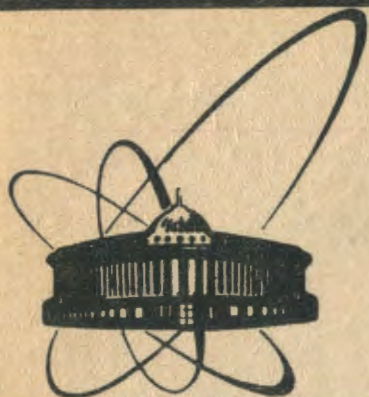


89-103



7  
**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

К 18

P15-89-103

**В.В.Каманин, А.Куглер, Ю.Э.Пенионжкевич,  
Р.С.Перес, Ю.Г.Соболев, А.С.Фомичев,  
И.Давид\***

**ИЗМЕРЕНИЕ ГАММА-МНОЖЕСТВЕННОСТИ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭМИССИИ  
ЖЕСТКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ  
В РЕАКЦИЯХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Доложено на II Конференции молодых ученых  
ЛЯР ОИЯИ /5 - 7 января 1988 г./

---

\* Центральный институт физики, Бухарест

**1989**

В трех реакциях:  $^{64}\text{Zn}(290 \text{ МэВ}) + ^{68}\text{Zn} \rightarrow ^{132}\text{Nd}$ ,  $^{20}\text{Ne}(110 \text{ МэВ}) + ^{112}\text{Sn} \rightarrow ^{132}\text{Nd}$ ,  $^{64}\text{Zn}(358 \text{ МэВ}) + ^{112}\text{Sn} \rightarrow ^{176}\text{Hg}$ , проведено экспериментальное исследование зависимости величины средней множественности  $\bar{\nu}$ -квантов  $\langle M_{\bar{\nu}} \rangle$  от энергии  $E_{\bar{\nu}}$ -излучения в диапазоне энергий  $E_{\bar{\nu}} = 3 + 24 \text{ МэВ}$ . Эксперименты проводились на спин-спектрометре "Еж" /1/ на выведенном пучке тяжелых ионов циклотрона У-300 ЛЯР ОИЯИ. В качестве мишеней использовались толстые металлические фольги с обогащением по указанным изотопам не хуже 96%. Измерения  $\bar{\nu}$ -спектров проводились двумя сцинтилляционными детекторами с кристаллами  $\text{NaI(Tl)}$   $\varnothing 150 \times 100 \text{ мм}^2$  и  $\text{BCGO}$   $\varnothing 75 \times 25 \text{ мм}^2$  /2/. Канал образования высоковозбужденных продуктов реакции выделялся с помощью методики " $\bar{\nu}$ -старта" /3/. В первой и третьей реакциях наблюдалось медленное увеличение  $\langle M_{\bar{\nu}} \rangle$  с ростом энергии  $E_{\bar{\nu}}$  в диапазоне  $3 + 8 \text{ МэВ}$ . Во второй реакции наблюдался резкий рост  $\langle M_{\bar{\nu}} \rangle$  при изменении энергии  $E_{\bar{\nu}}$  от 3 до 8 МэВ с последующим выходом на плато в области энергий  $E_{\bar{\nu}} > 8 \text{ МэВ}$ , смотри рисунок 1.

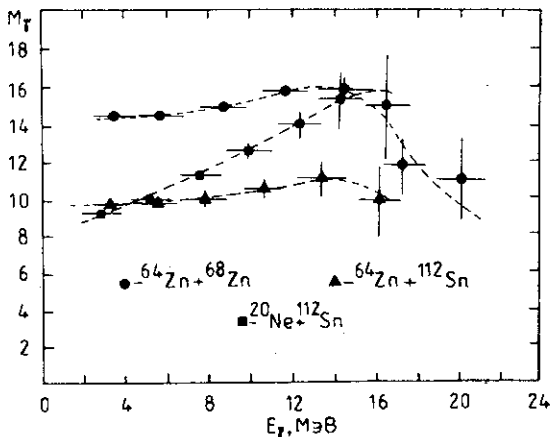


Рис. 1. Экспериментальные зависимости величины средней множественности  $\bar{\nu}$ -квантов  $\langle M_{\bar{\nu}} \rangle$  от энергии  $E_{\bar{\nu}}$ -излучения в трех реакциях.

