

ИЗУЧЕНИЕ МАССОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ,  
ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ СОСТАВНОЙ СИСТЕМЫ С  $Z=108$

Х.Зодан, Э.Вилл, С.М.Лукьянов, Ю.Ц.Оганесян,  
Ю.Э.Пенионжкевич, Г.Г.Чубарян\*, П.Гиппнер\*\*, В.Зайдель\*\*,  
К.Д.Филлинг\*\*

Приведены результаты экспериментального исследования массовых распределений продуктов реакций  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  и  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$ , приводящие к образованию составной системы с  $Z=108$ . Опыты проведены на двухплечевом время-пролетном спектрометре установки "ДЭМАС". Показано, что в изученных реакциях преобладающий вклад в общее число регистрируемых совпадений составляют двухтельные процессы, а форма массовых распределений сильно зависит от параметра асимметрии входного канала. При энергии налетающего иона вблизи барьера взаимодействия в комбинации  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  наблюдаются структурные особенности в массовых распределениях в виде повышенного выхода продуктов в области масс  $A=210$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Study of Decay Product Mass Distributions in Reactions Leading to Composite Systems with  $Z=108$   
Sodan H. et al.

The decay product mass distributions studied experimentally in the heavy-ion reactions  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  and  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$  leading to composite systems with  $Z=108$  are presented. The experiments were carried out with the double-arm time-of-flight spectrometer "DEMAS". In the reactions investigated here, the predominant part of coincident events observed is shown to be due to two-body processes. The shape of the mass distributions strongly depends on the mass asymmetry parameter in the entrance

---

\* Ереванский физический институт

\*\* Центральный институт ядерных исследований  
АН ГДР, Россендорф

channel. At bombarding energies close to the interaction barrier the mass distributions for the  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  reaction exhibit enhanced yields in the region of  $A = 210$ .

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

Реакции "холодного" слияния ядер, приводящие к образованию составных ядер с энергией возбуждения  $E^* \approx 20\text{--}40$  МэВ, широко используются для синтеза трансфермиевых элементов. В этих реакциях при облучении мишеней из свинца и висмута ионами титана, хрома и железа синтезированы изотопы элементов с  $Z = 106\text{--}109$ <sup>/1,2/</sup>. Сечения образования таких ядер в основном состоянии составляют величину  $10^{-33} \div 10^{-35}$  см<sup>2</sup> и сильно зависят от энергии кулоновского взаимодействия ядер-партнеров<sup>/3/</sup>. Поскольку тяжелые составные ядра испытывают в значительной доле случаев деление, исследование механизма реакции слияния может быть проведено путем измерения совпадения осколков вынужденного деления. Однако известно, что образование двух фрагментов в выходном канале реакции обусловлено различными механизмами /реакции слияния-деления, быстрого- и квазиделения, глубоко-неупругих передач и т.д./, вклад которых зависит от характеристик входного канала, например, от массовой асимметрии, от энергии налетающего иона и орбитального углового момента. Поэтому для определения вклада различных механизмов необходимо исследование массовых, энергетических и угловых распределений двух коррелированных фрагментов процесса распада составной системы. Такой возможностью обладает двухплечевой времяпролетный спектрометр установки ДЭМАС<sup>/4/</sup>.

В настоящей работе представлены результаты исследований массовых распределений продуктов реакции  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  и  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$ . Эти комбинации выбирались с целью получения одной и той же системы  $Z_{\text{II}} + Z_{\text{M}} = 108$  в диапазоне энергий  $E_{\text{II}}/V_{\text{кул}} = 1,03\text{--}1,5$ , что соответствует диапазону массовой асимметрии  $\eta = (A_{\text{M}} - A_{\text{II}})/(A_{\text{M}} + A_{\text{II}}) = 0,58\text{--}0,84$  и энергии возбуждения  $E^* \approx 45\text{--}100$  МэВ.

