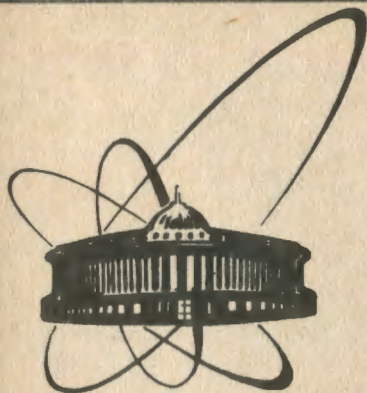


91-34



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-91-34

А.Н.Андреев, В.А.Горшков, Д.Д.Богданов,
А.В.Еремин, А.П.Кабаченко, А.Н.Кузнецов,
Г.М.Тер-Акопьян, В.И.Чепигин

МНОГОДЕТЕКТОРНАЯ СИСТЕМА
НАБОРА ИНФОРМАЦИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА СЕПАРАТОРЕ ВАСИЛИСА

1991

Установка ВАСИЛИСА^{1/} представляет собой кинематический сепаратор продуктов реакций полного слияния, работающий на пучке тяжелых ионов циклотрона У400 ЛЯР ОИЯИ. Сепарация ядер отдачи от пучка бомбардирующих ионов и других фоновых продуктов осуществляется ахроматической системой, состоящей из трех электростатических дефлекторов. Продукты реакций полного слияния фокусируются триплетом электромагнитных линз в приемное устройство, расположенное в фокальной плоскости сепаратора, на расстоянии 12 метров от мишени. Первый вариант детектирующего устройства сепаратора представлял собой однодетекторный модуль, подробно описанный в работе^{2/}. Идентификация нуклидов производилась методом α - α и "ядро отдачи- α " корреляций^{2,3/}. При исследовании ядерных реакций полного слияния в области трансактинидных составных ядер, поперечное сечение образования которых составляет величину 1 мкбн и меньше, а периоды полураспада - от долей микросекунд до нескольких секунд, становится существенной задача повышения надежности выделения корреляций и идентификации нуклидов. С этой целью были разработаны новый детектирующий модуль и электроника, позволяющие значительно расширить возможности для проведения экспериментов на сепараторе ВАСИЛИСА.

1. ДЕТЕКТИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ

Приемное устройство сепаратора представляет собой модуль, включающий в себя два времяпролетных детектора вторичных электронов (МСР1 и МСР2) для измерения времени пролета ядер-продуктов реакции и сборку из семи или восьми полупроводниковых детекторов, позволяющих измерять величину энергии ядер отдачи, а также α -частиц и осколков спонтанного деления, образующихся при распаде имплантированных в детектор ядер. Используются либо поверхностно-барьерные детекторы типа Si(Au) (рис.1а), либо полупроводниковые детекторы, изготовленные методом планарной технологии (рис.1б). Благодаря предварительному отбору и охлаждению во время работы до 265К энергетическое разрешение детекторов

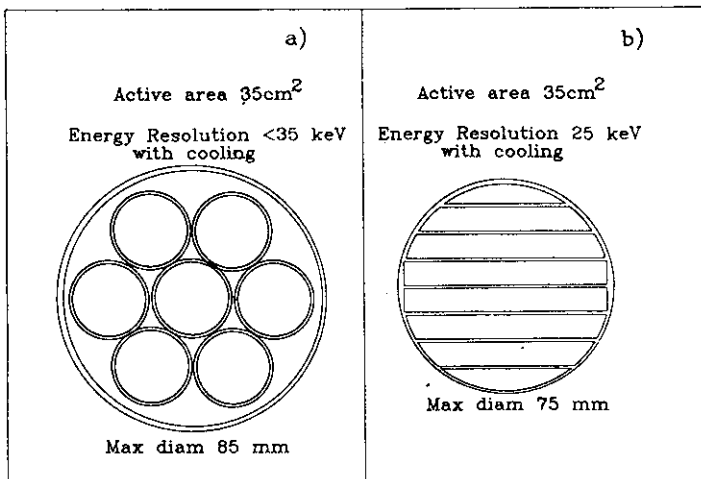


Рис.1. Полупроводниковые детекторы, используемые на сепараторе Василица.

