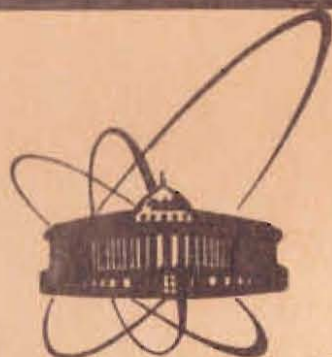


85-701



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-85-701

С.А. Антонов,¹ А.А. Богдзель, Н.А. Гундорин,
А. Дука-Зойоми, Я. Климан, Д. Кржистек,²
А.И. Островной, Т.М. Островная, А.Б. Попов,
В. Пресперин,³ В.Г. Тишин, Н.Ю. Ширикова

МЕТОДИКА МНОГОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
И АНАЛИЗА ВЫХОДА ПРОДУКТОВ
ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР РЕЗОНАНСНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

¹ Физический институт АН СССР, Москва

² Физический институт САН, ЧССР, Братислава

³ Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж

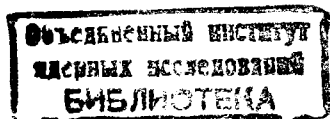
1985

ВВЕДЕНИЕ

Большой объем экспериментальных данных, полученных при исследованиях деления ядер урана и трансурановых элементов, остается все еще недостаточным для детального понимания этого явления. Особый интерес представляет деление резонансными нейтронами. Кинетическая энергия нейтрона в этом случае не превосходит нескольких сотен электронвольт и не вносит существенного вклада в энергию возбуждения образующегося компаунд-ядра, близкую к энергии связи нейтрона. Структура возникающих переходных состояний и формирование делительных каналов определяются квантовомеханическими параметрами отдельных резонансов. Наличие их корреляций с параметрами конечной фазы - кинетической энергией, массовым, зарядовым распределением осколков, множественностью нейтронов или других особенностей такого деления - может быть очень полезным для понимания его механизма.

Экспериментальные исследования особенностей деления резонансными нейтронами проводились в ряде работ. Противоречивые данные о резонансной зависимости распределения кинетической энергии осколков $^{235}\text{U}(n,f)$ получены в^{/1/} и во^{/2/}. Исследуя множественность нейтронов деления, авторы работы^{/3/} не обнаружили корреляций с параметрами резонансов, а найденный ими разброс относительно среднего значения не согласуется с данными работы^{/4/}. В^{/5/} оценивалась асимметрия массового распределения осколков деления в резонансах U-233 и U-235 в интервале от 16 до 100 эВ. Результаты этих экспериментов, проводимых на ядерных взрывах с использованием радиохимического выделения, основаны на определении кумулятивного выхода, включающего продукты бета-распада. В случае регистрации осколков до их бета-распада, не позднее миллисекунды после акта деления, можно говорить о так называемом независимом выходе. Принципиальную возможность его определения предоставляет спектроскопия гамма-излучения, сопутствующего делению. При этом характерные гамма-линии, связанные с разрядкой возбужденных состояний осколков, используются для их идентификации. Разработка этого метода в течение нескольких лет проводилась в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

В настоящей работе описывается аппаратура, программное обеспечение и методика многомерных измерений выхода продуктов деления U-235 резонансными нейтронами на импульсном реакторе ИБР-30.



АППАРАТУРА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ, РЕГИСТРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

При работе реактора в бустерном режиме с линейным ускорителем электронов длительность импульса нейтронов составляет 4 мкс, а частота повторения - 100 Гц. Применение методики времени пролета обеспечивает на базе 57 м временное разрешение ~70 нс/м при плотности потока нейтронов ($2 \cdot 10^8 E^{-0.9}$) н/см²·с·эВ в интервале энергий $1 \text{ эВ} \leq E \leq 10^4 \text{ эВ}$.

