

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
ЧАСТИЦЫ И ПОЛЯ

ИЗУЧЕНИЕ ПАРНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ МЕЖДУ
α-ЧАСТИЦАМИ – ФРАГМЕНТАМИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

© 1996 г. В. В. Белага, А. И. Бондаренко, Ш. А. Рустамова¹⁾, Г. М. Чернов

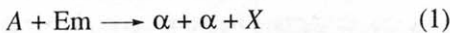
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Поступила в редакцию 03.10.95 г.

Обнаружены особенности в спектрах относительных углов и эффективных масс пар релятивистских α-частиц из неупругих взаимодействий ядер ¹²C, ¹⁴N, ²²Ne, ²⁴Mg, ²⁸Si и ⁵⁶Fe в эмульсии при $p_0 = 2.5-4.5$ ГэВ/с на нуклон. Оценены доля α-частиц – продуктов распада промежуточного ядра ⁸Be – среди двухзарядных спектаторных фрагментов релятивистских ядер-снарядов и характер ее А-зависимости.

Отсутствие в трековых приборах энергетического порога регистрации заряженных осколков ядер, имеющих околосветовые скорости, дает возможность исследовать процесс мультифрагментации релятивистских ядер-снарядов при малых передаваемых им 4-импульсах. Названные обстоятельства делают изучение таких реакций крайне привлекательным для извлечения прямой экспериментальной информации о внутренней структуре ядер и виде уравнения состояния ядерного вещества. Весьма важно при этом знать, происходит ли формирование конечного состояния реакции мультифрагментации ядер “одноментно” (механизм “прямого” распада) или растягивается во времени в результате серии последовательных распадов (“каскадный” механизм). Имеющаяся информация по данному вопросу для области релятивистских энергий фрагментирующих ядер крайне скудна и противоречива.

В настоящем сообщении представлены первые результаты поиска парных корреляций между релятивистскими α-частицами – спектаторными фрагментами ядер-снарядов в реакциях



(А – первичное ядро, Em (ядерная фотоэмульсия) – мишень, X – “все остальное”). Ранее парные корреляции между легкими фрагментами (p, d, α) – продуктами фрагментации остаточных ядер в ядро-ядерных взаимодействиях – изучались лишь при малых энергиях столкновения [1–3]. Корреляции, связанные с распадом промежуточных нестабильных квазиядерных резонансов, были обнаружены, например, для комбинаций p-α, d-α и α-α в соударениях ¹⁶O + ²⁷Al при энергии 140 МэВ [3].

Для поиска резонансоподобных промежуточных образований в системе двух α-частиц при релятивистских энергиях мы использовали

данные по АEm-соударениям, полученные в экспериментах с ядрами ¹²C ($p_0 = 4.5A_C$ ГэВ/с) [4], ¹⁴N ($p_0 = 2.9A_N$ ГэВ/с) [5], ²²Ne ($p_0 = 4.1A_{Ne}$ ГэВ/с) [6], ²⁴Mg ($p_0 = 4.5A_{Mg}$ ГэВ/с) [7], ²⁸Si ($p_0 = 4.5A_{Si}$ ГэВ/с) [8] и ⁵⁶Fe ($p_0 = 2.5A_{Fe}$ ГэВ/с) [9] на ускорителях в Дубне (ЛВЭ ОИЯИ) и Беркли (BNL). Эксперименты [4–9] были выполнены в идентичных по методике условиях; фрагменты с зарядом Z = 2 (подавляющее большинство среди которых составляют α-частицы) были идентифицированы в этих экспериментах практически со 100%-ной эффективностью.

Полное число неупругих ядро-ядерных взаимодействий, измеренных и проанализированных в [4–9], составляет свыше 14 тыс. событий, эксперименты выполнялись в условиях 4π-геометрии.

