий малой множественности к взаимодействиям большей множественности); усиление эффекта при малых поперечных импульсах; отсутствие зависимости от зарядового состояния изучаемых экземпляров вторичных частиц и т.д. Все это дает возможность обсуждать физическую картину множественного рождения частиц, например роль адронных фазовых переходов ^{/3/}, адронного черенковского излучения ^{/4/}, адронную гидродинамику ^{/5/} или просто каскадный механизм ^{/1,8/}.

В настоящей работе обсуждаемый подход использован для анализа специально отобранных ядерных взаимодействий, в которых образование вторичных частиц (по крайней мере части их) можно трактовать как результат распада кластерных систем. Мы надеемся, что особенности в поведении масштабных факториальных моментов для этого набора взаимодействий могут дать сведения о роли механизма кластеризации в процессах множественного рождения частиц.

М е т о д и к а

Для анализа использовался набор экспериментальных данных по адрон- и ядро-ядерным взаимодействиям, полученным на сним-

Таблица 1. Статистика исследованных взаимодействий и множественность вторичных частиц в них *

Тип взаимодействия	Первичная энергия	Статистика		Множественность	
		все неупругие	"клас-терные"	все неупругие	"клас-терные"
$\pi^- C^{/7/}$	40 ГэВ/с	14699	4776	$5,40 \pm 0,03$ (4,0)	$6,52 \pm 0,04$ (2,8)
$p C^{/8/}$	10 ГэВ/с	5359	2844	$5,26 \pm 0,05$ (2,9)	$5,58 \pm 0,04$ (1,8)
$p Ta^{/8/}$	10 ГэВ/с	1751	1045	$4,79 \pm 0,02$ (1,0)	$5,79 \pm 0,03$ (0,9)
$(p, \alpha, He, C) C^{/9/}$	4,2 ГэВ/с на нуклон	23436	5722	$5,01 \pm 0,01$ (2,0)	$7,52 \pm 0,05$ (1,5)
$C Ta^{/9/}$	4,2 ГэВ/с	1955	—	$11,3 \pm 0,01$ (1,0)	—

* В скобках указаны значения выбранных интервалов быстрот (Δy).

ках с 2-метровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Статистика использованных событий вместе с данными по средней множественности вторичных частиц в них приведена в первых двух строках табл.1. В этой же таблице отмечены ссылки на работы, в которых можно найти методические подробности отбора и анализа использованных событий.

Методика выделения кластеров в рассматриваемых событиях, а также их свойства изложены в работах ^{/10/}. Здесь же отметим, что выделение кластеров производилось в пространстве нормированных к одинаковой массе относительных четырехскоростей или в пространстве переменных $b'_{ik} = (m_i m_k / m_0^2) b_{ik}$, где $b_{ik} = -(u_i - u_k)^2 / (u_{i,k} - 4)$ — 4-скорости частиц i и k , $m_{i,k}$ — их массы, m_0 — атомная единица массы). При этом применялся алгоритм "минимально-разветвленного дерева", в котором минимизируется сумма расстояний между частицами, с последующей процедурой итераций, в которой анализировалась степень сгущения частиц, причисленных к кластеру.

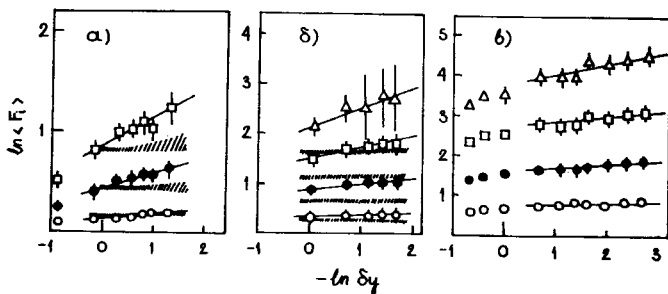
События, в которых был обнаружен хотя бы один кластер, относились к разряду "кластерных" взаимодействий и стали

основным объектом настоящего исследования. Статистика этих взаимодействий с соответствующими данными по множественности частиц, испущенных в выбранные интервалы быстрот (ΔY), приведена в табл.1.