Коллимированный пучок нейтронов попадает на многослойную мишень, выполненную в виде двухсекционной быстрой ионизационной камеры деления ²³⁵U. Камера содержит 10 г урана, обогащенного до 90% изотопом U-235. Эффективность регистрации акта деления составляет 70±4%. Гамма-излучение, сопутствующее делению, регистрируется двумя Ge(Li) детекторами объемом около 30 см³ и энергетическим разрешением ~2,8 кэВ по линии 1333 кэВ. Они располагаются вблизи камеры в плоскости, перпендикулярной падающим нейтронам, таким образом, чтобы регистрировать гамма-кванты во взаимно-перпендикулярных направлениях. На расстоянии 80 см от мишени помещен детектор нейтронов, собранный на основе жидкого сцинтиллятора NE-213, размером 5 см x 5 см, и фотоумножителя 56 AVP. Он предназначается для измерения спектра нейтронов деления с использованием метода времени пролета.

Блок-схема регистрирующей части системы показана на рис.1. Сигнал с камеры деления снимается с помощью низкошумящих быстрых предусилителей /БПУ/, быстрых усилителей /БУ/ и формирователей со следящим порогом /ФСП/.

Гамма-спектроскопические тракты включают зарядочувствительные предусилители /ПУ/, позволяющие работать при больших импульсных нагрузках, и спектрометрические усилители /СУ/ типа ORTEC-572 с режектором наложений. Для повышения качества спектра применен блок дискриминации по времени нарастания импульса /ДВН/ ^{8/}, исключающий из регистрации сильно искаженные по форме импульсы и позволяющий тем самым уменьшить подложку и улучшить энергетическое разрешение в диапазоне регистрируемых гамма-квантов.

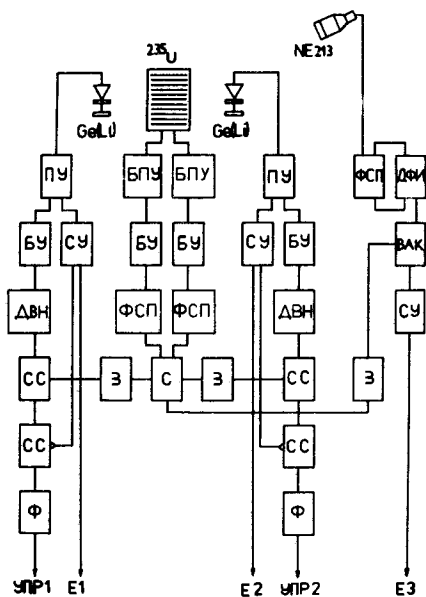


Рис.1. Блок-схема регистрирующей части системы.

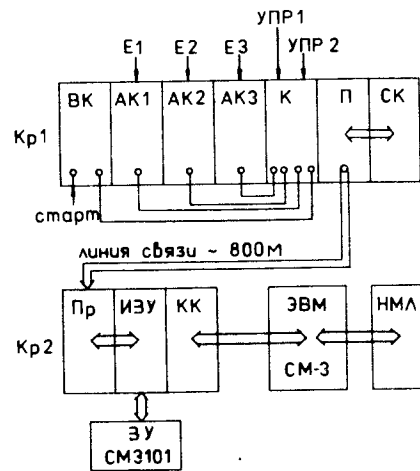


Рис.2. Схема измерительного модуля.

Поскольку нейтронный детектор эффективно регистрирует и гамма-кванты, с помощью дискриминатора по форме импульса /ДФИ/ выделяются сигналы, соответствующие нейтронам. Формирователь со следящим порогом /ФСП/ дает точную временную привязку, а время-амплитудный конвертор /ВАК/ и спектрометрический усилитель /СУ/ формируют сигналы, амплитуды которых пропорциональны времени пролета и характеризуют энергию нейтронов.

Временное разрешение для совпадений камера - Ge(Li) детектор составляет 8 нс, камера - нейтронный детектор - 4 нс. Длительность окна, в котором регистрируются совпадения, может варьироваться начиная от 5 нс.