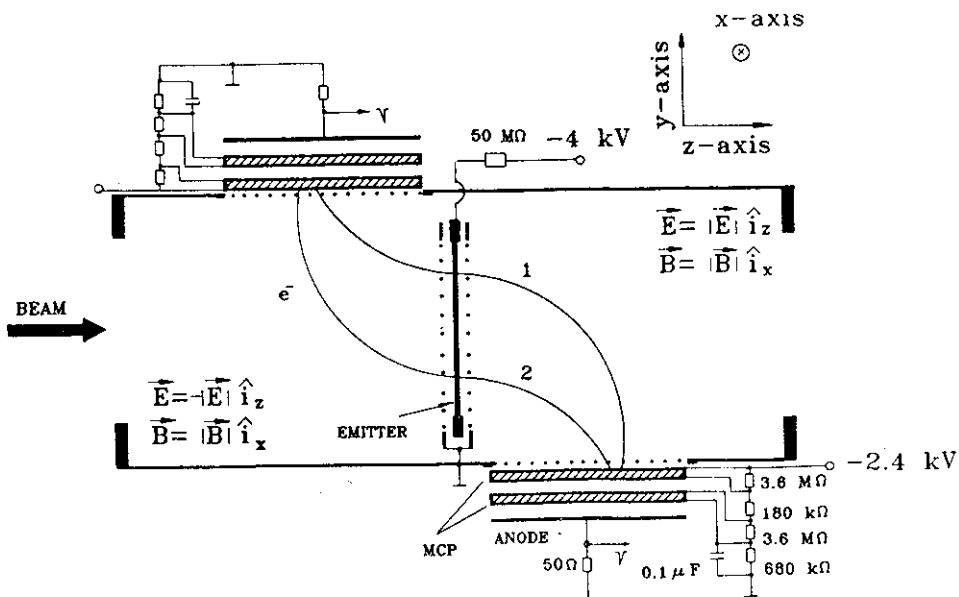


Рис.2. Схема времяпролетного детектора на основе микроканальных пластин.

составляет 25+35 кэВ. В качестве времяпролетных детекторов применяется система из двух широкоапертурных (диаметр 90 мм) детекторов на основе прямоугольных микроканальных пластин (micro-channel plates) размером 70*90 мм, рис.2. В качестве эмиттеров используются тонкие (20+30 мкг/см²) коллодиевые или майларовые пленки с напыленным слоем Au (≈ 10 мкг/см²). Тяжелый ион или ядро отдачи, проходящие через эмиттер, выбивают электроны, которые после ускорения в промежутке эмиттер-сетка до энергии 4 кэВ собираются магнитным полем (≈ 40 Гс) на поверхность первой микроканальной пластины. Для увеличения эффективности регистрации сбор электронов осуществляется с обеих сторон эмиттера. Разрешающее время времяпролетной системы для ядер отдачи ≈ 2.5 нс. Пролетная база составляет 50 см. Эффективность регистрации продуктов реакции и рассеянных ионов пучка системой времяпролетных детекторов $\approx 99.9\%$. Установка времяпролетных детекторов дает возможность разделить ядра отдачи - продукты реакций полного слияния и фон, связанный с низкоэнергетической (< 10 МэВ) компонентой пучка бомбардирующих ионов и другими фоновыми продуктами. Кроме того, наличие сигнала от любого из детекторов вторичных электронов служит запретом для регистрации в α -трактах, позволяя, таким образом, значительно улучшить фоновые условия при измерении α -спектров "в пучке". На рис.3 приведены типичные спектры "Время пролета - энергия" для реакций ест. w+²²Ne (рис.3а) и ест. ду+⁴⁰Ag (рис.3б).