Испускание жестких  $\bar{\nu}$ -квантов с  $E_{\bar{\nu}} = 8 + 24 \text{ МэВ}$  принято связывать с распадом гигантских дипольных резонансов (ГДР), заселяемых в реакциях с тяжелыми ионами /3,4/. Согласно представлению модели эти ГДР построены на высоковозбужденных состояниях продуктов ядерной реакции, в основном составных ядер. Результаты расчета параметров исследуемых реакций, проведенного в рамках общепринятой модели слияния в ядерных реакциях с тяжелыми ионами по методике работы /5/, приведены в таблице. На рисунке 2 схематически показано распределение

каналов по входным угловым моментам для реакции  $Zn+Zn$ , где характерные величины соответствующих угловых моментов  $I_{вх}$  рассчитаны по стандартной модели<sup>/7/</sup>. В диапазоне входных угловых моментов  $I_{вх} = (I_{крит} + I_{гр})$  доминируют реакции глубоконеупругих передач и другие неупругие процессы, приводящие к образованию в выходном канале реакции двух ядер с массами, близкими к массам налетающего иона и ядра мишени. А в диапазоне  $I_{вх} \leq I_{крит}$  образуются составные ядра  $^{132}Nd$ , т.е. происходит слияние ядер.

Таблица  
Характеристики двух реакций, идущих с образованием составного ядра  $^{132}Nd$

Реакция	Энергия возбуждения составного ядра $E^*$ (МэВ)	Макс.угловой момент сост. ядра $I_{крит}$ ( $\hbar$ )	Макс. угловой момент в реакции $I_{гр}$ ( $\hbar$ )
$Zn + Zn$	84	76	97
$Ne + Sn$	68	48	61

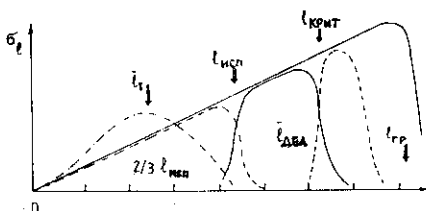


Рис.2. Схематическое распределение каналов по входным угловым моментам в реакции  $^{64}Zn(290 \text{ МэВ}) + ^{68}Zn$  согласно стандартной модели<sup>/7/</sup>.

Расчет процесса распада составных ядер  $^{132}Nd$ , проведенный на основе статистических представлений, реализованных в модели<sup>/5/</sup>, показывает, что составные ядра с угловыми моментами  $I > I_{исп} = 56 \hbar$  делится на два осколка. Поэтому в реакции  $Zn+Zn$  примерно только половина составных ядер проходит испарительный каскад до конца. Каскад заканчивается ирраст-переходами - испусканием серии мягких  $\gamma$ -квантов, уносящих остаточный угловой момент.

Для испарительных нейтронов угловой момент, уносимый ими из ядра, равен  $2\hbar$ <sup>/7/</sup>. Расчет по формуле, приведенной в<sup>/6/</sup> для испарительных протонов, дает величину  $3\hbar$ . Тогда величина среднего спина составного ядра, образованного после испарения частиц, определяется выражением

$$\langle I_{\uparrow} \rangle = (2/3) I_{исп} - 2x_n - 3x_p, \quad (I)$$

где  $x_n$ ,  $x_p$  есть количество испущенных нейтронов и протонов. Для

среднего значения множественности заключительного  $\gamma$ -каскада имеем<sup>6/</sup>

$$\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{исп}} = (I/2) \langle I_{\gamma} \rangle + 4. \quad (2)$$

Сумма средних значений спинов осколков деления определяется величиной среднего углового момента делящихся составных ядер  $\langle I_{\text{дел}} \rangle$ :

$$\langle I_1 \rangle + \langle I_2 \rangle \approx (2/7) \langle I_{\text{дел}} \rangle. \quad (3)$$

Поэтому суммарная множественность мягких  $\gamma$ -квантов, испускаемых обоими осколками, равна

$$\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{дел}} = (I/7) \langle I_{\text{дел}} \rangle + 4. \quad (4)$$

Подставляя в формулы (2), (4) значения параметров реакции  $Zn + Zn$  из таблицы, получаем  $\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{дел}} \approx 15$ ,  $\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{исп}} \approx 18$ . Из этого можно сделать вывод, что экспериментальные величины  $\langle M_{\gamma} \rangle$  в области  $E_{\gamma} = E_{\text{ТДР}}$  соответствуют, в основном, испарительному каналу. Для более мягкого  $\gamma$ -излучения ( $E_{\gamma} < 8 \text{ МэВ}$ ) преобладает вклад канала деления, т.е. меньших значений  $\langle M_{\gamma} \rangle$ .

