

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-6

P13-95-6

Д.В.Вакатов, Г.Георгиев, М.Г.Иткис, Э.М.Козулин,
Н.А.Кондратьев, А.Ю.Лаврентьев, Е.В.Прохорова*,
Ю.В.Пятков*, Ю.Г.Соболев, К.-М.Хербах, М.Л.Челноков

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ УСТАНОВКА CORSET
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ СПОНТАННОГО
И ВЫНУЖДЕННОГО ДЕЛЕНИЯ

*Московский инженерно-физический институт

Введение

В настоящее время в физике тяжелых ионов значительно возрос интерес к созданию многодетекторных спектрометров с целью исследования корреляционных зависимостей между продуктами распада двойной ядерной системы или возбужденных компаунд-ядер. Одновременное исследование угловых и энергетических распределений фрагментов, легких заряженных частиц, нейтронов и гамма-квантов в этих реакциях дает важную информацию о времени релаксации ядерной материи с высоким спином и энергией возбуждения даже для очень коротких времен взаимодействия. Изучение эмиссии легких заряженных частиц, нейтронов и гамма-квантов приводит, по существу, к пониманию механизма взаимодействия двух сложных ядер. Это тем более важно, т.к. до настоящего времени большая часть экспериментальной информации была получена из характеристик вторичных фрагментов, наблюдаемых после девозбуждения.

Главная задача многодетекторных спектрометров заключается в идентификации вкладов различных источников. Это возможное испускание частиц и гамма-квантов двойной ядерной системой в процессе ее эволюции, эмиссия нейтронов и гамма-квантов на стадии образования и существования компаунд-ядра до разделения на два осколка и затем эмиссии частиц осколками во время и после их ускорения в кулоновском поле.

Характеристики эмиссии частиц (множественность, угловое и энергетическое распределения) отражают структуру излучающего источника (направление движения, скорость, энергию возбуждения, спин и т.д.).

Однако увеличение числа детекторов приводит к резкому возрастанию регистрирующей электроники, к сложности управления экспериментом, а также к проблеме передачи и хранения большого объема данных. Получаемые в ходе эксперимента данные передаются в ЭВМ и накапливаются для последующей обработки.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова, ОИЯИ при финансовой поддержке РФФИ, контракт №94-02-06478.

© Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 1995

Анализ накопленной информации включает в себя отбор данных в соответствии с задаваемыми критериями, построение статистических распределений различных физических переменных, визуализацию результатов обработки.

Экспериментальная установка

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ создана установка CORSET [1], на которой проводятся исследования процессов слияния-деления ядер в реакциях с тяжелыми ионами, а также процессов эмиссии нейтронов при делении возбужденных составных ядер и ядерных систем. Установка позволяет одновременно измерять массово-энергетические и угловые распределения фрагментов реакций, энергетические и угловые распределения нейтронов, а также множественность γ -квантов (рис.1).

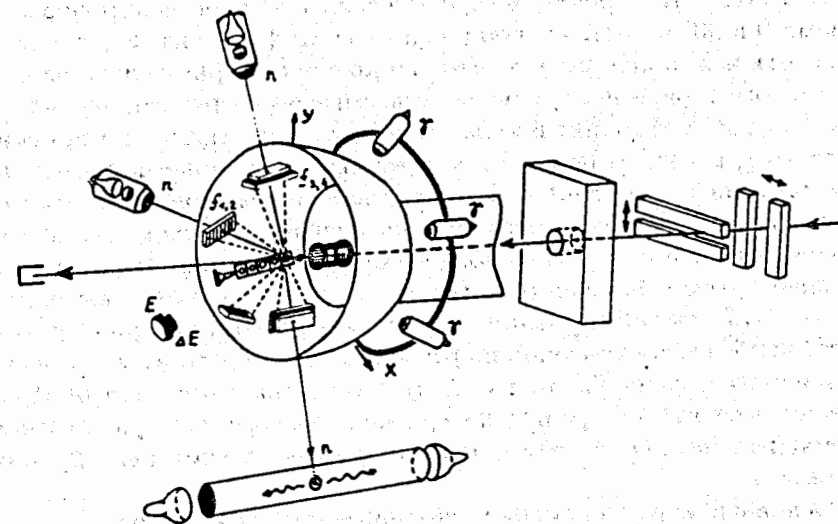


Рис.1. Пространственное расположение детекторов на установке CORSET

Основу установки составляют два идентичных осколочных тракта, которые регистрируют продукты реакции в перпендикулярных плоскостях. Каждый из осколочных трактов содержит двухплечевую

