

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-41

P1-95-41

В.В.Белага, А.А.Бенджаза<sup>1</sup>, В.В.Русакова,  
Д.А.Саломов<sup>2</sup>, Г.М.Чернов

О «ТЕМПЕРАТУРНОЙ» ЗАВИСИМОСТИ  
МЕХАНИЗМА ДИССОЦИАЦИИ  
ВОЗБУЖДЕННОГО ЯДРА УГЛЕРОДА  
В ТРИ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ

---

<sup>1</sup>Аденский университет, Республика Йемен

<sup>2</sup>Таджикский государственный университет, Душанбе

Изучение процесса мультифрагментации ядер при сравнительно невысоких энергиях возбуждения — один из прямых и весьма перспективных способов получения информации об их структуре и виде уравнения состояния ядерной материи. При описании механизма этого процесса «конкурируют» две, в некотором смысле крайние, точки зрения: представления о последовательных бинарных распадах возбужденной системы и о «мгновенной» диссоциации в систему наблюдаемых конечных фрагментов; разумеется, имеются и модельные подходы, сочетающие в себе оба указанных представления.

В ряде исследований (см., например, [1,2]) было найдено, что имеет место «температурная» зависимость механизма протекания реакций рассматриваемого типа: при небольших энергиях возбуждения ( $kT \leq 3$  МэВ/нуклон) доминируют последовательные бинарные распады, а при увеличении энергии ( $kT \geq 3+4$  МэВ/нуклон) — прямая мультифрагментация. С другой стороны, в работе [3] такого перехода (для реакции диссоциации  $^{16}\text{O} \rightarrow 4\alpha$ ) не было обнаружено: последовательные распады имели место даже при энергиях возбуждения  $\geq 4,5$  МэВ/нуклон.

В настоящей работе рассматривается вопрос о зависимости механизма фрагментации ядра от энергии его возбуждения для реакции диссоциации ядра углерода в три  $\alpha$ -частицы



при импульсе 4,5 ГэВ/с на нуклон. Для анализа мы использовали экспериментальный материал по реакции (1), полученный при поиске когерентных каналов этой реакции (события диссоциации ядра  $^{12}\text{C}$  в три  $\alpha$ -частицы без каких-либо признаков возбуждения или развала ядра-мишени) в обычной ядерной фотоэмульсии (Em) [4] и в эмульсии, обогащенной солями свинца (Em + Pb) [5], всего 116 событий. Детали фотоэмульсионных экспериментов по изучению реакций (1) приведены в [4,5]. Здесь необходимо отметить, что как в этих работах, так и в работе [6], в которой использовался спектрометр HISS на ускорителе Bevalac с углеродной мишенью, попытки разделить прямой канал реакции (1) с одновременным образованием трех  $\alpha$ -частиц и канал с промежуточным образованием ядра  $^8\text{Be}$  закончились неудачей вследствие близости одночастичных распределений по углам и им-

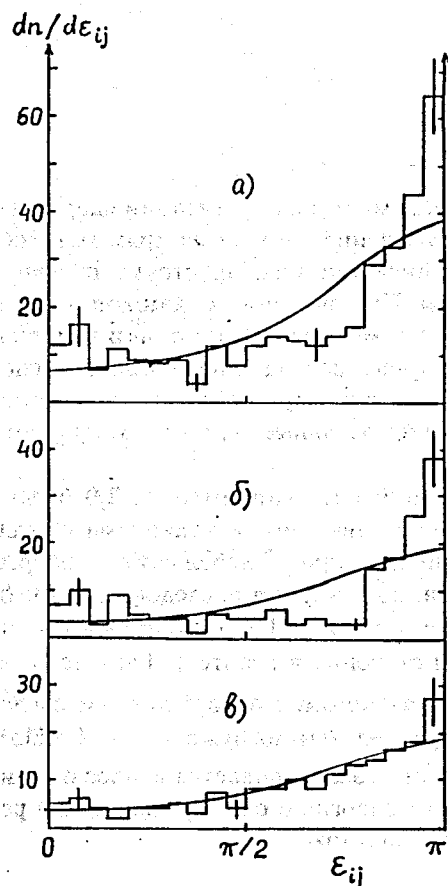


Рис.1. Распределения по углу  $\varepsilon_{ij}$  (2) в реакциях (1): а) все события; б) при  $\langle p_T \rangle < 100$  МэВ/с; в) при  $\langle p_T \rangle > 100$  МэВ/с. Кривые — расчет по модели прямого статистического распада  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$

пульсам вторичных  $\alpha$ -частиц в обоих каналах распада  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ . Однако в данной работе мы применим другой метод анализа.