Подробное техническое описание и принцип работы блоков, работающих в электронной системе отбора событий и регистрации экспериментальной информации сепаратора ВАСИЛИСА, изложены в работе /4/. В настоящей работе приводится описание общего принципа организации измерений и обработки и некоторые результаты первых экспериментов.

2. СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ТРАКТЫ

Электронные блоки, дающие спектрометрическую информацию, размещены в крейте, расположенном в непосредственной близости от приемного устройства, на расстоянии около 100 метров от работающей в режиме on-line ЭВМ IBM PC/AT. Крейт обслуживается контроллером КК001⁵ в сочетании с блоками, аппаратно обеспечивающими необходимую логику отбора событий по заданным критериям совпадений и антисовпадений.

Для регистрации энергии продуктов реакций, а также их α -распада и/или спонтанного деления используются восемь одинаковых спектрометрических трактов - по одному на каждый детектор. Блок-схема одного тракта приведена на рис. 4. Каждый тракт состоит из зарядочувствительного предусилителя ПУ ($\tau_{\text{фр}}=10+40$ нс, в зависимости от емкости детектора), настроенного таким образом, что он может работать с детектором большой (до 1000 пФ) емкости и спектрометрического усилителя СУ-4К^В. Усилитель переделан таким образом, что имеет два спектрометрических выхода с соотношением коэффициентов усиления на выходах 1:10. Это позволяет расширить диапазон измеряемых энергий до 150 МэВ, не вводя дополнительный тракт при одновременном измерении сигналов от α -распадов и спонтанного деления, отличающихся по амплитуде в 5-10 раз. Усилитель имеет разделенные формирования интегрирования и дифференцирования сигналов. Для получения наилучшего энергетического разрешения мы использовали $\tau_{\text{инт}}=\tau_{\text{диф}}=(1+1.5)$ мкс. Сигналы Б1+Б8 с быстрых выходов усилителей, используемые в схеме запуска и быстрого отбора, имеют отрицательную полярность и длительность 0.3 мкс.

Поскольку осколки деления в "электронном смысле" отличаются от α -частиц только амплитудой импульсов, то логика регистрации этих частиц одинакова, с той лишь разницей, что для α -частиц используются выходы 1:1, а для осколков деления выходы 1:10 усилителей СУ-4К и соответственно первый и второй мультиплексоры АМ-24К. Выход первого мультиплексора подсоединен ко входам трех амплитудно-цифровых преобразователей АЦП α_m , АЦП α_d и АЦП γ , выход второго мультиплексора - ко входу АЦП f . Два АЦП - АЦП α_m и АЦП α_d используются для регистрации последовательных быстрых α -распадов. Принцип регистрации всех типов частиц описывается ниже.

Диапазоны АЦП α и АЦП f перекрываются в области энергий от 15 МэВ до 20 МэВ таким образом, что при регистрации любого распада с энергией меньше 15 МэВ он записывается только в α -тракт; с энергии распада от 15 до 20 МэВ - и в α -тракт и в тракт осколков, а при энергии распада больше 20 МэВ происходит его регистрация в тракте осколков и насыщение α -тракта. Следует особо отметить, что каждый тип частиц (например, α -частица, ядро отдачи или осколок деления) имеет свой строго определенный АЦП, и включение

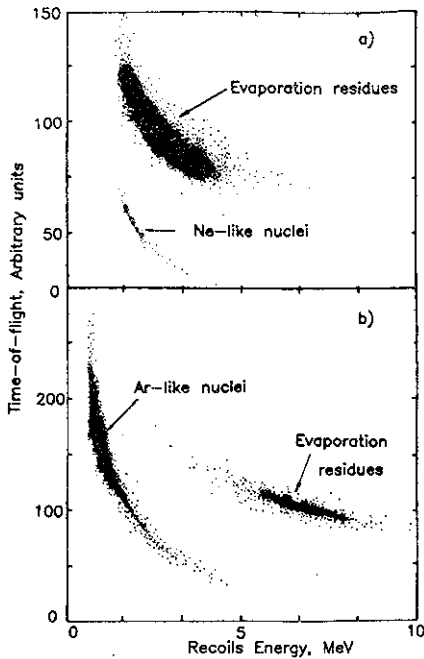


Рис. 3. Спектры "Время пролета - Энергия" для реакций $^{20}\text{Ne} + \text{ест. w}$ (а) и $^{40}\text{Ar} + \text{ест. Dy}$ (б).