Энергии и координаты двух коррелированных продуктов измерялись с помощью газонаполненных позиционно-чувствительных ионизационных камер<sup>/5/</sup>, а их скорости - детекторами вторичной эмиссии электронов на основе микроканальных пластин, и плоскопараллельными лавинными счетчиками<sup>/4/</sup>. Интервал углов, в котором регистрировались продукты реакции, составлял величину  $\Delta\theta = 15^\circ$  в плоскости реакции. Кинематические расчеты показывают, что для регистрации двух кор-

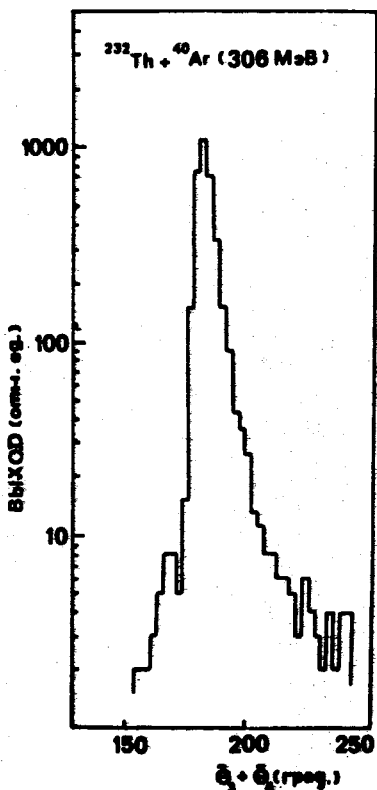


Рис.1. Выход продуктов реакции  $^{40}\text{Ar} / 302 \text{ МэВ} / + ^{232}\text{Th}$  в зависимости от суммы углов разлета в системе центра масс.

релированных частиц в диапазоне отношения масс  $A_3/A_4 = 0,22 \pm 4,5$  /от продуктов упругого рассеяния до фрагментов равной массы/ необходим интервал углов  $30^\circ \pm 40^\circ$  в одном детекторе, если другой охватывает интервал  $15^\circ$  в плоскости реакции. Поэтому регистрация совпадающих продуктов проводилась в серии последовательных измерений. При этом положение одного временно-пролетного "плеча" оставалось неизменным, а другое перемещалось по углу, соответствующему условиям регистрации совпадающих с первым плечом событий. В этих

условиях преобладающий вклад в общее число регистрируемых совпадений составляют события, идущие с полной передачей импульса налетающей частицей /рис.1/. На рисунке представлен выход продуктов в зависимости от суммы их углов разлета в системе центра масс.

Проверка разрешающей способности спектрометра по массам осуществлялась по упругому рассеянию ионов аргона с энергией 220 МэВ на ядрах мишени из  $^{232}\text{Th}$ . Из измерений следует, что абсолютное массовое разрешение в данном случае составляет величину  $+1,5$  а.е.м. и практически не зависит от массы регистрируемого иона.

На основе времени пролета и углов разлета продуктов двухтельной реакции извлекалась информация об их массах и энергиях. В процессе обработки данных, которые накапливались на магнитном диске ЭВМ СМ-3, при наличии совпадения всех измеренных параметров, проверялось условие коллинеарности в системе центра масс  $\theta_3 + \theta_4 = \pi$  /см. рис.1/ для каждого корреляционного события. При выполнении этого условия решение системы уравнений

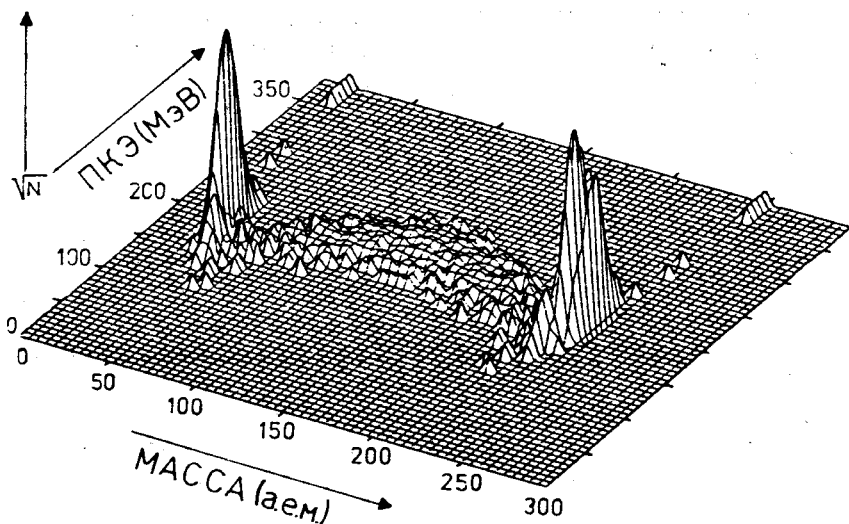


Рис.2. Выход продуктов реакции  $^{40}\text{Ar} / 220 \text{ МэВ} / + ^{232}\text{Th}$  в зависимости от их массы и полной кинетической энергии.