детекторную систему на основе позиционно-чувствительных полупроводниковых детекторов (ПЧПД), расположенных под корреляционными углами разлета фрагментов. В одном плече размещен телескоп, состоящий из ПЧПД для измерения энергии осколка и плоскопараллельного лавинного счетчика (ППЛС), предназначенного для получения стартового сигнала при измерении энергии нейтронов методом времени пролета. В другом плече каждого осколочного тракта размещен ПЧПД для измерения энергии парного осколка и ограничения кинематической области регистрации событий, что позволяет идентифицировать различные каналы реакции, например, отделять реакции, идущие через составное ядро от глубоконеупругих процессов.

Для регистрации нейтронов на установке используются сцинтилляционные детекторы, изготовленные на основе монокристаллов стибьена диаметром 50 мм и высотой 30 мм. В данной установке используются четыре идентичных нейтронных канала, расположенных под углами 0 и 90° по отношению к каждому осколочному тракту. Измерение энергетических спектров нейтронов под углами 0 и 90° по отношению к оси разлета фрагментов позволяет выделить нейтроны, испускаемые из двойной ядерной системы или составного ядра, и нейтроны, испускаемые из возбужденных осколков. Каждый нейтронный канал содержит амплитудный и временной тракт, так как используется методика, основанная на регистрации двумерных спектров нейтронов, полученных совмещением методов времени пролета и регистрации энергии протонов отдачи при их совместной последующей обработке. Организация многомерного анализа путем совмещения этих двух методов позволяет выделить из событий, скоррелированных с циклом работы ускорителя, область наиболее достоверной информации, свободную от низкоэнергетического γ -фона и область допустимых значений энергий. Применение в спектрометре n/γ -дискриминации помогает существенно уменьшить искажение нейтронного спектра за счет регистрации γ -квантов.

Основные характеристики нейтронного спектрометра:

- разрешающее время нейтронных времяпролетных трактов 1,2 нс;
- схема n/γ -разделения обеспечивает коэффициент отбора 100 при пороге регистрации нейтронов 500 кэВ;
- диапазон энергий регистрируемых нейтронов – 0,5–30 МэВ при пролетной базе 50–75 см;

- амплитудный канал позволяет проводить измерения в диапазоне 0,5–50 МэВ с интегральной нелинейностью 1,5%.

Для повышения эффективности регистрации и получения угловых распределений нейтронов на установке CORSET разработан позиционно-чувствительный нейтронный детектор (ПЧНД). Он представляет собой кварцевую трубу диаметром 60 мм, длиной 1 м, заполненную жидким сцинтиллятором LS-13 (аналог NE13), и расположен на расстоянии 1 м от мишени [2]. ПЧНД предназначен для регистрации нейтронов в диапазоне энергий от 0,5 до 20 МэВ и обладает временным разрешением 1,4 нс, координатным разрешением 10 см, средней собственной эффективностью 25%. Сигналы с детектора анализируются по амплитуде и форме, после этого полученная в матричном виде информация используется для дискриминации нейтронов от γ -квантов, уточнения координаты попадания нейтрона, выделения случайных совпадений и определения энергетического порога регистрации.