Блоки сумматора /С/ линий задержки /З/, схем совпадений /СС/ и формирователей /Ф/ обеспечивают передачу управляющих сигналов /УПР1, УПР2/ на вход измерительного модуля, принимающего и накапливающего спектроскопическую информацию /Е1, Е2, Е3/.

На рис.2 представлена схема измерительного модуля. Его входная часть /Кр1/ расположена в экспериментальном павильоне на пучке. В нее входят время-цифровой /ВК/ ^{9/} и амплитудно-цифровые /АК1-3/ ^{10/} преобразователи, специальный контроллер для многомерных измерений /СК/ ^{11/}, коммутатор /К/ и блок передатчика /П/. В течение заданного на ВК временного окна после каждого импульса мощности реактора многомерная информация, поступающая с детекторов, накапливается в буферной памяти передатчика. Для каждого события могут записываться четыре параметра в четыре слова памяти, имеющей организацию 256 слов x 16 бит. По окончании временного окна осуществляется передача содержимого этой памяти последовательным кодом со скоростью 200 Кбит/с на расстояние около 800 м в измерительный центр, в котором находится накопительная часть модуля /КР2/. Максимальная пропускная способность линии передачи - 500 Кбит/с. Блок приемника /Пр/ содержит гальваническую развязку и преобразует последовательный код в параллельный. Принимаемая информация накапливается в автономном запоминающем устройстве ЗУ СМ 3101, интерфейс которого /ИЗУ/ ^{12/} через крест-контроллер /КК/ связан с ЭВМ СМ-3. Мертвое время системы составляет 2 мкс. Специализированные программы обеспечивают автоматический режим накопления и записи многомерной информации на магнитную ленту /НМЛ/.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Организация программного обеспечения накопления и анализа информации определяется характерными особенностями проводимых исследований:

1. В ходе эксперимента Ge(Li) детекторы подвергаются облучению быстрыми нейтронами, что приводит к радиационным повреждениям и необратимому ухудшению их параметров. В связи с этим возрастает необходимость регистрировать всю спектроскопическую информацию, поступающую с детекторов.

2. Насыщенность спектров гамма-линиями и обилие исследуемых резонансов делают невозможной прямую сортировку данных (on-line), так как это требует значительного числа интервалов фильтрации и приводит к недопустимому увеличению мертвого времени системы.

3. Сложность спектров гамма-излучения, сопутствующего делению, делает невозможным стандартный подход к их обработке. Вся получаемая информация требует детального анализа.

В соответствии с перечисленными особенностями программное обеспечение состоит из трех частей: накопление, сортировка многомерных данных и математическая обработка сортированной информации.

1. Накопление данных

Для накопления экспериментальных данных разработаны две программы. Одна из них (GUN) использует программный канал поступления данных по прерываниям от временного и амплитудного кодировщиков. Временной код T соответствует времени пролета, т.е. энергии нейтрона, вызвавшего деление. Амплитудный код E1 /E2, E3/ определяет энергию зарегистрированного гамма-кванта или нейтрона. Данные фильтруются по временной и амплитудным характеристикам и записываются в буфер регистрации оперативной памяти /ОП/. После его заполнения регистрация прекращается путем запрещения прерываний, содержимое переписывается в промежуточный буфер ОП, и возобновляется регистрация данных. Одновременно с повторным заполнением буфера регистрации проводится экспресс-обработка содержимого промежуточного буфера: делается упаковка данных, обеспечивающая запись двух 12-разрядных слов в трех байтах; упакованная несортированная информация записывается на магнитную ленту в виде файла, состоящего из 96 блоков по 512 байтов; в целях оперативного контроля строятся и записываются в ОП временная и амплитудная гистограммы-спектры длиной 1024 и 4096 каналов соответственно.

Помимо автоматически функционирующего алгоритма возможен диалоговый режим работы, обеспечивающий выполнение следующих процессов:

- INIT - подготовка программы и оборудования;
- START, STOP, CONT, END - запуск, остановка, продолжение и прекращение измерения;

- SHOWA, SHOWT - визуализация амплитудного и временного спектров на экране телевизионного растрового дисплея;
- AML, TML - запись амплитудного и временного спектров на магнитную ленту;
- PRI16(SHOWA, 4096), PRI16(SHOWT, 1024) - печать спектров.

