

## ЭМИССИЯ ФРАГМЕНТОВ ИЗ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЯДЕР, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИЯХ $^{232}\text{Th}+^{12}\text{C}$ И $^{181}\text{Ta}+^{52}\text{Cr}$

Ю.А.Музычка, Б.И.Пустыльник

На основе модели каскадного испарения нуклонов и фрагментов проведены расчеты сечений образования фрагментов с  $Z = 3 \div 20$  при распаде возбужденных ядер, образующихся в реакциях  $^{181}\text{Ta} + ^{52}\text{Cr}$  и  $^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$ . Наблюдается качественное различие, для объяснения которого нужно предполагать, что в случае реакции с ионами хрома возрастает деформация остаточного ядра, или лишь 10 ÷ 20% от выхода равновесных фрагментов определяется каналом распада составного ядра, а остальная доля связана с другими каналами глубоконеупругого взаимодействия ядер.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

### Emission of Fragments in the Decay of the Excited Nuclei Produced in the Reactions

$^{181}\text{Ta}+^{52}\text{Cr}$  and  $^{232}\text{Th}+^{12}\text{C}$

Yu.A.Muzychka, B.I.Pustyl'nik

On the basis of the nucleon evaporation model the cross sections have been calculated for the formation of fragments with  $Z = 3 \div 20$  in the decay of the excited nuclei produced in the reactions  $^{181}\text{Ta} + ^{52}\text{Cr}$  and  $^{232}\text{Th} + ^{12}\text{C}$ . It is found that there is a qualitative difference in fitting to the experimental results for these two reactions. This difference can be explained if it is assumed that in the  $^{52}\text{Cr}$ -induced reaction the deformation of residual nuclei increases, or only 10-20% of the equilibrium fragment yield is due to compound nucleus decay, the rest being formed as a result of the deep inelastic interaction of the nuclei.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

В последнее время получены экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что заметная доля выхода фрагментов с  $Z > 2$ , образующихся в ядерных реакциях с тяжелыми ионами, в заднюю полусферу, связана с распадом возбужденных составных ядер, либо долгоживущих промежуточных систем. Эти работы по-

выселили интерес к теоретическому рассмотрению процесса испускания равновесных фрагментов <sup>1, 2/</sup>. Ранее нами на основе модели каскадного испарения нуклонов и фрагментов были проведены расчеты сечений образования равновесных фрагментов с  $Z=3 \div 11$  при распаде возбужденных ядер, образующихся в реакциях  ${}^3\text{He} + \text{Ag}$  и  ${}^{40}\text{Ar} + (\text{Ag}, \text{Sm}, \text{Au})$  <sup>3, 4/</sup>. Окончательная формула для расчетов сечений испарения кластеров из возбужденных ядер с учетом нескольких ступеней нейтронного испарительного каскада была представлена в виде

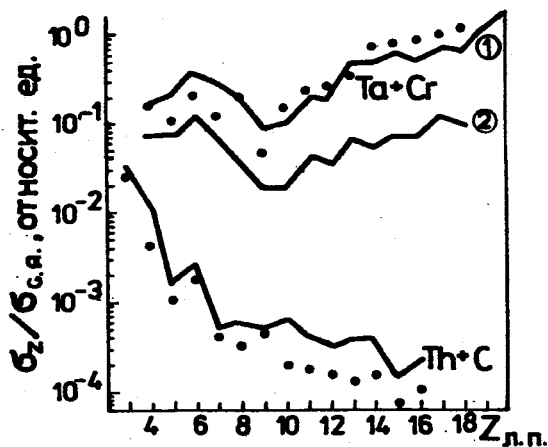
$$\sigma = \sum_{\ell=0}^{\ell_{\text{кр}}} \sigma_{\text{с.я.}}^{\ell} \cdot \sum_{i=0}^m \frac{\Gamma_{\nu, \ell}^{(i)}}{\Gamma_{f, \ell}^{(i)} + \sum_{n, p} \Gamma_{n(p), \ell}^{(i)} + \sum_{\nu} \Gamma_{\nu, \ell}^{(i)}} \times$$

$$\times \prod_{k=0}^{i-1} \frac{\Gamma_{n, \ell}^{(k)}}{\Gamma_{f, \ell}^{(k)} + \sum_{n, p} \Gamma_{n(p), \ell}^{(k)} + \sum_{\nu} \Gamma_{\nu, \ell}^{(k)}}$$

где  $m$  — число ступеней нейтронного испарительного каскада. Расчеты проведены для каждого  $\ell$  с шагом по энергии возбуждения в 1 МэВ. Испарительные ширины для нуклонов и фрагментов  $\Gamma_n$ ,  $\Gamma_p$  и  $\Gamma_{\nu}$  рассчитывались в статистической модели с использованием плотности уровней в модели ферми-газа. Использовалось стандартное выражение для делительной ширины  $\Gamma_f$  с учетом эффектов вращения в модели CPS <sup>5/</sup>. Анализ показал, что на результаты расчета сильное влияние оказывает учет оболочечных эффектов в параметре плотности уровней остаточных ядер и учет коллективных эффектов, связанных с изменением равновесной деформации и углового момента в остаточных ядрах после вылета нуклонов и фрагментов.