Установка CORSET содержит спектрометр для измерения множественности γ -квантов в реакциях с тяжелыми ионами. Спектрометр состоит из шести NaJ(Tl)-детекторов размером 63 x 63 мм, которые расположены в свинцовых коллиматорах и установлены в задней полусфере на расстоянии 20 см от мишени. Полная эффективность регистрации γ -квантов – 3%, порог их регистрации – 100 кэВ. Эффект перерасеяния γ -квантов из счетчика в счетчик "cross talk" составляет $(3,1 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$ для $E_\gamma = 662$ кэВ. Временное разрешение, полученное методом $\gamma - \gamma$ -совпадений с использованием источника ^{60}Co при порогах регистрации $E_\gamma = 100$ кэВ, составляет 7 нс. Включение временного анализа распределения γ -квантов по отношению к выбранному каналу реакции позволяет измерять множественность γ -квантов при фоновой загрузке в каждом детекторе – $7 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ и загрузке в стартовом канале – 10 с^{-1} .

Дальнейшее развитие установки привело к созданию времяпролетной методики регистрации осколков деления. Блок-схема каналов регистрации скоростей осколков, энергий и идентификации заряженных частиц приведена на рис.2.

Дополнительно к каналу измерения энергий осколков на полупроводниковых детекторах (ППД) включен двухплечевой времяпролетный спектрометр. В качестве стартового детектора

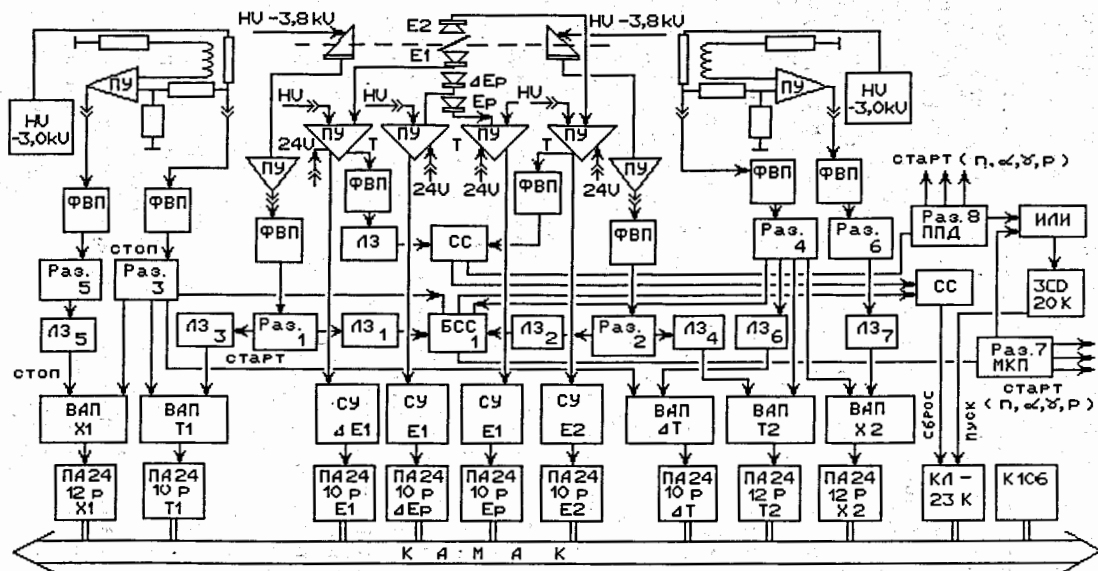


Рис.2. Блок-схема каналов регистрации скоростей осколков, энергий и идентификации заряженных частиц

использовался усилитель на микроканальных пластинах (МКП) с электростатическим зеркалом для электронов, выбитых осколком с тонкой (50 мкг/см^2) алюминиевой фольги. В качестве стопового детектора использовался однокоординатный временной детектор на МКП, аналогичный описанному в [3]. Временной сигнал снимается непосредственно с анода детектора, а координатный – с линии задержки. Для компенсации сигналов, наведенных на линию задержки анодным импульсом, в схеме предусмотрен суммирующий предусилитель, на инверсный вход которого подается часть сигнала с анода, а на прямой вход – сигнал с линии задержки.