Другая программа (MAR) обеспечивает накопление четырех параметрических данных /T, E1, E2, E3/ и ориентирована на использование непосредственного доступа во внешнюю буферную память емкостью 32K 16-разрядных слов. В ходе эксперимента после заполнения буферной памяти ее содержимое переписывается на магнитный диск в виде файла, и вновь разрешается накопление. Проводится экспресс-обработка, аналогичная той, которая выполняется программой GUN. Предварительная обработка, уплотнение и запись на ленту 32K слов продолжается около 40 с, этим временем определяется допустимая загрузка системы - 200 событий за секунду.

При этом на одну магнитную ленту записывается до 160 файлов, т.е. $1,3 \cdot 10^6$ событий. Несортированная информация может быть проконтролирована с помощью специальной программы (S), которая в автоматическом режиме последовательно читает файлы с магнитной ленты, осуществляет построение гистограмм-спектров по каждому из параметров, их визуализацию и распечатку.

Программы накопления (GUN и MAR) и контроля (S) несортированной информации созданы с помощью системы САНПО^{13/} и работают на ЭВМ типа СМ-3 под управлением операционной системы РТ-11.

2. Сортировка данных

Сортировка данных с магнитной ленты проводится в режиме off-line на ЭВМ CDC-6500. На рис.3 показана двухэтапная схема процессов, выполняемых программами PROC1 и PROC2. Эти программы написаны на языке FORTRAN с использованием набора подпрограмм, находящихся в пользовательской библиотеке:

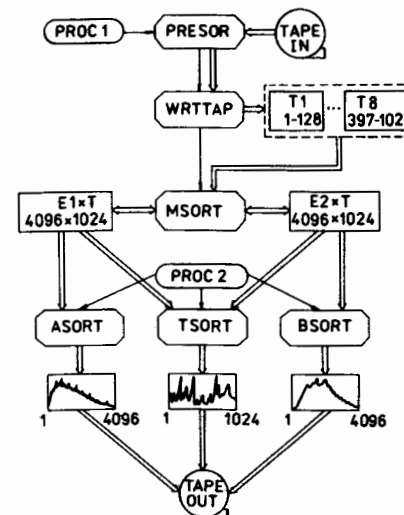


Рис.3. Схема процессов, выполняемых при сортировке данных.

- PRESOR - выполняет последовательное считывание информации с магнитной ленты (TAPE IN) во входной буфер оперативной памяти, ее декодирование, фильтрацию и упорядочивание по признаку возрастания временного параметра;
- WRTTAP - оперирует с упорядоченным массивом входного буфера. Каждые три слова, характеризующие событие, записываются в один из восьми промежуточных буферов T1, ..., T8 в соответствии с тем, в каком из интервалов $/1 \div 128/, \dots, /897 \div 1024/$ оказывается значение T;
- MSORT - обеспечивает одновременное формирование на магнитном диске двух массивов, организованных подобно матрице. В процессе последовательного анализа содержимого промежуточных буферов в соответствии со значениями каждой тройки слов E1, T, E2 /или E3/, характеризующих одно событие, добавляется единица к значению слова /15 бит/, расположенного в ячейке массива матрицы с координатами $K = T/K = 1 \div 1024/$ и $I = E1$ или $E2 /E3/, /I = 1 \div 4096/$, соответственно в одной или другой матрице. В результате работы программы PROC1 образуются две матрицы, содержащие данные, накопленные в ходе эксперимента. Таким образом удается большой объем информации /сотни миллионов событий/ представить в компактной форме, удобной для долговременного хранения на магнитном носителе и последующей обработки с использованием различных алгоритмов.