$$A_1 + A_2 = A = A_3 + A_4, \quad /1/$$

$$A_3 v_3 \sin \theta_3 = A_4 v_4 \sin \theta_4, \quad /2/$$

$A_i$  - массы ядер,  $v_{3,4}$  - скорости,  $\theta_{3,4}$  - углы разлета продуктов в лабораторной системе координат/ дает массы продуктов  $A_3$  и  $A_4$ . Учитывались также поправки на потери энергии в пленках детектирующей системы. Следует отметить, что корреляционная методика, основанная на определении масс продуктов из измеренных скоростей и углов разлета, позволяет получить значение полной кинетической энергии /ПКЭ/ и масс "первичных" продуктов реакции до испарения нейтронов. В качестве примера на рис.2 представлены выходы продуктов реакции  $^{40}\text{Ar} / 220 \text{ МэВ} / + ^{232}\text{Th}$  в зависимости от их масс и ПКЭ.

Массовые распределения продуктов реакций  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$ ,  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  и  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$  представлены на рис.3 и 4. Из рис.3 видно, что для ионов Ne и Ar с энергией  $E_{\text{цм}}/B = 1,5$  максимальный выход продуктов в области масс  $A_{\text{и}} < A < A_{\text{м}}$  наблюдается при значении  $A = (A_{\text{и}} + A_{\text{м}}) / 2$ . Массовое распределение имеет форму гауссиана, полуширина которого увеличивается при переходе от Ne к Ar. В случае комбинации  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$  выход симметричных продуктов реакции сильно уменьшается по сравнению с выходом асимметричных продуктов, расположенных на "хвостах" пиков, соответствующих упругому рассеянию. Сильное изменение формы массового распределения можно объяснить уменьшением параметра асимметрии входного

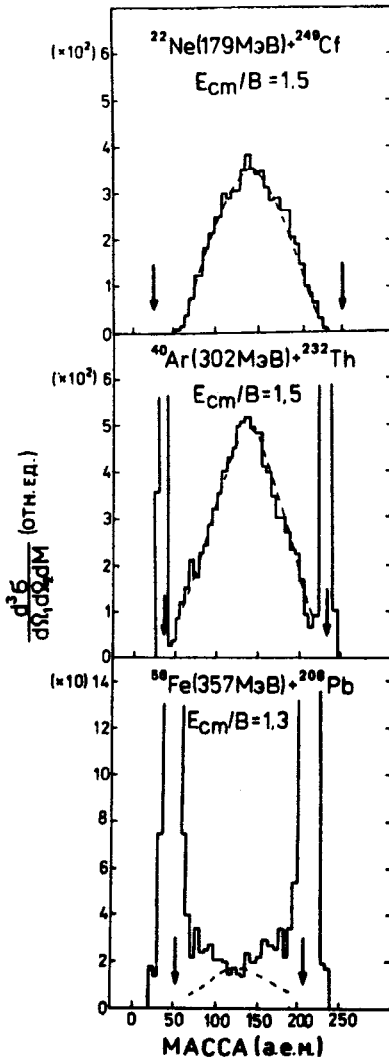


Рис.3. Массовые распределения продуктов реакций при различных параметрах массовой асимметрии входного канала /  $E_{cm}/B$  - кинетическая энергия в системе центра масс,  $B$  - кулоновский барьер/.

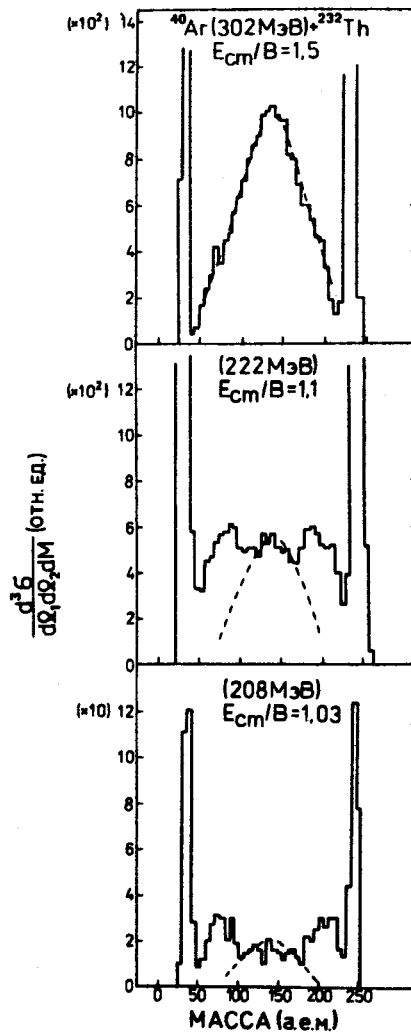


Рис.4. Массовые распределения продуктов реакции  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  при различных энергиях возбуждения составной системы ядер.

