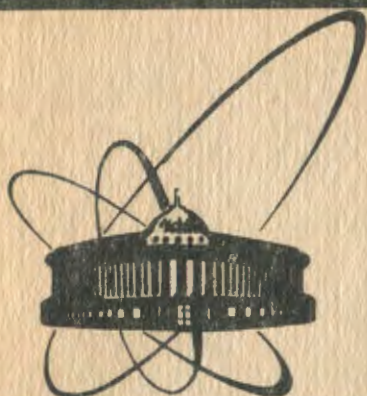


89-104



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

К 18

P10-89-104

В.В.Каманин, А.Куглер, Ю.Г.Соболев,
А.С.Фомичев

**СБОР И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ В МНОГОПАРАМЕТРОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЯХ НА ПУЧКЕ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ**

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

1989

Введение

Степень сложности экспериментов, связанных с многопараметровыми измерениями коррелированных физических величин в ядерных реакциях с тяжелыми ионами, постоянно возрастает, и для получения детальной информации о происходящих процессах необходимы совершенные схемы сбора и сортировки данных. Уже при энергии тяжелых ионов несколько МэВ на нуклон в выходном канале реакции потоки экспериментальных данных таковы, что необходим быстрый анализ и отбор "полезных" событий, контроль за протеканием эксперимента, набор отобранной информации и ее сохранение в памяти ЭВМ или на магнитной ленте.

В данной работе описаны схемы сбора и обработки информации на примере двух реакций: ^{64}Zn (290 МэВ) + ^{68}Zn и ^{20}Ne (110 МэВ) + ^{112}Sn , в которых изучалась форма спектров γ -излучения в выделенном выходном канале образования составного ядра ^{132}Nd и исследовалась зависимость средней γ -многократности $\langle M_\gamma \rangle$ от энергии E_γ . Показано, что перечисленные выше проблемы решаются с помощью многофункциональной программы TOMAS^{1/1}, позволяющей делать набор одно-, двух- или трехмерных спектров, их высвечивание на цветном мониторе во время набора данных при одновременной записи отобранных данных на магнитную ленту (МЛ) или диск (МД)^{2/}.

Впервые было проведено сравнение двух методов выделения выходного канала реакции одним Ge-детектором характеристического рентгеновского излучения, получены качественно новые физические результаты, требующие дальнейшей теоретической интерпретации.

1. Набор многомерной матрицы событий

На рис. 1 приведена типичная блок-схема электроники, используемая в экспериментах по изучению жесткой компоненты γ -излучения в реакциях с тяжелыми ионами. Принцип ее работы подробно описан в^{3/}.

В экспериментах обычно измерялись пять физических величин: выход "жестких" γ -квантов с энергией $E_\gamma = 4+25$ МэВ, выход "мягких"

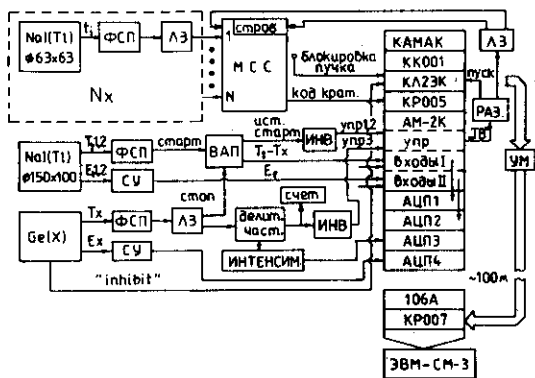


Рис. 1. Блок-схема электроники в многопараметровых измерениях.

γ -квантов $E_x = 15 + 400$ кэВ, корреляция между этими величинами, определяемая схемой совпадений временных сигналов ($T_\gamma - T_x$) двух трактов, величина средней гамма-множественности $\langle M_\gamma \rangle$ и, наконец, загрузка X-детектора, находящегося на расстоянии ≈ 5 мм от толстой мишени под углом 0° и, следовательно, очень чувствительного к попаданию пучка на мишень.

Для регистрации высокоэнергетических γ -квантов, как правило, использовались два спинтилляционных детектора на основе NaI(Tl) или ВСО ^{4/} с целью определения угловой анизотропии жестких γ -квантов. Среднее значение величины $\langle M_\gamma \rangle$ определялось по числу одновременно сработавших модулей спин-спектрометра "Еж", а информация о кратности совпадений вырабатывалась мажоритарной схемой совпадений ^{3/}.