На рис.1,а приведено распределение по парному азимутальному углу

$$\varepsilon_{ij} = \arccos \left( p_{T_i} p_{T_j} / p_{T_i} p_{T_j} \right) \quad (2)$$

между векторами поперечных импульсов  $p_{T_i}$  и  $p_{T_j}$   $\alpha$ -частиц из одного события в системе покоя распадающегося ядра-снаряда  $^{12}\text{C}$  (эти распределения для событий на Em и Em + Pb совпадают, что позволило нам объединить данные работ [4] и [5]). При прямом статистическом распаде на три  $\alpha$ -частицы это распределение должно описываться формулой

$$F(\varepsilon) = \frac{1}{\pi} (1 + C_1 \cos \varepsilon + C_2 \cos 2\varepsilon) \quad (3)$$

с коэффициентами

$$\begin{aligned} C_1 &= -(\pi/2) A, \\ C_2 &= -(\pi/2) B, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $A$  и  $B$  — коэффициенты азимутальной асимметрии и коллинеарности инклюзивного  $\varepsilon$ -распределения:

$$A = \left( \int_{\pi/2}^{\pi} F(\varepsilon) d\varepsilon - \int_0^{\pi/2} F(\varepsilon) d\varepsilon \right) / \int_0^{\pi} F(\varepsilon) d\varepsilon,$$

$$B = \left( \int_0^{\pi/4} F(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{3\pi/4}^{\pi} F(\varepsilon) d\varepsilon - \int_{\pi/4}^{3\pi/4} F(\varepsilon) d\varepsilon \right) / \int_0^{\pi} F(\varepsilon) d\varepsilon. \quad (5)$$

Значения  $A$  и  $B$  в прямом распаде  $\text{C} \rightarrow 3\alpha$  с учетом закона сохранения энергии-импульса приведены в последней строке таблицы. Распределение (3) с этими коэффициентами не описывает эмпирическое  $\varepsilon$ -распределение рис.1,а ( $\chi^2/\text{ст.св.} \cong 5,6$ ), при этом эмпирическое значение коэффициента  $A$  не противоречит расчетному, в то время как для коэффициента коллинеарности  $B$  налицо серьезное расхождение со значением, соответствующим прямому распаду.

Таблица

Набор событий	Характеристика		
	$A$	$B$	$\langle \beta \rangle$
Все $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$	$0,45 \pm 0,05$	$0,39 \pm 0,05$	$0,79 \pm 0,12$
При $kT \leq 2,5$ МэВ	$0,39 \pm 0,07$	$0,56 \pm 0,06$	$1,12 \pm 0,16$
При $kT \geq 2,5$ МэВ	$0,50 \pm 0,06$	$0,23 \pm 0,07$	$0,48 \pm 0,17$
Модель [7,8]	0,5	0,16	0,31

На рис.1,б,в приведены распределения по  $\epsilon_{ij}$  для подгруппы событий  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$  со средним поперечным импульсом  $\alpha$ -частиц в с.ц.м. фрагментирующего ядра углерода,  $\langle p_T \rangle = \sum_1^3 p_{T_i} / 3$ , меньшим или большим 100 МэВ/с (57 и 59 событий соответственно). «Граничное» значение температуры, соответствующее  $\langle p_T \rangle = 100$  МэВ/с, может быть оценено с помощью статистической теории быстрой фрагментации Фешбаха — Хуанга — Гольдхабер [7,8], согласно которой

$$kT = \frac{A}{A-1} (\sigma_N^2 / m_N),$$

$$\sigma_N^2 = \sigma_\alpha^2 (A-1) / A_\alpha (A-A_\alpha) \quad (6)$$

(параболический закон). Здесь  $A = 12$ ,  $A_\alpha = 4$ ,  $m_N$  — масса нуклона и, наконец,  $\sigma_\alpha^2 = 2\langle p_T \rangle^2 / \pi$ . Таким образом, граничное значение  $kT$  для двух рассматриваемых наборов событий составляет  $kT \cong 2,5$  МэВ.

Как видно из данных рис.1,б,в и численных значений коэффициентов  $A$  и  $B$ , для рассматриваемых подгрупп событий, приведенных в таблице:

а) распределения  $dn/d\epsilon_{ij}$  изменяются при увеличении «температуры» распада  $kT$ ; вероятность согласия распределений на рис.1,б,в, оцененная по критерию  $\chi^2$ , не превышает 2%;

б) распределение  $dn/d\epsilon_{ij}$  при  $kT \geq 2,5$  МэВ не противоречит предположению о прямом распаде ядра  $^{12}\text{C}$  на три  $\alpha$ -частицы; при  $kT \leq 2,5$  МэВ это предположение не согласуется с экспериментом.