Результаты

В качестве примера поведения масштабных факториальных моментов для нашего набора неупругих ядерных взаимодействий на рисунке показаны $\ln \langle F_i \rangle$ -зависимости моментов $\langle F_i \rangle$ для всех неупругих рС-столкновений ($P_p = 10$ ГэВ/с), СС- и СТа-столкновений ($P = 4,2$ ГэВ/с на нуклон), причем рС- и СС-столкновения — вместе с результатами для событий, смоделированных по каскадной модели ДКМ^{11/}. Результаты по значениям показателя Φ_i , полученным при аппроксимации этих распределений зависимостью (2), приведены в табл.2.

Можно отметить ряд особенностей в поведении моментов $\langle F_i \rangle$, на которые уже обращалось внимание в работах, выполненных при других энергиях и по другим методикам. Это прежде всего — наличие для всех случаев степенной зависимости факториальных моментов $\langle F_i \rangle$ от $\ln \Delta Y$, т.е. эффекта "Intermittency"; увеличение $\langle F_i \rangle$ с увеличением i ; тенденция к уменьшению показателей степенной зависимости Φ_i (для всех i) с увеличением "сложности" взаимодействия (рС \rightarrow СС \rightarrow СТа); и, наконец, отсутствие степенной зависимости для набора случайных событий, смоделированных по каскадной модели.



Факториальные моменты $\langle F_i \rangle$ (о — $i=2$, ● — $i=3$, □ — $i=4$, Δ — $i=5$) для рС-взаимодействий при $P = 10$ ГэВ/с (а), СС-взаимодействий при $P = 4,2$ ГэВ/с на нуклон (б) и СТа-взаимодействий при $P = 4,2$ ГэВ/с/Н (в). (Заштриховано — ДКМ).

Таблица 2. Значения параметра Φ_1 для неупругих взаимодействий*

Тип событий	pC	CC	CTa
2			
эксп.	$0,043 \pm 0,032$ (0,0)	$0,033 \pm 0,013$ (0,1)	$0,015 \pm 0,010$ (0,1)
ДКМ	$0,008 \pm 0,021$ (0,3)	$0,014 \pm 0,018$ (0,1)	—
3			
эксп.	$0,121 \pm 0,069$ (0,1)	$0,099 \pm 0,036$ (0,3)	$0,049 \pm 0,017$ (0,2)
ДКМ	$0,040 \pm 0,047$ (0,5)	$0,030 \pm 0,032$ (0,1)	—
4			
эксп.	$0,207 \pm 0,143$ (1,1)	$0,211 \pm 0,102$ (0,2)	$0,101 \pm 0,027$ (0,5)
ДКМ	$0,169 \pm 0,097$ (0,0)	$0,059 \pm 0,059$ (0,1)	—
5			
эксп.	—	$0,334 \pm 0,315$ (0,1)	$0,161 \pm 0,040$ (0,4)
ДКМ	—	$0,091 \pm 0,124$ (0,1)	—

* В скобках указаны значения χ^2 на степень свободы.

Таблица 3. Значения параметра Φ_1 для "кластерных" и неупругих ядерных столкновений *

Тип события	$(p, d, a, C)C$ (4,2 ГэВ/с /нукл.)	pGa (10 ГэВ/с)	π^-C (40 ГэВ/с)
2			
"Класт."	$0,051 \pm 0,015$ (0,2)	$0,112 \pm 0,032$ (0,1)	$0,039 \pm 0,015$ (0,1)
Неупр.	$0,034 \pm 0,009$ (0,1)	$0,026 \pm 0,017$ (0,1)	$0,026 \pm 0,008$ (0,2)
3			
"Класт."	$0,141 \pm 0,027$ (0,6)	$0,288 \pm 0,062$ (0,1)	$0,153 \pm 0,046$ (0,1)
Неупр.	$0,088 \pm 0,021$ (0,3)	$0,068 \pm 0,035$ (0,1)	$0,067 \pm 0,018$ (1,5)
4			
"Класт."	$0,267 \pm 0,047$ (1,5)	$0,453 \pm 0,111$ (0,2)	$0,427 \pm 0,089$ (0,2)
Неупр.	$0,147 \pm 0,045$ (0,4)	$0,080 \pm 0,058$ (0,5)	$0,133 \pm 0,041$ (0,1)
5			
"Класт."	$0,437 \pm 0,082$ (2,1)	$0,542 \pm 0,192$ (0,6)	$0,413 \pm 0,395$ (0,2)
Неупр.	$0,158 \pm 0,102$ (0,5)	$0,262 \pm 0,130$ (0,4)	$0,186 \pm 0,156$ (0,3)