Кроме перечисленных пяти параметров в процессе набора учитывались еще два дополнительных условия: "обратная связь" (сигнал "Inhibit" на рис. 1) и "блокировка пучка"; первое накладывало запрет регистрации всей информации на время восстановления предусилителя X-детектора, второе условие контролировало попадание пучка на мишень.

В таблице 1 приведены символические обозначения всех параметров и признаков, их размерности и соответствующие физические значения, а в таблице 2 описаны спектры, представляющие корреляции этих величин. Дополнительные условия для каждого спектра задавались с помощью цифровых окон с указанием номера параметра, нижней и верхней границы окна. Это позволяло сортировать данные в процессе набора.

Таблица I

Значения символических параметров

Номер, обозначение, разряды АПП	Физическое значение
1. $I_x - I0$	Загрузка Ge-детектора
2. $P_i - 4$	Кратность совпадений γ -детекторов спин-спектрометра при пороге регистрации $E_{\gamma} > 200$ кэВ
3. $ВАП_{I,2} - I0$	Совпадения временных сигналов $T_{\gamma I} - T_x$, $T_{\gamma 2} - T_x$ в интервале I мкс в зависимости от параметра N6
4. $E_{\gamma I,2} - I2$	Энергия γ -квантов в диапазоне $E_{\gamma} = 4 + 25$ МэВ двух спектрометрических трактов
5. $E_x - I2$	Энергия характеристического рентгеновского излучения и дискретных γ -переходов в диапазоне $E_x = 15 + 400$ кэВ
6. AM - 4	Признак сработавшего тракта двойного аналогового мультиплексора, позволяющий идентифицировать параметры N3 и N4
7. ВП - 2	Внешние признаки - "блокировка пучка" и "обратная связь"

Программа TOMAS обеспечивает набор информации в память машины в инкрементном режиме, а также запись событий, удовлетворяющих заданным условиям, на МЛ или МД для последующей обработки. В первом случае память машины произвольно разбивается максимально на 7 участков, т.е. спектров, и ЭВМ работает как многомерный анализатор. Во втором случае программа позволяет задать условия, при выполнении которых происходит запись данного события на диск или МД, и тем самым существенно сокращается поток сохраняемой информации. Упомянутые условия представляются в виде матрицы чисел (6x3), где первое число - номер параметра, второе и третье - границы соответствующего окна. Для последнего условия матрицы можно указать нормировочный множитель k , и тогда сохраняется каждое k -е событие, не попадающее в выбранное окно.

Таблица 2

Описание спектров с помощью различных комбинаций параметров

N спектра, N параметра, его размерность и соответствующая ось	Краткое объяснение
Спектр 1: 1, 256 - X 6, 4 - Y	Загрузка Ge-детектора для каждого тракта АМ
Спектр 2: 3, 256 - X 6, 2, 4 - Y [*]	Временные совпадения для трактов E _{γ1} , E _{γ2}
Спектр 3: 5, 256, I024 - X [*] 6, 4 - Y	Рентгеновские спектры для каждого тракта АМ
Спектр 4: 7, 1, 1, 4 - WI ^{**} 2, 2, I6, I6 - W2 4, 64 - X 3, 32 - Y 6, 2, 4 - Z	В пучке сработал 1 и более γ-детекторов спин-спектрометра для матрицы E _γ - T _γ двух трактов АМ
Спектр 5: 7, 1, 1, 4 - WI 2, 3, I6, I6 - W2 4, 64 - X 3, 32 - Y 6, 2, 4 - Z	В пучке сработали 2 и более γ-детектора спин-спектрометра для матрицы E _γ - T _γ двух трактов АМ
Спектр 6: 6, 3, 3, 4 - W 5, 256 - X 7, 4 - Y	Инклюзивный рентгеновский спектр при четырех комбинациях признаков

Примечания:

^{*}Запись 6, 2, 4 (или 5, 256, I024) означает сжатие спектра размерностью 4 (I024) в 2 (4) раза: использовалось по двум причинам: 1) для контроля всего рентгеновского спектра, т.к. экран монитора вмещает 256 каналов; 2) для размещения всех спектров в объеме памяти машины СМ-3 I6,5 Кслов.