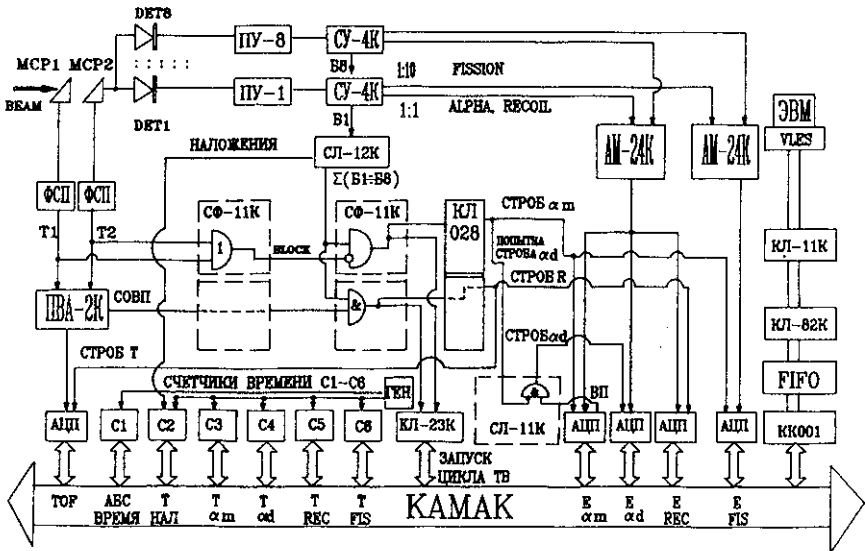


Рис. 4. Блок-схема электронного оборудования системы набора информации (обозначения в тексте).

конкретного АЦП определяется логикой быстрого отбора.

Для каждого события записываются энергия, код детектора и время прихода события.

В качестве АЦП используются блоки ПА-24К¹⁷¹. При этом под код энергии частицы занимают 12 младших разрядов, а три старших разряда добавляются для записи кода детектора, в котором зарегистрирована частица. Код детектора определяется по номеру входа сработавшего мультиплексора следующим образом: по переднему фронту сигнала "время преобразования" ВП от АЦП в соответствующий регистр мультиплексора заносится код номера канала, который выдается на магистраль по сигналу "МИГ" от данного АЦП при чтении последнего и в виде 3-х старших разрядов добавляется к 12-разрядному коду амплитуды.

Логика запусков и система быстрого отбора

Схема запуска электроники представлена на рис. 4 и 5. Все АЦП нормально закрыты по резервной шине Р2 блоком КЛ-23К - блоком запуска цикла измерения. Кроме этого, все АЦП блокированы по разъемам "Блок" на лицевых панелях АЦП.

Блок СЛ-12К - является сумматором импульсов В1+В8 с быстрых выходов СУ-4К и одновременно индикатором наложений. Ядро отдачи идентифицируется по наличию сигнала совпадения "Совп" с "Время-амплитуда" конвертора ПА-2К и быстрого сигнала с блока суммирования быстрых сигналов В1+В8 СЛ-12К. α -распады и осколки деления регистрируются при условии антисовпадения быстрого сигнала с полупроводниковых детекторов и сигнала с любого из времяпролетных детекторов. Наличие сигнала хотя бы с одного времяпролетного детектора запрещает регистрацию импульсов в α -тракте и f-тракте и позволяет отличить импульсы от имплантированных ядер отдачи и импульсы от их последующих распадов. Организация совпадений осуществляется с помощью специально разработанной системы блоков.