* В скобках указаны значения χ^2 на одну степень свободы.

Такой же характер имеют δ -зависимости факториальных моментов $\langle F_i \rangle$ для "кластерных" взаимодействий, т.е. событий, в которых выделен хотя бы один кластер (не демонстрируются). Но самое главное для этих событий — это увеличение показателя степенной зависимости в выражении (2) для факториальных моментов $\langle F_i \rangle$ всех порядков i в сравнении с неупругими взаимодействиями. Причем этот результат относится ко всем типам имеющих в нашем распоряжении ядерных взаимодействий. Соответствующие сравнительные данные по значениям показателей Φ_i приведены в табл.3.

Как было отмечено во введении, обычно наблюдается уменьшение показателей Φ_i для событий с большей множественностью вторичных частиц. Из сравнения данных по множественности вторичных частиц в "кластерных" взаимодействиях и во всех неупругих столкновениях (табл.1) видно, что первым соответствуют большие множественности вторичных частиц. С нашей точки зрения, это обстоятельство только усиливает вывод о существенном влиянии процесса кластеризации в множественном рождении частиц на эффект увеличения факториальных моментов в "кластерных" взаимодействиях.

Таким образом, кроме подтверждения уже известных особенностей в поведении масштабных факториальных моментов при наших энергиях и рассмотренных типах столкновений, основной результат работы — это обнаружение факта увеличения показателей степенной зависимости факториальных моментов всех порядков i для взаимодействий, в которых образование хотя бы части вторичных частиц происходит через кластеры, в сравнении со всеми неупругими столкновениями. Сказанное лишней раз демонстрирует существенную роль явления кластеризации в процессах множественного рождения частиц.

Авторы благодарны коллективу сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры за обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Bialas A., Peschansky R. — Nucl.Phys., 1986, v.B273, p.703; 1988, v.B308, p.803.
2. Kittel W., Peschanski R. — Nucl.Phys. B. (Proc.Suppl.), 1990, v.16, p.445;
Баатар Ц. и др. — ЯФ, 1990, т.52, с.783; 1991, т.53, с.204.

3. Hwa R.C. — Phys.Lett., 1988, v.B201, p.165.
4. Дремин И.М. — Письма ЖЭТФ, 1980, т.30, с.152; ЯФ, 1981, т.33, с.1357.
5. Dias de Deus J. — Phys.Lett., 1987, v.B194, p.297.
6. Ochs W., Wosiek J. — Phys.Lett., 1988, v.B214, p.617.
7. Абдурахимов А.У. и др. — ОИЯИ, 1-6967, Дубна, 1973.
8. Агакишиев Г.Н. и др. — ЯФ, 1987, т.45, с.423.
9. Ангелов Н. и др. — ЯФ, 1981, т.33, с.1046;
Агакишиев Г.Н. и др. — ЯФ, 1981, т.34, с.1517.
10. Ангелов Н. и др. — В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 5 (38) -89, Дубна, ОИЯИ, 1989, с.11; № 2 (41) -90, Дубна, ОИЯИ, 1990, с.4; № 4 (43) -90, Дубна, ОИЯИ, 1990, с.20.
11. Гудима К.К., Тонеев В.Д. — ЯФ, 1978, т.27, с.669.

Рукопись поступила 23 января 1991 года.