Для выяснения механизма фрагментации ядер в α-частицы и, в частности, для получения ответа на вопрос о возможной роли “каскадного” протекания распада (через образование промежуточного ядра ⁸Be) нами рассмотрены распределения по относительному пространственному углу θ_{ij} между импульсами i-й и j-й α-частиц из реакции (1) и по эффективной массе M_{ij}^* каждой пары. Отметим, что одночастичные распределения фрагментов (например, по поперечным импульсам α-частиц) оказываются нечувствительными к выбору между “прямым” и “каскадным” механизмами мультифрагментации даже в простейшем случае эксклюзивной реакции ¹²C → 3α [10, 11].

На рис. 1а, 1б приведены распределение dN/dM_{ij} (просуммированное по всем ансамблям АEm-соударений) и распределение $dN/d\theta_{ij}$ (для соударений ¹²C, ²²Ne, ²⁴Mg и ²⁸Si при близких первичных энергиях на нуклон). Подчеркнем, что эти распределения не независимы, так как

$$M_{ij} \equiv M_{ij}^* - 2m = [2(m^2 + E_i E_j - p_i p_j \cos \theta_{ij})]^{1/2} - 2m \quad (2)$$

¹⁾ Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, Ташкент.

(m , E и p – масса, полная энергия и импульс α -частицы). На рис. 1 представлены также соответствующие фоновые распределения (кривые). Они получены в результате смешивания разных событий реакции (1), которое является стандартной процедурой, используемой для сравнения данных в случае полностью некоррелированной эмиссии частиц изучаемого типа.

Оба распределения рис. 1 обнаруживают по крайней мере два статистически обеспеченных максимума при $M_{ij} \rightarrow 0$ и $M_{ij} \approx 3$ МэВ (или $\theta_{ij} \approx 0.15^\circ$ и $0.6-0.7^\circ$). Их положение отвечает значениям, ожидаемым для продуктов распада нестабильного ядра ${}^8\text{Be}$ в основном (0^+) и первом возбужденном (2.9 МэВ, 2^+) состояниях. Соответствие особенностей в распределении $dN/d\theta_{ij}$ этой гипотезе подтверждается и расчетом, основанным на статистической теории [12] образования и распада промежуточного ядра ${}^8\text{Be}$ в реакциях (1). Отметим также, что статистическая обеспеченность первого максимума имеет место в каждом из анализируемых наборов ядро-ядерных соударений; для второго максимума превышение над фоном на уровне ≥ 2 стандартных отклонений было зафиксировано в ансамблях соударений ядер ${}^{12}\text{C}$, ${}^{22}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$ и ${}^{28}\text{Si}$.

Для оценки доли релятивистских α -частиц, являющихся продуктами распада промежуточного ядра ${}^8\text{Be}$ в реакциях (1), среди всех спектаторных фрагментов с $Z = 2$ (образующихся в результате фрагментации релятивистских ядер-снарядов в ядро-ядерных взаимодействиях) мы определили число пар α -частиц в области указанных на рис. 1 максимумов. Эти максимумы обеспечивают избыток над фоновыми кривыми при нормировке последних к экспериментальным спектрам в областях $M_{ij} > 4$ МэВ или $\theta_{ij} > 1^\circ$ (неравенство с θ – для “дубненских” первичных энергий). Результаты оценки представлены на рис. 2; среднее значение доли α -частиц (для суммарного ансамбля реакций) составляет $(10 \pm 1)\%$.

Как видно из рис. 2, величина этой доли слабо зависит (или вовсе не зависит) от массового числа A фрагментирующего ядра-снаряда. Разумеется, точность сделанного утверждения не очень высока, к тому же мы склонны считать полученную оценку нижним пределом соответствующей доли, так как ошибка измерений в рассматриваемых экспериментах не позволяла, например, уверенно регистрировать продукты распада более высоких возбужденных состояний ядра ${}^8\text{Be}$. Отметим, наконец, что α -частицы в конечном состоянии реакций мультифрагментации возбужденных ядер могут быть продуктами распада и многих других промежуточных нестабильных объектов.