Блок КЛ-23К - блок организации запусков. После прихода любого импульса в полупроводниковый детектор схема быстрого отбора в зависимости от типа частицы генерирует сигнал "Пуск1" или "Пуск2". По этому сигналу КЛ-23К генерирует сигнал ТВ - импульс запуска цикла измерения электроники - цикла ТВ. Его длительность Т - переменная, изменяется гелиподом и обычно равна 200 мкс. При

этом по шине P2 магистрали КАМАК происходит открывание всех АЦП. Однако, чтобы какой-либо АЦП зарегистрировал импульс, необходимо также наличие дополнительного строба для АЦП, соответствующего типу регистрируемой частицы. Этот строб открывает соответствующий АЦП только на 3 мкс, что дает дополнительную защиту от возможных наводок и помех.

ОРГАНИЗАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Поскольку в изучаемой области многие нуклиды имеют периоды полураспада порядка $1+200$ мкс, была разработана специальная схема для измерения таких распадов.

Если после запуска блоком КЛ-23К цикла измерения ТВ до конца цикла больше не приходит ни одного импульса, то контроллер КК001 производит считывание и передачу информации со всего крейта в ЭВМ. В этом случае следующий приходящий импульс начинает новый цикл измерения. Мертвое время в этом случае определяется только временем, необходимым для передачи информации крейт-контроллером КК001 через память типа FIFO в ЭВМ и составляет ≈ 50 мкс.

Более сложным является случай, когда за время цикла ТВ приходит еще какой либо импульс. В этом случае дальнейшая работа зависит от типа частиц. Возможны следующие варианты работы:

1) Если первая и вторая частицы имеют разные типы, например ядро отдачи - α , ядро отдачи - осколок деления, α - осколок деления и т.д., то каждый импульс регистрируется АЦП, соответствующим типу частицы: Ядро отдачи - АЦПг; α -частица - АЦП α_m ; осколок деления - АЦПг. После окончания цикла ТВ контроллер КК001 передает информацию в ЭВМ. В этом случае и в описанных ниже время цикла ТВ может увеличиваться, если вторая и последующие частицы приходят в конце цикла. Тогда время T автоматически продлевается на время регистрации этих импульсов соответствующими АЦП. Мертвое время в этом случае составляет - $(50+T_{\text{продления}})$ мкс.

2) Если оба пришедших за время цикла ТВ импульса принадлежат ядрам отдачи, то первый импульс будет зарегистрирован АЦПг и, поскольку не предусмотрено альтернативного АЦП для регистрации ядер отдачи, второй импульс будет потерян. Такой же принцип работы и при регистрации двух последовательных актов спонтанного деления в течение цикла. Однако следует отметить, что так как вероятность

таких событий в интервале 200 мкс мала, это практически не приводит к возникновению дополнительного мертвого времени и потери физической информации. Мертвое время в обоих случаях - 200+50 мкс.

3) Для регистрации двух последовательных быстрых α -распадов со временем распада, меньшим длительности цикла ТВ, применяется система из двух альтернативных АЦП - АЦП α_m и АЦП α_d . При этом первая проходящая α -частица регистрируется АЦП α_m , и импульс "Время преобразования" (ВП) этого АЦП поступает в блок СЛ-11К - блок обработки сигналов ВП (см. рис. 4 и 5). Если после этого приходит вторая α -частица (причем не важно, в какой детектор), то АЦП α_m будет уже закрыт, и блок СЛ-11К при наличии импульса ВП от АЦП α_m выдаст строб разрешения на АЦП α_d , который и зарегистрирует вторую α -частицу. Мертвое время для регистрации последовательных быстрых пар α_m - α_d составляет $(200+50+t_{\text{продления}})$ мкс, а для регистрации α_d внутри пары - $T_{\text{м} \alpha_d} \approx 2$ мкс. Таким образом, первый α -распад внутри цикла ТВ на "аппаратном" уровне условно считается распадом материнского ядра, а второй - дочернего. В дальнейшем, такие пары α -распадов будут называться быстрыми корреляциями (при условии, что они произошли в одном детекторе). Метод измерения $T_{\text{м} \alpha_d}$ описывается ниже. Считывание контроллером КК001 информации с крейта происходит только после конца цикла ТВ.