На втором этапе сортировки с помощью программы PROC2 делается выборка данных из матриц и идет формирование дифференциальных спектров. Подпрограммы ASORT и BSORT формируют спектры значений амплитудных параметров E1 и E2 /E3/, соответственно в выбранном интервале временного параметра T, а TSORT - спектр значений временного параметра T для заданного интервала амплитуд E1 или E2 /E3/.

Числовой материал распечатывается в форме стандартной таблицы и записывается в виде файла на магнитную ленту (TAPE OUT).

В результате сортировки экспериментальных данных возникают два вида дифференциальных спектров. Один из них содержит информацию о спектрах гамма-квантов или нейтронов в отдельных резонансах, другой - характеризует зависимость выхода отдельных гамма-линий или нейтронов деления в заданных энергетических интервалах от энергии нейтронов, вызывающих деление.

Для сортировки событий, связанных с каскадной эмиссией гамма-квантов, одновременно регистрируемых в двух спектроскопических трактах, используются программные версии PROC1C и PROC2C. Не имея структурных отличий от представленных выше программ, они обеспечивают построение матрицы $E1 \times E2 /4096 \times 4096/$ и формирование спектров одного амплитудного параметра E1/E2/ в заданном интервале значений другого E2/E1/. Такие спектры содержат физическую информацию о структуре возбужденных состояний ядер-осколков и о заселенности отдельных уровней.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СОРТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Матрицы, созданные в результате сортировки, содержат полную экспериментальную информацию и допускают два различных подхода к ее дальнейшей обработке. Первый, наиболее естественный, предполагает построение гамма-спектров для каждого из разрешенных резонансов. Последующая стандартная обработка этих спектров позволяет определять интенсивность выхода отдельных гамма-линий для различных резонансов. Спектр сопутствующих делению гамма-квантов отличается высокой насыщенностью пиков $/\sim 110/$, частично неразрешенных, значительной величиной подложки и ее немонотонностью. Наряду с незначительной статистикой в спектрах для отдельных резонансов, эти обстоятельства делают невозможным эффективное использование известных программ спектроскопической обработки, таких, как SAMPO, AKTIV, G.E. и др. Поэтому традиционный анализ гамма-спектров в отдельных резонансах в нашем случае малоэффективен.

Предпочтительным оказывается другой путь, который приводит к построению временных резонансных спектров для каждой разрешенной гамма-линии.

При сравнении суммарного гамма-спектра /по всему энергетическому интервалу нейтронов/ со спектрами дифференциальными /для отдельных резонансов/ обнаруживается качественное единообразие подложки, являющейся фоном при определении интенсивности выхода гамма-линий. Поэтому фон определяется исходя из анализа суммарного спектра. После выбора в нем энергетических интервалов с разрешенными пиками и фонового интервала /согласно рис.4/ из соотношения площадей I_{ϕ}^1, I_{ϕ}^2 и Φ вычисляются коэффициенты $K_1 = I_{\phi}^1 / \phi$ и $K_2 = I_{\phi}^2 / \phi$.

Поканальное умножение дифференциального временного спектра для фонового интервала на вычисленные таким образом коэффициенты позволяет получить фоновые временные спектры для выбранных гамма-линий $/E_y^1 = 199$ кэВ и $E_y^2 = 212$ кэВ/. Разность временных дифференциальных спектров для соответствующих интервалов и этих фоновых временных спектров характеризует чистый выход определяемых гамма-линий в отдельных резонансах.

С целью сравнения оба описанных выше подхода были использованы для обработки некоторых гамма-линий. Такая выборочная проверка показала совпадение

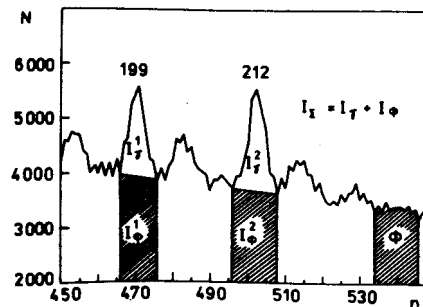


Рис.4. Часть суммарного гамма-спектра, иллюстрирующая способ определения фона.