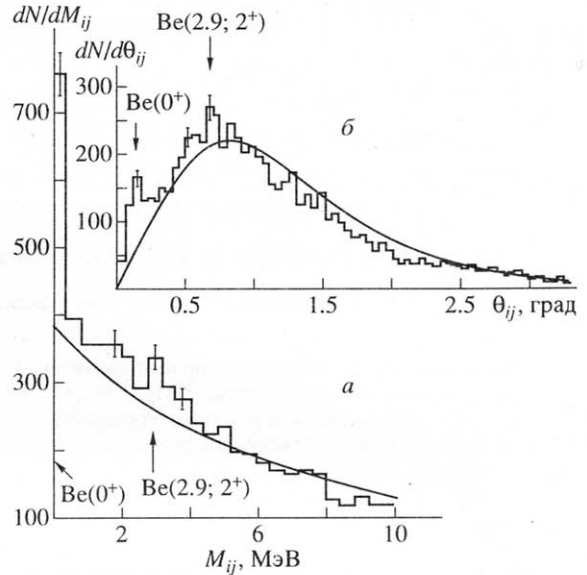


Рис. 1. Распределения по M_{ij} (а) и θ_{ij} (б) для суммарных наборов АЕт-соударений. Кривые – распределения для пар α -частиц из разных событий (“некоррелированный фон”). Стрелками показаны ожидаемые значения особенностей, обусловленные распадами ${}^8\text{Be}$ в состояниях $(0; 0^+)$ и $(2.9 \text{ МэВ}; 2^+)$.

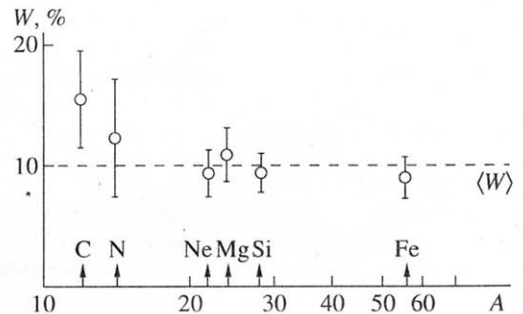


Рис. 2. Зависимость доли “каскадных” α -частиц среди всех спектаторов снаряда с $Z = 2$ от массового числа фрагментирующего ядра.

Авторы благодарны коллегам по работам [4–9], вложившим большой труд в получение использованного здесь экспериментального материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pochodzalla J. et al.* // Phys. Rev. 1987. V. C35. P. 1695.
2. *DeYoung P.A. et al.* // Phys. Rev. 1989. V. C39. P. 128.
3. *Gordon M.S. et al.* // Phys. Rev. 1992. V. C46. P. 1.
4. *Бондаренко П.А. и др.* // ЯФ. 1983. Т. 38. С. 1483.
5. *Chernov G.M. et al.* // Nucl. Phys. 1977. V. A280. P. 478.
6. *Андреева Н.П. и др.* // ЯФ. 1988. Т. 47. С. 157; 949.

7. *Бондаренко А.И. и др. // ЯФ. 1992. Т. 55. С. 137.*
8. *Краснов С.А. и др. Сообщение ОИЯИ Р1-88-252. Дубна, 1988.*
9. *Chernov G.M. et al. // Nucl. Phys. 1984. V. A412. P. 534.*
10. *Абдуразакова У.А. и др. // ЯФ. 1984. Т. 39. С. 272.*
11. *Белага В.В. и др. Препринт ОИЯИ Р1-94-285. Дубна, 1994; ЯФ. 1996. Т. 59. № 5.*
12. *Goldhaber A.S. // Phys. Lett. 1974. V. B53. P. 306.*

A STUDY OF PAIR CORRELATIONS BETWEEN α -PARTICLES – FRAGMENTS OF RELATIVISTIC NUCLEI

V. V. Belaga, A. I. Bondarenko, Sh. A. Rustamova, G. M. Chernov

The peculiarities in distributions on the relative angles and effective masses of relativistic α -particles from inelastic interactions of ^{12}C , ^{14}N , ^{22}Ne , ^{24}Mg , ^{28}Si and ^{56}Fe projectiles in emulsion at $p_0 = 2.5\text{--}4.5$ GeV/c per nucleon have been discovered. The fraction of α -particles created in the decays of ^8Be nuclei among all the double-charge spectator fragments of relativistic projectile nuclei and the character of their A -dependence are evaluated.