канала, хотя значение  $E_{cm}/B$  для этой реакции несколько меньше, чем для комбинаций  $^{22}\text{Ne} + ^{249}\text{Cf}$  и  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$ . На

такое изменение формы массового распределения указывалось в работе /6/, однако в ней исследовались комбинации мишень-частица, приводящие к различным составным системам.

В случае реакции  $^{40}\text{Ar} + ^{232}\text{Th}$  измерения проводились при различных энергиях налетающего иона. На рис. 4 видно, что с уменьшением энергии массовое распределение становится шире; кроме того, проявляется структура в виде максимума выхода при массах продуктов  $A \approx 210$  /и, соответственно, сопряженных продуктов с массой  $\approx 60$ /. Механизм, приводящий к образованию этих продуктов реакции, пока полностью не выяснен. Отметим, что впервые появление повышенного выхода асимметричных продуктов обнаружено при исследовании реакции  $^{40}\text{Ar} + ^{243}\text{Am}$  /7/. В этой работе было указано на возможность объяснения повышенного выхода в районе  $A = 210$  в рамках диффузионной модели, где в потенциальную энергию системы включаются оболочечные поправки /реакция "холодной" передачи нуклонов/. С другой стороны, авторы работы /8/, в которой проводились исследования массовых распределений в реакциях  $^{238}\text{U} + ^{48}\text{Ca}$ ,  $^{50}\text{Ti}$  и  $^{56}\text{Fe} + ^{208}\text{Pb}$ , объясняют появление максимума выхода этих продуктов трансформацией массового распределения вследствие большой вероятности последовательного деления первичных продуктов с массами, близкими к массе ядра-мишени. Однако при энергиях, близких к кулоновскому барьеру, вклад трехчастичных событий, как показано в /9/, оказывается незначительным, и поэтому практически не изменяет форму массового распределения в области массы 210. Обращает на себя внимание и значительная ширина  $/\Delta A \approx 40-50/$  массового распределения асимметричных продуктов именно при таких энергиях. Нам кажется, что дальнейшее исследование явления асимметричных массовых распределений продуктов реакций с тяжелыми ионами должно проводиться при еще меньших энергиях возбуждения составной системы. С этой точки зрения весьма перспективными являются реакции с испусканием быстрых заряженных частиц, при которых могут образоваться "холодные" ядра /10/.

В заключение авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флерову за постоянное внимание к работе, В.Саламатину, И.Хайдель, К.Хайделю и В.Носокину - за помощь при проведении экспериментов и обработке данных.

### Литература

1. Оганесян Ю.Ц. ОИЯИ, Д7-83-644, Дубна, 1983, с. 55; Oganessian Yu.Ts. et al. JINR, E2-84-651, Dubna, 1984.
2. Münzenberg G. et al. Z.Physik, 1984, A315, p. 145; Münzenberg G. et al. Z.Physik, 1984, A317, p. 235.
3. Swiatecki W.J. Phys.Scripta, 1981, 24, p. 113.

4. Гиппнер П. и др. Совещание по экспериментам на пучках тяжелых ионов, Варна, 1984.
5. Зайдель В. и др. ПТЭ, 1983, №4, с. 52.
6. Bock R. et al. Nucl.Phys., 1982, A388, p. 334.
7. Kalpakchieva R. et al. Nukleonika, 1979, 24, p. 417.
8. Guarino G. et al. Nucl.Phys., 1984, A424, p. 157.
9. Töke J. et al. GSI 84-1, Scientific Report, 1983, Darmstadt, p. 11; Dai G.X. et al. GSI 84-1, Scientific Report, 1983, Darmstadt, p. 12.
10. Borcea C. et al. Nucl.Phys., 1984, A415, p. 169.

Рукопись поступила 5 декабря 1984 года.