конечных результатов и подтвердила целесообразность примененной методики обработки.

Так как параметры Ge(Li) детекторов в ходе эксперимента ухудшаются под влиянием быстрых нейтронов, изменяется энергетическая шкала и "качество" гамма-спектров. В связи с этим числовой материал разбивается на группы, которые обрабатываются отдельно.

Полная математическая обработка сортированной многомерной информации проводится на ЭВМ PDP 11/70 с использованием программ системы обработки массивов /COM/. Все необходимые подпрограммы поканального сложения и вычитания спектров, деления и умножения на константу, суммирования по интервалам и другие, наряду со специальными подпрограммами, осуществляющими заданный алгоритм, объединены в одну программу, обеспечивающую циклическую пакетную обработку. Для каждой из 110 гамма-линий результаты выдаются в форме таблиц, включающих: распечатку временного спектра с квадратической ошибкой для каждого канала; выход для каждого резонанса со средней квадратической ошибкой; относительные выходы, нормированные на суммарный выход гамма-квантов в данном резонансе.

Получаемые таким образом результаты, при наличии данных об энергетической калибровке и эффективности Ge(Li) детекторов, используются для определения абсолютного выхода гамма-квантов, сопутствующего делению, и независимых выходов осколков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные результаты исследований гамма-эмиссии из осколков деления U-235 резонансными нейтронами ^{14}f , проводимых

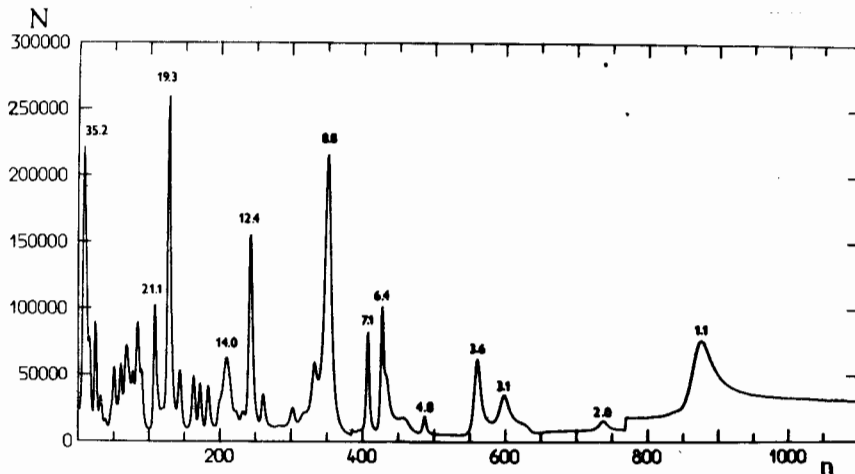


Рис.5. Суммарный временной спектр для гамма-квантов с энергией от 60 кэВ до 1,7 МэВ. Над пиками указана энергия нейтронов в эВ.