В реакции  $Ne + Sn$  составные ядра практически не делятся ( $I_{\text{крит}} = 48 \hbar$ ) и  $\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{исп}} \approx 14$ . Поэтому резкое увеличение экспериментального значения  $\langle M_{\gamma} \rangle$  при изменении энергии  $E_{\gamma}$  в интервале  $3 + 10 \text{ МэВ}$  (см. рис. 1) нельзя объяснить вышеприведенным образом, рассматривая только канал слияния тяжелых ионов. Другими конкурирующими каналами являются реакции глубоконеупругих передач. Для них характерны два предельных механизма передачи входного углового момента во внутреннее движение первичных продуктов<sup>7/</sup>. В случае реализации входных угловых моментов в области  $I_{\text{вх}} \approx I_{\text{ГР}}$  ядра катятся по поверхности друг друга, и сумма средних значений спинов обоих ядер равна

$$\langle I_1 \rangle + \langle I_2 \rangle \approx (2/7) I_{\text{ГР}}. \quad (5)$$

а соответствующая суммарная множественность  $\gamma$ -квантов, вылетевших из слабозбужденных ядер в процессе их распада, определяется как

$$\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{кач}} = (I/7) I_{\text{ГР}}. \quad (6)$$

В случае реализации входных угловых моментов в области  $I_{\text{вх}} \approx I_{\text{крит}}$  два слившихся ядра вращаются как одно целое, подобно гантели, и сумма средних значений спинов обоих ядер равна

$$\langle I_1 \rangle + \langle I_2 \rangle \approx f(A_2/A_1) I_{\text{крит}}. \quad (7)$$

Для суммарной множественности  $\gamma$ -квантов, испускаемых обоими возбужденными ядрами, получаем

$$\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{слип}} = (I/2) f(A_2/A_1) I_{\text{крит}} + 4. \quad (8)$$

В первых двух исследуемых реакциях  $A_1 \approx A_2$ ,  $f=2/7$  и  $A_1 \approx 5A_2$ ,  $f=1/2$  соответственно<sup>8/</sup>.

По формулам (6), (8) в реакции  $Zn + Zn$  получим  $\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{кач}} = 14$ ,  $\langle M_{\gamma} \rangle_{\text{слип}} = 15$ , а в реакции  $Ne + Sn$  эти значения равны соответственно 9 и 16. Поэтому можно сделать вывод, что величины  $\langle M_{\gamma} \rangle$  в области  $E_{\gamma} = E_{\text{ТДР}}$  соответствуют в основном испарительному каналу реак-

пии или процессу слияния налетающего иона  $Ne$  и ядра  $Sn$  с последующим разрывом, а в области более мягкого  $\gamma$ -излучения ( $E_\gamma < 8$  МэВ) преобладает вклад канала неупругих передач, для которого характерно значение иона  $Ne$  по поверхности ядра мишени  $Sn$ , т.е. меньшие значения  $\langle M_\gamma \rangle$ .

Зависимость  $\langle M_\gamma \rangle$  от  $E_\gamma$  измерялась также в реакции  $^{64}Zn + II2Sn$ , см. рис. 1. Интерес к изучению этой реакции вызван данными, полученными авторами<sup>9/</sup> при исследовании массовых распределений продуктов реакции  $Zn + Sn$ . Сложность аналогичных оценок параметров реакции не позволяет проанализировать зависимость  $\langle M_\gamma \rangle$  от  $E_\gamma$  подобно тому, как было сделано в первых двух случаях. Однако можно отметить сходство с зависимостью  $\langle M_\gamma \rangle$  от энергии  $E_\gamma$  в реакции  $^{64}Zn + ^{68}Zn$ .

Из приведенных данных следуют два основных вывода:

1. Измеренные экспериментально зависимости  $\langle M_\gamma \rangle$  от энергии  $E_\gamma$  не согласуются с моделью авторов работ<sup>3,4/</sup>.

2. Резкое отличие в поведении экспериментальных значений  $\langle M_\gamma \rangle$  от  $E_\gamma$  в реакциях, приводящих к составным ядрам  $^{132}Nd$  с близкими значениями энергии возбуждения, в совокупности с ранее наблюдаемой большой разницей в выходах жесткого  $\gamma$ -излучения в канале слияния для тех же реакций<sup>10/</sup> нельзя объяснить в рамках представлений об испускании жестких  $\gamma$ -квантов только после образования составного ядра.

#### Литература

1. Каманин В.В. и др. ОИЯИ, P15-87-783, Дубна, 1987.
2. Каманин В.В. и др. ОИЯИ, I3-86-375, Дубна, 1986.
3. Newton J.O. et al. Phys.Rev.Lett., 36, 1981, p.1383.
4. Snover K.A. Journ.Phys., 45, 1985, p.C4-337.
5. Cherepanov E.A., Iljinov A.S. Proc. of Int. Symposium on in-beam Nuclear Spectroscopy, Debrecen, 1984, p.97.
6. Каманин В.В., Кутлер А., Пенюшкевич Ю.Э., Радигер Ю. Изв. АН СССР, 1984, т.48, № 10, с. 1965.
7. В.В.Волков. Ядерные реакции глубоконеупругих передач, Москва, Энергоиздат, 1982.
8. N.Perrin and J.Peter. Proceedings of XV Winter School on Nuclear Physics, Zakopane, 1977, p.2.
9. Зодан Х. и др. ОИЯИ, P7-87-621, Дубна, 1987.
10. Каманин В.В. и др. Тезисы докладов 37 Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1987, с. 392.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 февраля 1989 года.