Тенденцию к коллинеарности поперечных импульсов  $\alpha$ -частиц в поперечной плоскости удобно характеризовать также распределением по коэффициенту

$$\beta = \sum_{i \neq j} \cos 2\epsilon_{ij} / \sqrt{N_\alpha(N_\alpha - 1)} = \sum_{i \neq j} \cos \epsilon_{ij} / \sqrt{6} \quad (7)$$

$$(-\sqrt{N_\alpha / (N_\alpha - 1)} < \beta < \sqrt{N_\alpha / (N_\alpha - 1)}),$$

характеризующему степень коллинеарности векторов  $p_{T_i}$  в отдельном событии с множественностью  $N_\alpha$  (рис.2). Среднее значение  $\langle \beta \rangle$  в рассматриваемых наборах реакций (1) вместе с расчетами согласно статистической теории [9] приведены в последнем столбце таблицы. Все эти данные полно-

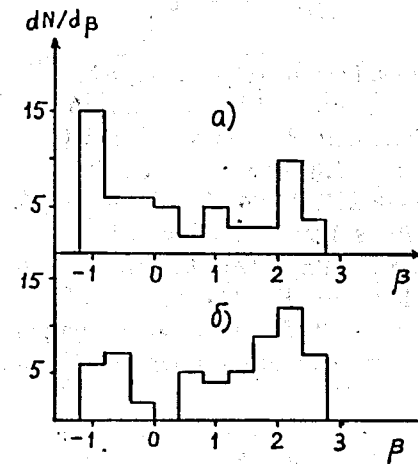


Рис.2. Распределения по коэффициенту коллинеарности  $\beta$  в событиях с  $\langle p_T \rangle < 100$  МэВ/с (а) и  $\langle p_T \rangle > 100$  МэВ/с (б)

стью согласуются с заключениями а) и б), сделанными при анализе инклюзивного  $\epsilon$ -распределения.

Совокупность представленных данных позволяет заключить, что зависимость механизма мультифрагментации от энергии возбуждения фрагментирующего ядра, по-видимому, имеет место. Для реакции  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$  при  $kT \leq 2,5$  МэВ результаты нашего анализа позволяют предположить существенный вклад «каскадного» канала диссоциации  $^{12}\text{C} \rightarrow ^8\text{Be} + \alpha \rightarrow 3\alpha$ , в то время как при  $kT \geq 2,5$  МэВ наши данные в пределах ошибок не противоречат предположению о прямом механизме распада.

Альтернативным гипотезе «каскадного» распада является предположение о передаче фрагментирующему ядру  $^{12}\text{C}$  углового момента, наличие которого также приводит к коллинеарности разлета  $\alpha$ -частиц в поперечной плоскости [5]. При этом, однако, нелегко понять, почему угловой момент присущ случаям с малой энергией возбуждения. В то же время наблюдаемую зависимость степени коллинеарности от  $kT$  можно понять в рамках концепции о переходе от последовательности бинарных распадов к быстрой мультифрагментации при увеличении температуры. Разумеется, для уверенного вывода о причинах тенденции к коллинеарности и ее зависимости от  $\langle p_T \rangle$  (или  $kT$ ) необходим дальнейший, основанный на большем статистическом материале, анализ, который мы надеемся выполнить в будущем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Campi X. et al. — Phys. Lett. B, 1984, v.142, p.8.
2. Bizard G. et al. — Phys. Lett. B, 1993, v.302, p.162.
3. Pouliot J. et al. — Phys. Lett. B, 1993, v.299, p.210.
4. Абдуразакова У. и др. — ЯФ, 1984, т.39, с.272.
5. Белара В.В. и др. — ОИЯИ, P1-94-285, Дубна, 1994.
6. Engelage J. et al. — Phys. Lett. B, 1986, v.179, p.34.
7. Feshbach H., Huang K. — Phys. Lett. B, 1973, v.47, p.300.
8. Goldhaber A.S. — Phys. Lett. B, 1974, v.53, p.306.
9. Бондаренко А.И. и др. — В сб.: «Упругие и неупругие соударения частиц большой энергии с нуклонами и ядрами». Ташкент, 1975, с.119—165.

Рукопись поступила в издательский отдел

2 февраля 1995 года.

Белага В.В. и др.

P1-95-41

О «температурной» зависимости механизма диссоциации возбужденного ядра углерода в три альфа-частицы

Показано, что степень компланарности поперечных импульсов альфа-частиц, образованных в реакции  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$  при  $p_0 = 4,5$  ГэВ/с на нуклон, уменьшается при увеличении их среднего поперечного импульса (или «температуры» события). Это наблюдение согласуется с представлением о переходе от последовательных бинарных распадов к прямой мультифрагментации с увеличением энергии возбуждения ядер.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1995

Belaga V.V. et al.

P1-95-41

On the «Temperature» Dependence of Mechanizm of Exited Carbon Nucleus Break-Up into Three Alpha-Particles

It was shown that the complanarity of the transverse momenta of alpha-particles produced in the  $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$  reaction at  $p_0 = 4,5$  GeV/c per nucleon decreases with the increasing of their averaged values (or with the event «temperature»). This observation is in agreement with the picture about the transition from the sequent binary fission to the prompt multifragmentation with the increasing of the nuclear excitation energy.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1995