Так как выходные сигналы детекторов имеют малую длительность, то для временной привязки были использованы дискриминаторы на микросхеме SP9687, описанные в [4]. Стартовый сигнал на разрешение регистрации приходит с быстрой схемы совпадений (БСС), и через модуль КЛ-23К организуется цикл приема данных. Запуск регистрации возможен также и с системы ППД, которая позволяет детекторами E1, E2 определять энергии осколков, а телескопом ΔE_p и E_p – энергию и тип заряженных частиц. Временное разрешение системы, оцененное по спектру альфа-частиц ^{226}Ra (рис.3), составило 120 пс.

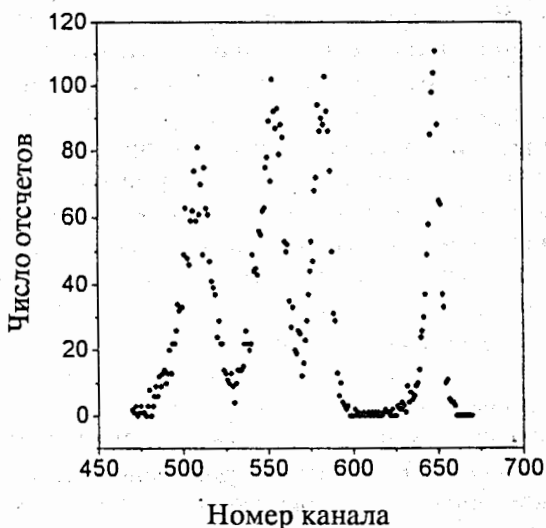


Рис.3. Спектр α -частиц ^{226}Ra

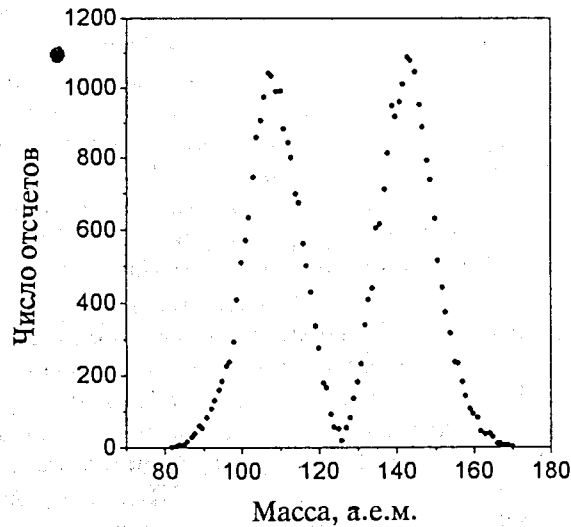


Рис.4. Массовое распределение осколков $^{252}\text{Cf}(s,f)$

Как известно, для осколков деления, имеющих большую амплитуду импульса с детектора, временное разрешение значительно лучше указанного. Позиционное разрешение стоповых детекторов < 500 мкм, что позволяет восстанавливать направление вектора скорости осколка с угловым разрешением $< 10'$. Это значительно превышает требования, предъявляемые к корреляционным измерениям с нейтронами и гамма-квантами. Мерой разрешения спектрометра по массе может служить отношение пик/провал (P/V) в массовом распределении осколков ^{252}Cf (рис.4). В нашем случае $P/V = 50$.

Система сбора данных

Распределенная система сбора информации (рис.5) создана на основе блоков КАМАК и двух компьютеров IBM PC 486, объединенных в локальную сеть. На компьютере, расположенном в непосредственной близости от установки, используется программный пакет MD8 для набора данных; на удаленной машине работает программа сортировки и анализа данных ATHENE.

В нашем случае выбор подходящей системы сбора данных исходил из двух принципов:

1) система сбора данных должна быть максимально быстродействующей по отношению к запросам на обслуживание от аппаратуры КАМАК. Разумеется, в принципе, возможно использование других промышленных модульных систем (VME, Multibus) и соответствующих стандартных программных приложений к ним. В таких системах процессы сбора данных и их накопления могут быть "распараллелены" между модулями, что позволяет резко увеличить производительность систем в целом. Однако стоимость подобных систем очень высока;

2) система сбора данных должна базироваться на сравнительно недорогостоящей машине (напр., IBM PC).