За время одного цикла может быть зарегистрировано не более четырех частиц. В этом случае схема работает аналогично, однако следует помнить, что за время одного цикла могут быть зарегистрированы только одно ядро отдачи, один осколок деления и две α -частицы, причем независимо от того, в каком порядке и в каких детекторах эти частицы зарегистрированы.

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ И ИНДИКАЦИЯ НАЛОЖЕНИИ

Принцип измерения времени распада аналогичен принципу, примененному в работе ¹². При измерении характеристик последовательных распадов нуклидов с временем распада, сравнимым с длительностью спектрометрических импульсов усилителей СУ-4К (1+5 мкс), возможен эффект частичного наложения импульсов и, следовательно, искажения амплитуд импульсов. Для регистрации таких событий в блоке СЛ-12К установлен индикатор наложений, который

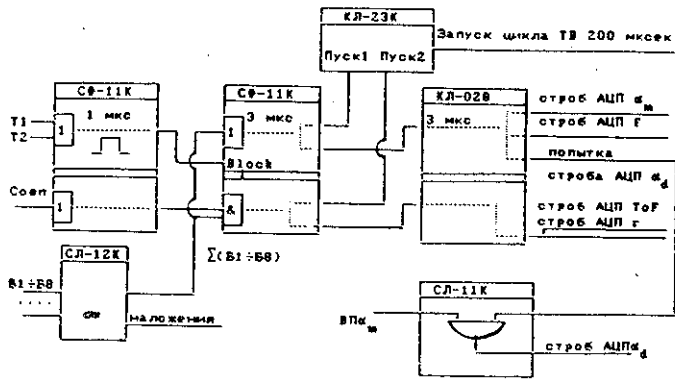


Рис.5 Схема запуска цикла измерения.

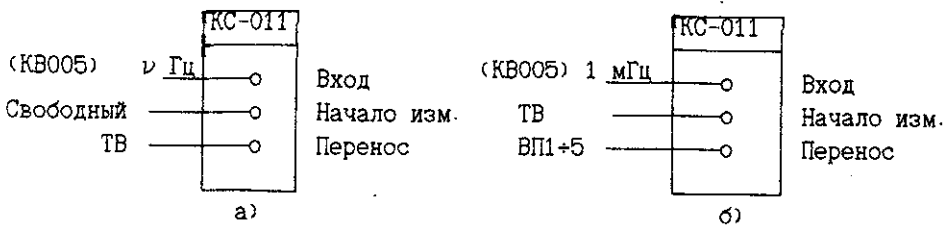


Рис.6. Схема измерения времени.

- а) Измерение абсолютного времени (счетчик С1);
 - б) Измерение времени внутри цикла ТВ (счетчики С3+С6)
- Обозначения : КВ005 - кварцевый генератор, ν - частота генератора. ТВ - импульс начала цикла измерения, ВП - импульс "Время преобразования" сработавшего АПП.

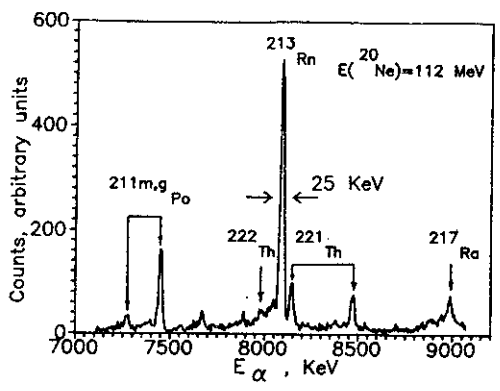


Рис.7. Суммарный α -спектр продуктов реакции $^{20}\text{Ne} + ^{208}\text{Pb}$.

выдает на магистраль КАМАК код, соответствующий номеру детектора, в котором произошло наложение. Кроме этого, импульс, соответствующий интервалу времени между этими импульсами от детекторов (измеряемому по разности времен соответствующих импульсов с выходов $B1+B8$), идет в счетчик времени С2 для измерения времени наложения.