^{**}Запись 7, 1, 1, 4 в режиме цифрового окна WI позволяет выбрать одну из четырех комбинаций признаков - отсутствие обратной связи в пучке - и накладывает дополнительное условие сортировки без изменения размерности спектра; цифровое окно W2 вырезает интересную область распределения по кратности совпадений.

2. Обработка данных

Сортировка данных как с диска, так и с ленты осуществляется в режиме повторного просмотра информации (of line). При этом можно определить не более 6 условий типа цифрового окна заданием новой матрицы чисел, что позволяет сдвигать спектры и тем самым корректировать нестабильность усилителей во время эксперимента, выбирать определенные загрузки I_x , учитывать внешние признаки и т.д.

Поскольку Ge-детектор находился очень близко к мишени, то загрузка I_x (первый параметр в табл. I) сильно зависела от попадания пучка на мишень. Поэтому вначале проверялась связь формы временных спектров ($T_\gamma - T_x$ совпадения, см. рис. 2) в зависимости от загрузки. Затем для выбранной загрузки анализировались спектры $T_\gamma - T_x$ совпадений, т.е. определялись временные окна случайных совпадений (боковые пики на рис. 2) и временное окно для истинных и случайных совпадений (центральный пик на рис. 2). Для этих окон строились двумерные матрицы $E_\gamma - E_x$: каждому значению $E_\gamma < 25$ МэВ с шагом $E_\gamma \sim 0,5$ МэВ соответствовал рентгеновский спектр. На рис. 3 показаны поканально просуммированные рентгеновские спектры для трех диапазонов по E_γ . Видно, что при $E_\gamma \geq 5$ МэВ и $E_\gamma = 10+16$ МэВ четко проявляются области составного ядра и мишенеподобных фрагментов. Суммирование γ -спектров в интервалах $E_x = 28+40$ кэВ (90+120 каналы на рис. 3) и $E_x > 400$ кэВ (последний канал спектроскопического тракта Ge-детектора) позволяет сравнить две методики выделения выходного канала реакции, см. рис. 4. Спектры существенно отличаются начиная с $E_\gamma > 8$ МэВ. В случае а) канал образования составного ядра выделялся методом " γ -старта"^{5/}, когда регистрировались совпадения "жестких" γ -квантов ($E_\gamma > 4$ МэВ) с любыми "мягкими" γ -квантами ($E_\gamma > 400$ кэВ), источником которых может быть не только процесс девозбуждения составного ядра вблизи ираст-полосы, но и другие возможные процессы - глубоконеупругие передачи, деление. В случае б) превышение над экспоненциальным спадом начинается лишь с $E_\gamma > 10$ МэВ, а положение максимума согласуется с систематикой $E^* \sim 78 A^{-1/3}$ МэВ для возбуждения гигантского дипольного резонанса в составном ядре ¹³²Nd. В реакции ²⁰Ne (110 МэВ) + ¹¹²Sn \rightarrow ¹³²Nd γ -спектр, полученный методом " γ -старта", в точности совпадает с рис. 4(а), однако выход γ -квантов с $E_\gamma \approx 10+16$ МэВ, измеренный при более тщательном выделении выходного канала методом "X-старта", существенно меньше, чем в реакции Zn + Zn. Этот факт позволяет говорить о корреляции выхода "жесткого" γ -излучения с массовой асимметрией во входном канале реакции ^{6/}.

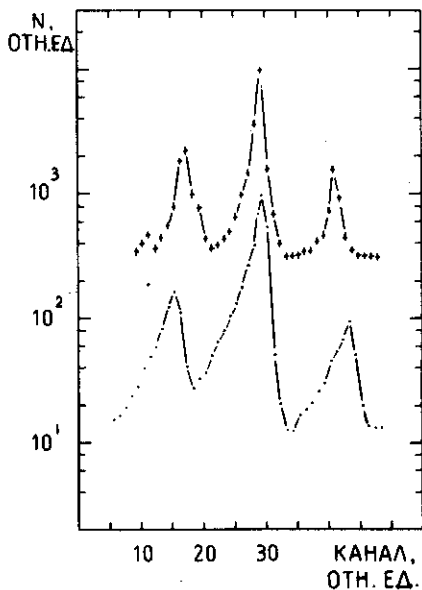


Рис. 2. Временные совпадения сигналов T_{γ} - T_X для двух трактов в интервале I мкс.