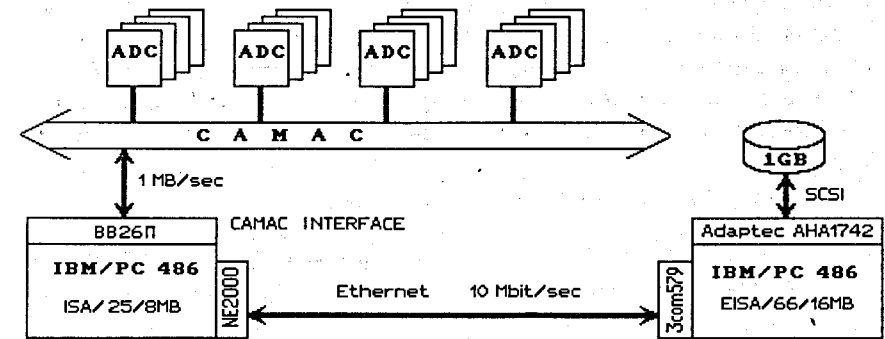


Рис.5. Система сбора информации установки CORSET

Существующие системы сильно привязаны к источникам информации: используемому оборудованию и временным характеристикам эксперимента. Это не позволяет использовать данные системы без существенных модификаций исходных программ. С другой стороны, большинство систем сбора данных [5,6,7,8] по сути однотипны: они занимаются сбором информации от КАМАКА, ее визуализацией и хранением для дальнейшей обработки. Наибольшие различия в этих системах заключены в процессе непосредственного взаимодействия с аппаратурой.

Как уже было замечено, нашей главной задачей была реализация недорогой системы сбора данных с низким фактором времени простоя оборудования КАМАК ("мертвого времени"). При этом ни режим работы по прерываниям, ни тем более режим опроса по готовности (программный режим) не дают необходимых временных показателей.

При использовании IBM PC в этих режимах времена обработки запросов могут увеличиваться до 0,6 мс (в зависимости от используемых машин и конфигурации операционных систем: с сетью или без сети). Поэтому использование систем сбора, реализующих логику работы такими способами, не представлялось возможным.

Однако при использовании IBM PC в качестве машины сбора данных имеется возможность работать по каналу DMA (Direct Memory Access), который позволяет вести набор с КАМАКа без участия центрального процессора и без прерываний на каждое событие! Для этого в машину набора был установлен интерфейс ВВ26П и создан программный пакет MD8, реализующий логику работы с DMA. При этом программа максимально конфигурируема, т.е. ее можно легко настроить на работу практически с любой аппаратурой КАМАК. Для настройки используется обычный текстовый файл, который может быть интерпретирован и изменен простой в использовании экранной программой CRATE, изображающей конфигурацию крейтов и блоков КАМАК, а также протокол события.

Итак, в программный пакет MD8 входят:

1. программа CRATE конфигурации аппаратуры (до 8 крейтов КАМАК);
2. программы управления экспериментом MD8nav и MD8view, быстрого сбора данных и визуализации их на экране, записи данных на твердый диск, а также передачи их по сети для хранения и дальнейшей обработки.

Программный пакет написан с использованием расширенных возможностей объектно-ориентированного программирования языка BORLAND PASCAL и библиотеки TURBO VISION.

Все модули КАМАК, входящие в систему сбора данных, управляются в режиме "master-trigger", т.е. считывание параметров события происходит по сигналу, выставляемому "мастером" (в наших экспериментах блоком КЛ-23К). Формат события описывается в файле конфигурации: каждое событие представляет собой последовательность 16-разрядных слов, и каждое слово в этой последовательности соответствует определенному параметру.