Мы также отмечали, что в случае ионов Ag отождествление долгоживущей промежуточной системы, дающей вклад в выход кластеров в задней полусфере, с составным ядром является более проблематичным, чем в случае реакций с  ${}^3\text{He}$ , однако расчет по испарительной модели и в этом случае приводит к удовлетворительному согласию с экспериментальными данными, если увеличить на 5 ÷ 7% величину  $r_0$ , входящую в формулу для кулоновского взаимодействия кластеров и остаточного ядра. Недавно появились экспериментальные данные по сечениям эмиссии равновесных фрагментов с  $Z=3 \div 16$  в реакциях  ${}^{232}\text{Th} + {}^{12}\text{C}$  и  ${}^{181}\text{Ta} + {}^{52}\text{Cr}$  <sup>6/</sup>, из которых можно сделать более надежное заключение о вкладе

Сравнение экспериментальных сечений ( $\bullet$ ) образования фрагментов с результатами расчета (—). Экспериментальные данные взяты из работы<sup>/6/</sup>, где они представлены в относительных единицах. В реакции Ta+Cr, кривая 1 соответствует  $r_0 = 1,3$ , кривая 2 —  $r_0 = 1,23$ .



канала эмиссии фрагментов из возбужденных составных ядер  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{233}\text{Вк}$  в полное сечение образования равновесных фрагментов. Составные ядра имеют близкую энергию возбуждения и предельный угловой момент ( $\sim 130 \div 140$  МэВ,  $\sim 65h$ ), вместе с тем сильно отличаются числом нейтронов. Несмотря на то, что  $\sigma_{с.я.}(\text{Th+C}) / \sigma_{с.я.}(\text{Ta+Cr}) \sim 6$ , выход фрагментов в реакции с ионами углерода меньше, чем с ионами хрома примерно в  $20 \div 500$  раз при  $Z$ , меняющемся от 6 до 16. Были проведены расчеты сечений эмиссии фрагментов с  $Z=3 \div 20$  из возбужденных составных ядер, образующихся в этих реакциях. Для реакции с ионами  $^{12}\text{C}$  удовлетворительное согласие результатов расчета с экспериментом получено при  $r_0 = 1,23$  фм, что согласуется с расчетами для  $^3\text{He}$ , в то время как в случае ионов хрома также необходимо было использовать  $r_0 = 1,3$  фм. При  $r_0 = 1,23$  фм в случае ионов хрома расчетное отношение выхода фрагментов  $\sigma_\nu(\text{Ta+Cr}) / \sigma(\text{Th+C})$  меняется всего от 3 до 10 при  $Z$ , меняющемся от 6 до 16 (см. рисунок).

Таким образом, наблюдается качественное различие, для объяснения которого нужно либо предполагать, что при реакции с ионами хрома возрастает деформация остаточного ядра, либо в этой реакции лишь  $10 \div 20\%$  от выхода равновесных фрагментов определяются каналом распада составного ядра, а остальная доля связана с другими каналами глубоконеупругого взаимодействия ядер<sup>/7/</sup>.

Нам кажется, что дальнейшее исследование процессов с испусканием равновесных фрагментов может явиться хорошим средством изучения характеристик нагретых ядер в широком диапа-

зоне масс и энергий возбуждения. Кроме того, при рассмотрении новых возможных механизмов образования фрагментов необходимо иметь представление о том, какая часть этих фрагментов может быть связана с обычной статистической моделью распада возбужденных ядер.

В заключение авторы выражают благодарность В.В.Волкову и А.Н.Мезенцеву за полезные обсуждения.

### Л и т е р а т у р а

1. Moretto L.G. — Nucl. Phys., 1975, A247, p.211.
2. Blann M., Komoto M. — Phys. Rev., 1982, C24, p.426.
3. Музычка Ю.А., Пустыльник Б.И. — ЯФ, 1987, 45, с.90.
4. Музычка Ю.А., Пустыльник Б.И., Авдейчиков В.В. — В сб.: Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов, ОИЯИ. Д7-87-68, Дубна, 1987, с.589.
5. Cohen S., Plasil F., Swiatecki W.S. — Ann. Phys., 1974, 82, p.557.
6. Мезенцев А.Н. и др. — В сб.: Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов (сборник аннотаций). ОИЯИ, Д7-89-531, Дубна, 1989, с.99.
7. Волков В.В. — В сб.: Международная школа-семинар по физике тяжелых ионов (сборник аннотаций). ОИЯИ, Д7-89-531, Дубна, 1989, с.97.

Рукопись поступила 13 декабря 1989 года.