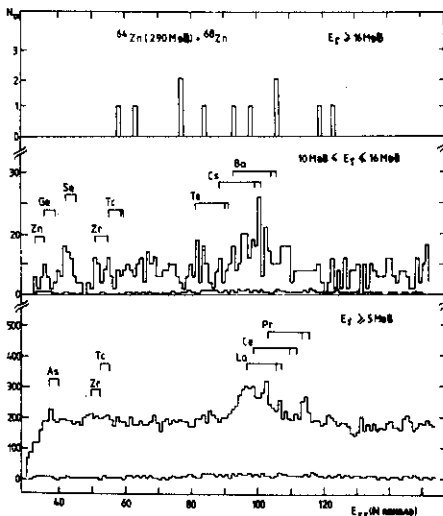


Рис. 3. X-спектры для реакции $^{64}\text{Zn}(290 \text{ МэВ}) + ^{68}\text{Zn}$, измеренные в совпадении с γ -квантами для трех диапазонов энергий γ -излучения.

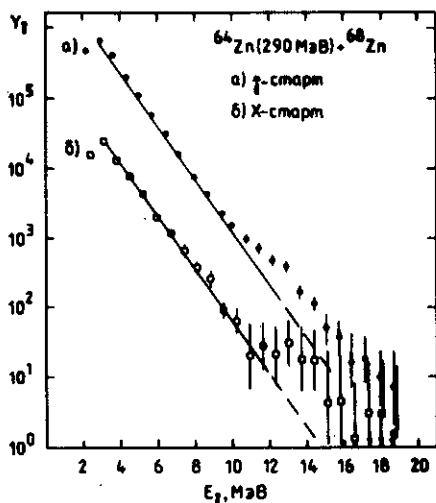


Рис. 4. Гамма-спектры в реакции $^{64}\text{Zn}(290 \text{ МэВ}) + ^{68}\text{Zn}$, полученные двумя методами выделения выходного канала образования составного ядра: " γ -стартом" (а) и "X-стартом" (б).

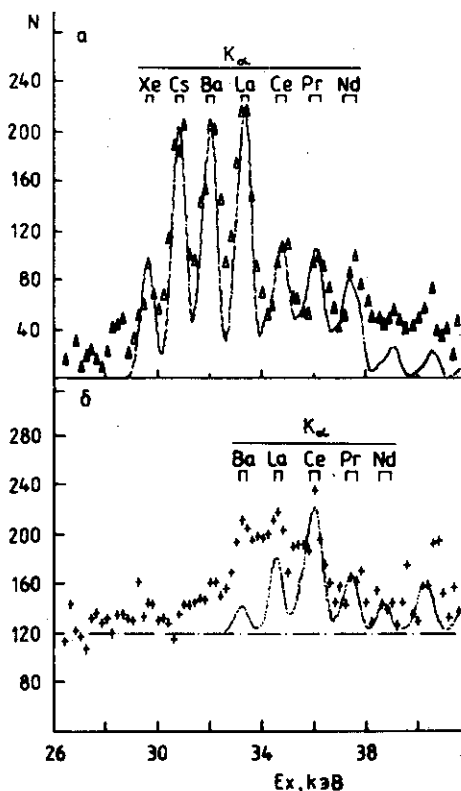


Рис. 5. Инклюзивный рентгеновский спектр (а) и спектр совпадений с γ -квантами при $E_{\gamma} = 6+25$ МэВ (б) в реакции $^{64}\text{Zn}(290 \text{ МэВ}) + ^{68}\text{Zn}$.

N - число отсчетов в канале.