Для передачи данных из крейтов в память компьютера используется интерфейс, работающий по прерыванию или по каналу прямого доступа к памяти DMA. Контроллер DMA реализует обмен информацией напрямую между крейтами КАМАК и оперативной

памятью, что значительно ускоряет процесс сбора данных: в то время, как контроллер DMA ведет сбор данных, центральный процессор IBM PC параллельно с набором занимается быстрой сортировкой данных, визуализацией данных на экране, а также дисковым или сетевым сервисом. Чтобы увеличить скорость набора данных, измеренные многопараметровые события накапливаются в буфере в оперативной памяти (при этом используется защищенный режим работы процессора). Буфер организован по принципу циклической очереди (First In First Out). Из него данные записываются в файл на диск с автоматической генерацией имени файла с цифровым расширением, соответствующим номеру записываемого файла. Одновременно с набором на экране отображаются одномерные и двумерные спектры выбранных параметров событий. Затем спектры могут быть записаны на диск в различных форматах.

При работе с большими нагрузками осуществляется следующая логика набора: накопление событий всегда является приоритетным процессом, поэтому при достаточно большой нагрузке приостанавливается вывод спектров на экран. Визуализация спектров происходит только в свободное от набора время. Программа всегда нацелена на максимальный прием информации, которая может затем обрабатываться в off-line режиме. Пропускная способность набирающей части системы составляет 1 Мбайт/с.

Программа имеет два режима работы:

1. локальный контроль – все команды подаются с клавиатуры компьютера, подключенного непосредственно к крейтам КАМАК;
2. удаленный контроль – все команды управления и набора могут быть инициированы с компьютера, соединенного сетью Ethernet с компьютером, получающим данные от КАМАКа. Полученные спектры могут быть выведены на любом компьютере сети.

Использование режима удаленного контроля позволяет проводить эксперименты в условиях повышенного радиационного фона и сильных магнитных полей без вреда для здоровья экспериментаторов.

Полученные в результате экспериментов данные должны быть сохранены для дальнейшей обработки. Были рассмотрены следующие методы передачи и хранения данных:

1. в процессе накопления данные передаются на диск рабочей станции SPARCstation (Sun SLC, RISC-процессор, SunOS (UNIX)), являющейся сервером, с использованием PC-NFS (максимальная скорость 150 Кбайт/с);
2. в процессе набора данные передаются по сети на компьютер (IBM PC 486/66, HDD 1GB), являющийся сервером, с использованием LANtastic (версии 5.0, 6.0) на твердый диск (максимальная скорость от 400 до 500 Кбайт/с) или на электронный диск (скорость 640 Кбайт/с) для временного хранения информации;
3. данные накапливаются на локальном диске машины набора (IBM PC 486/25, HDD 300 MB), являющейся сервером с сетью LANtastic, к которому рабочие станции/серверы имеют доступ в процессе набора. В этом случае накопление возможно как на твердый, так и на электронный диск машины набора (максимальная скорость около 450 Кбайт/с для твердого и 640 Кбайт/с для электронного дисков).

В результате анализа этих методов был выбран третий вариант как оптимальный по отношению скорости набора к цене оборудования. В идеальной конфигурации машина набора, являющаяся сервером, имеет диск емкости, достаточной для записи данных эксперимента. Удаленная машина-клиент имеет доступ к серверу и может выполнять более сложные программы сортировки и анализа данных. К сожалению, имеющаяся в наличии Motherboard IBM PC (EISA, 486/66, HDD 1GB) (см. рис.5) выполнена не по стандарту (не обслуживается шинный сигнал READY в режиме DMA), что не позволяет использовать ее в качестве машины набора совместно с КАМАКом. Поэтому для этих целей применяется другой компьютер IBM PC (ISA, 486/25, HDD 300 MB).

Для сортировки и предварительного анализа данных использовалась программа ATHENE. Эта программа позволяет на основе параметров регистрируемых событий собирать и показывать одно- и двумерные гистограммы, проводить их визуальный анализ и задавать критерии отбора достоверных событий.

Применение программы ATHENE позволило значительно ускорить процесс обработки экспериментальных данных. Для этого, в частности, в программу были добавлены специализированные алгоритмы для считывания, преобразования и получения конечных физических величин в эксперименте CORSET.