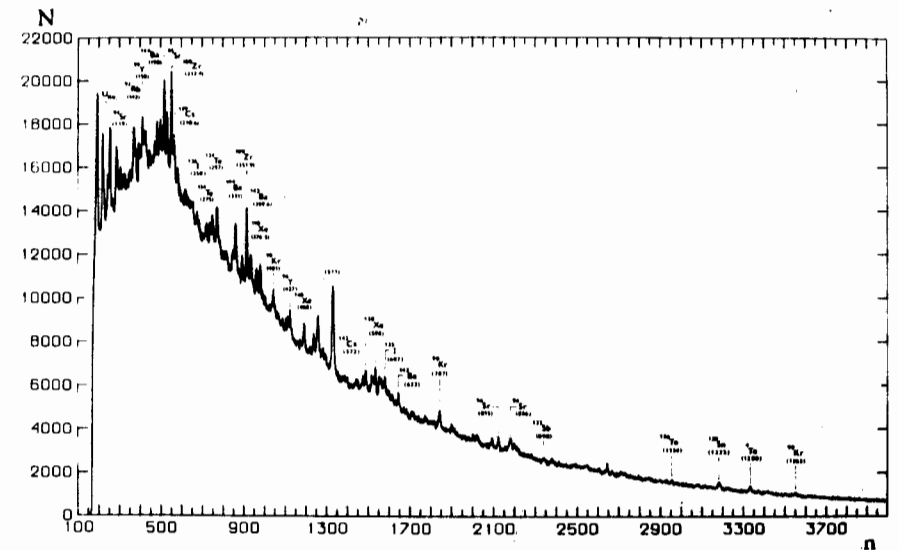


Рис.6. Суммарный амплитудный гамма-спектр.

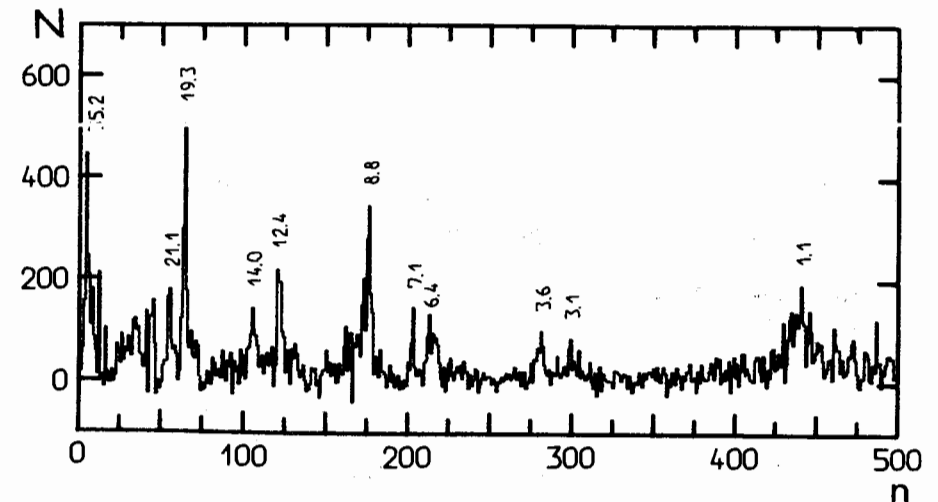


Рис.7. Временной спектр для гамма-квантов с энергией 199 кэВ из ядра-осколка Ва-144.

с помощью системы многомерного анализа, подтвердили ее работоспособность и эффективность. Аппаратурные спектры, получаемые в ходе исследований, иллюстрируют возможности разработанной методики и используемой аппаратуры. На рис.5 показан аппаратурный временной спектр, соответствующий сумме всех регистрируемых гамма-квантов с энергией от 60 кэВ до 1,7 МэВ и демонстрирующий

резонансную структуру сечения деления в интервале энергий нейтронов от 0,7 до 36,0 эВ. Амплитудный спектр, представленный на рис.6, является суммарным по этому интервалу и характеризует энергетическую зависимость выхода гамма-квантов, сопутствующих делению. На рис.7 приведен аппаратурный временной спектр для гамма-квантов с энергией 199 кэВ, соответствующий переходу $2^+ \rightarrow 0^+$ возбужденного ядра-осколка Ва -144.

При создании системы и отработке методики многомерных измерений выходов продуктов деления встретилось немало трудностей, которые удалось преодолеть благодаря тесному интернациональному сотрудничеству и взаимопомощи всех участников работы.