Таблица 3

Описание рентгеновских спектров при сортировке "of line"

N спектра, N параметра, его размерность и соответствующая ось	Краткое объяснение
Спектр 1: 6, 3, 3, 4 - W1	Инклюзивный рентгеновский спектр в пучке с увеличением масштаба по X
7, I, I, 4 - W2	
5, I024 - X	
Спектр 2: 6, 2, 2, 4 - W1	
3, II2, I42, 256 - W2	
4, I3, 64, 64 - W3	
5, I024 - X	
7, I, I, 4 - Y	

По рентгеновским спектрам на рис. 5, описание которых содержится в таблице 3, можно судить о согласии теории с экспериментом. Подгоночная кривая на рис. 5а, полученная с учетом энергетического разрешения Ge-детектора и нормировки по максимуму выходов указанных изотопов для серии $K_{\alpha 1,2}$, $K_{\beta 1,2}$ ^{7/}, хорошо описывает результаты эксперимента. В случае рис. 5б проявляется расхождение экспериментальных данных с теоретическими выходами, рассчитанными по методу Монте-Карло^{8/} для остаточных ядер. β^+ -распад нейтрондефицитных остаточных ядер, заканчивающийся на стабильных изотопах Xe и Ba, дает примерно одинаковый выход КХ-квантов изотопов ядер Cs, Ba, La (см. рис. 5а) и является своеобразным тестом, позволяющим судить о вкладе β^+ -нестабильных ядер в спектр совпадений (рис. 5б). Поскольку выход изотопов Cs сильно занижен по сравнению с La и Ba, то разницу теоретических и экспериментальных выходов изотопов La и Ba нельзя объяснить вкладом от случайных совпадений X-лучей продуктов β^+ -распада и высокоэнергетических γ -квантов. Одним из возможных процессов повышенного образования La и Ba может быть испускание легких кластерных ядер^{9/}.

По характерным трем пикам инклюзивного рентгеновского спектра можно также определить собственное разрешение Ge-детектора, которое в данном случае равно ≈ 600 эВ, а ухудшение энергетического разрешения на рис. 5б произошло за счет близкой геометрии и эффекта доплеровского уширения и сдвига линий при торможении налетающих ионов в мишени. Оценка сдвига линий по формуле $\Delta E/E \sim v$ ион/с дает величину 3% или ~ 1 кэВ, что учтено на рисунке.

Зависимость средней гамма-множественности $\langle M_{\gamma} \rangle$ от энергии E_{γ} определялась при обработке спектров N4 и N5 (см. таблицу 2) по формуле

$$\langle M_{\gamma} \rangle = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots}{P_0 + P_1 + P_2 + \dots} \cdot \frac{1}{\epsilon N},$$

где ϵ - эффективность регистрации γ -квантов детекторов спектрометра "Еж", N - число детекторов, P_i - кратность совпадений. Полученные значения $\langle M_{\gamma} \rangle$ представляют тему отдельного обсуждения^{10/} и поэтому не приведены в данной работе.

Заключение

В работе подробно описаны сложные корреляционные измерения в реакциях с тяжелыми ионами при числе параметров $n=7$ и сортировка полученных данных с помощью многофункциональной программы TOMAS, способной работать с большими потоками информации. Впервые в одном эксперименте было сделано сравнение двух методик выделения выходного канала реакций с помощью X-детектора из сверхчистого Ge, так

называемых "γ-старта" и "X-старта". Полученные экспериментальные данные представляют интерес для уточнения теоретических моделей процессов испускания высокоэнергетических гамма-квантов при взаимодействии тяжелых ионов.

Авторы выражают благодарность Ю.Э.Пенионжквичу за постоянный интерес к работе, И.Давид за помощь в обработке данных и полезные замечания при обсуждении, Е.А.Черепанову за представленные расчеты.

Литература

1. Кутлер А. ОИЯИ, IO-84-420, Дубна, 1984.
2. Каманин В.В. и др. ОИЯИ, IO-84-204, Дубна, 1984.
3. Каманин В.В. и др. ОИЯИ, PI5-87-783, Дубна, 1987.
4. Каманин В.В. и др. ОИЯИ, I3-86-375, Дубна, 1986.
5. Newton J.O. et al. - Phys.Rev.Lett., 36, 1981, p.1383.
6. Каманин В.В. и др. Материалы Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов, 23-30.09.86, Д7-87-68, Дубна, 1987, с.489.
7. Lederer C.M. et al. Table of Isotopes, New York, 1978.
8. Ильинов А.С., Черепанов Е.А. ОИЯИ, P7-84-68, Дубна, 1984.
9. Муzychка Ю.А., Пустыльник Б.И. ЯФ, т.45, 1987, с.90.
10. Каманин В.В. и др. Тезисы 38 Совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Ленинград: Наука, 1988, с.372.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 февраля 1989 года.