Программа также использовалась для квази-on-line мониторинга с предварительной сортировкой данных (запаздывание не более 2-4с от реального времени эксперимента). Для этого был реализован режим считывания экспериментальных данных по сети с удаленного диска из файла, заполняемого в это же время программой набора. Такой режим работы чрезвычайно важен для предварительного анализа данных при больших нагрузках сопутствующего излучения.

Заключение

Создана установка CORSET, предназначенная для исследования корреляционных зависимостей продуктов реакций двойной ядерной системы и позволяющая выполнять одновременные измерения следующих параметров: E_{f1} , E_{f2} , $(\Delta E_p, E_p)$, E_{n1} , E_{n2} , E_{n3} , E_{n4} , TOF_{f1} , TOF_{f2} , $TOF_{n1,n2,n3,n4}$, E_γ , TOF_γ , а также $(Q_m - Q_6)$ – параметров, использующихся в системе n/γ – дискриминации.

Распределенная система сбора и визуализации данных позволяет получать экспериментальные данные и передавать их по сети для последующей обработки. Использование DMA в программе набора обеспечивает скорость приема данных из крейта КАМАК 1 Мбайт/с. Для квази-on-line мониторинга с предварительной сортировкой данных использовалась программа ATHENE. Применение этой программы позволило значительно ускорить процесс обработки экспериментальных данных.

Авторы выражают глубокую благодарность Р.Вольскому за полезные дискуссии и неоценимую помощь в работе по созданию методики регистрации осколков и легких заряженных частиц полупроводниковыми детекторами.

Литература

1. G.G.Chubarian et al., JINR FLNR Scientific Report 1991-1992, E7-93-57, Dubna, 1993, p.213.
2. I.D.Alkhozov, JINR Rapid Communication, 6[57]-92, Dubna, 1992, p.80.
3. Подшибякин С.Л. и др., Приборы и техника эксперимента, №6, 1988, с.67-71.

4. К.Хайдель, X.-Г.Ортлепп, Сообщение ОИЯИ P13-87-184, Дубна, 1987.
5. V.Hovander et al., Nucl. Instr. and Meth., v.A325, 1993, p.266-270.
6. C.J.Bebek et al., Nucl. Instr. and Meth., v.A338, 1994, p.447-454.
7. HOOPSY RSX, Data Acquisition System, HMI Preprint, HMI-B-436, Berlin, 1986.
8. MULTI. The Data Acquisition Program for IBM-PC/CAMAC Based Multi Parameter Experiments, WIENER, Plein and Baus, Burscheid, Germany, 1993.

Вакатов Д.В. и др.

P13-95-6

Корреляционная установка CORSET для исследования динамических характеристик процессов спонтанного и вынужденного деления

Представлена установка CORSET, предназначенная для исследования корреляционных зависимостей продуктов реакций двойной ядерной системы и позволяющая выполнять одновременные измерения следующих параметров: E_{f1} , E_{f2} , $(\Delta E_p, E_p)$, E_{n1} , E_{n2} , E_{n3} , E_{n4} , TOF_{f1} , TOF_{f2} , $TOF_{n1, n2, n3, n4}$, E_γ , TOF_γ .

Распределенная система сбора и визуализации данных позволяет получать экспериментальные данные и передавать их по сети для последующей обработки. Использование DMA в программе набора обеспечивает скорость приема данных из крейта КАМАК 1 Мбайт/с. Программа ATHENE использовалась для квази-он-лайн мониторинга с предварительной сортировкой данных, что чрезвычайно важно в экспериментах с большими нагрузками сопутствующего излучения.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод авторов

Vakatov D.V. et al.

P13-95-6

The Correlation Set-Up CORSET for Investigation of Dynamic Characteristics of Spontaneous and Induced Fission Processes

The CORSET set-up for investigation of correlation dependencies of double nuclear system reaction products is presented. Data Acquisition/Visualization System allows to obtain the experimental data and transmit them for next analysis. The use of DMA in run program provides the velocity of data acquisition obtaining from CAMAC 1 Mb/c. The ATHENE program has been used for quasi-on-line monitoring that is very important in the experiments with high radiation intensity.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1995