Авторы глубоко признательны Л.Б.Пикельнеру за поддержку и постоянный интерес к работе, И.М.Саламатину и Ю.И.Шелонцеву за доброжелательность и эффективную поддержку, а также Ю.И.Колгину за помощь при проведении экспериментов и обработке результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Felvinci J.P. et al. J.Bull.Am.Phys.Soc., 1975, 20, p.195.
2. Weigemann H et al. Phys.Rev.Lett., 1975, 35, p.1213.
3. Howe R.E. et al. Phys.Rev., 1976, C13, p.195.
4. Рябов Ю.В. и др. ЯФ, 1971, 14, с.927.
5. Cowan G.A. et al. Phys.Rev., 1961, 122, p.1286; 1963, 130, p.2380; 1966, 144, p.979; 1970, C2, p.615.
6. Авдеев С.П. и др. ОИЯИ, P3-81-667, Дубна, 1981.
7. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, 13-84-386, Дубна, 1984.
8. Богдзель А.А. и др. ПТЭ, 1984, 1, с.49.
9. Барабаш И.П. и др. ОИЯИ, 11-8522, Дубна, 1975.
10. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, 13-84-145, Дубна, 1984.
11. Богдзель А.А. и др. ОИЯИ, 13-84-386, Дубна, 1984.
12. Ермаков В.А. и др. ОИЯИ, P13-80-591, Дубна, 1980.
13. Балука Г. и др. ОИЯИ, P10-12960, Дубна, 1980.
14. Гундорин Н.А. и др. В кн.: "Нейтронная физика". Материалы 6-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Киев, 1983. ЦНИИатоминформ, М., 1984, т.2, с.37.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 октября 1985 года

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

JINR Rapid Communications will be issued regularly.



Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Антонов С.И. и др.

13-85-701

Методика многомерных измерений и анализа выхода продуктов деления ядер резонансными нейтронами

На импульсном источнике нейтронов ИБР-30, обеспечивающем на пролетной базе 57 м временное разрешение ~ 70 нс/м, проводится спектроскопия гамма-излучения и нейтронов, сопутствующих делению резонансными нейтронами. Используется ионизационная камера, содержащая 10 г урана, обогащенного до 90% изотопом U-235 с эффективностью регистрации акта деления $\sim 70\%$. Гамма-кванты регистрируются Ge(Li) детекторами объемом ~ 30 см³ и энергетическим разрешением $\sim 2,8$ кэВ для энергии 1333 кэВ, а нейтроны - детектором на основе жидкого сцинтиллятора Ne-213, размером 5 см x 5 см и фотоумножителем 56AVP. Для повышения качества гамма-спектров и спектров нейтронов осуществляется дискриминация по времени нарастания и по форме импульса соответственно. Временное разрешение для совпаденной камеры - Ge(Li) детектор составляет 8 нс, камера - детектор нейтронов - 4 нс. Для пересылки спектроскопической информации по длинной линии / ~ 800 м/ применяется цифровая передача последовательным кодом со скоростью 200 Кбит/с. Специализированные программы обеспечивают автоматический режим накопления многомерной информации и ее сортировку с построением полноинформативных двумерных матриц.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Antonov S.I. et al.

13-85-701

Techniques of Multidimensional Measurements and Analysis of Yields of Nuclear Products Fission by Resonance Neutrons

Gamma-ray spectroscopy along with spectroscopy of neutrons following fission on resonance neutrons were carried out at the IBR-30 reactor at 57 m flight path and about 70 ns/m time resolution. For the registration of fission events an ionization chamber was used containing 10 g of uranium enriched to 90% with the U-235 isotope, the efficiency being about 70%. Gamma-quanta were registered with the Ge(Li) detectors with a working volume of about 30 cm³ and energy resolution of about 2.8 keV at an energy of 1333 keV. Rise-time discrimination was made to qualitative improvement gamma spectra. The neutrons were registered with the detector based on a liquid scintillator NE-213 (5 cm x 5 cm) and photomultiplier 56 AVP. Pulse shape discrimination was made to improve the neutron spectra. The time-resolution for the coincidences chamber-Ge(Li) detector and chamber-neutron detector were 8 ns and 4 ns, respectively. To transmit the spectrometric data along line (300 m) digital transmission by serial codes at 200 Kb/s was applied. Special programs provide for the automatic mode of multidimensional data acquisition and sorting followed by building up fully informative twofold matrices.

The Investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985