Для измерения временных интервалов в системе установлен кварцевый генератор КВ-005 и шесть шестнадцатиразрядных счетчиков КС-011. Все счетчики, кроме счетчика С1 - счетчика абсолютного времени, запускаются импульсом начала цикла измерения - ТВ. На счетные входы всех счетчиков подаются импульсы с выходов генератора КВ-005. Для измерения абсолютного времени используется счетчик С1 (см. рис. 6а), на счетный вход которого идут импульсы, частоту ν которых можно менять, меняя таким образом длительность измеряемого интервала и соответственно минимальную цену канала. Обычно устанавливается частота $\nu=10^4$. На вход "Перенос" этого счетчика подаются импульсы начала цикла ТВ. Итак, если в течение цикла ТВ зарегистрирована только одна частица, то ей приписывается только абсолютное время с минимальной ценой канала $1/\nu$. При заполнении счетчика происходит его обнуление и цикл счетчика начинается снова. Абсолютное время в дальнейшем восстанавливается программным образом по числу таких циклов.

Для измерения времени внутри цикла - т.е. если в течение цикла длительностью T зарегистрировано более одной частицы, служат счетчики С3+С6. На их счетные входы поступают импульсы с постоянной частотой 1 МГц (см. рис. 6б). На вход "Начало измерения" идут импульсы ТВ. На вход "Перенос" идут импульсы "Время преобразования" с соответствующих АЩП, и, таким образом, каждое такое событие имеет два времени - абсолютное (с минимальной ценой канала $1/\nu$) - время начала цикла и время внутри цикла (с ценой канала 1 мкс).

Для регистрации времени наложения импульсов имеется счетчик С2. Он работает так же, как и счетчики С3+С6, но в качестве сигнала "Перенос" служит сигнал с индикатора наложений СЛ-12К.

Передача информации в ЭВМ

Таким образом, каждое событие представляется в виде последовательности $(N+1)$ 16-разрядных слов / N - число измеряемых параметров, обычно $N=11$ /, причем каждое слово этой

последовательности соответствует определенному параметру, а последнее слово, формируемое блоком КЛ-23К, содержит ряд признаков. Возможно установить до 4 признаков - например, событие "в пучке" или "вне пучка", есть импульс блокировки или нет. Предусмотрена возможность работы в режиме блокировки ВЧ-модулятора циклотрона У-400 от ЭВМ, а также блокировки регистрирующей аппаратуры от ВЧ-модулятора.

Крейт-контроллер ККО01 передает последовательность 16-разрядных слов в блок памяти FIFO КП-16К с независимыми записью и чтением данных, который служит для уменьшения мертвого времени передачи данных в ЭВМ путем выравнивания потока информации. Из FIFO информация через усилитель мощности КЛ-82К передается в ЭВМ через специально разработанный интерфейс "ВЛЕС-ВЫЛЕС". Метод передачи информации в ЭВМ полностью аналогичен методу, описанному в ^{12/} и более подробно в ^{4/}.

ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программы набора и предварительной обработки данных написаны на языке Турбо-Паскаль версия 5.0 и аналогичны описанным в ^{12/}. Программы позволяют формировать в оперативной памяти ЭВМ во время набора 18 одномерных энергетических спектров по 4096 каналов каждый, один двумерный 256*256 спектр "время пролета-энергия" и один двумерный 256*256 спектр α - α корреляций на диске ЭВМ. Любой из спектров по желанию оператора может инициироваться на дисплее. Существует стандартный набор команд для пользователя, позволяющий контролировать ход эксперимента. Все спектры могут быть записаны в файлы. Во время набора информации возможно установить различные критерии отбора событий, например: по энергии или/и по времени пролета для ядер отдачи; по энергии для α -частиц.

Файлы, содержащие спектры, и файлы событий используются для дальнейшей off-line обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При обработке полученных данных возникает задача суммирования α -спектров с различных детекторов, что невозможно выполнить без хорошей калибровки детекторов и спектрометрических трактов.

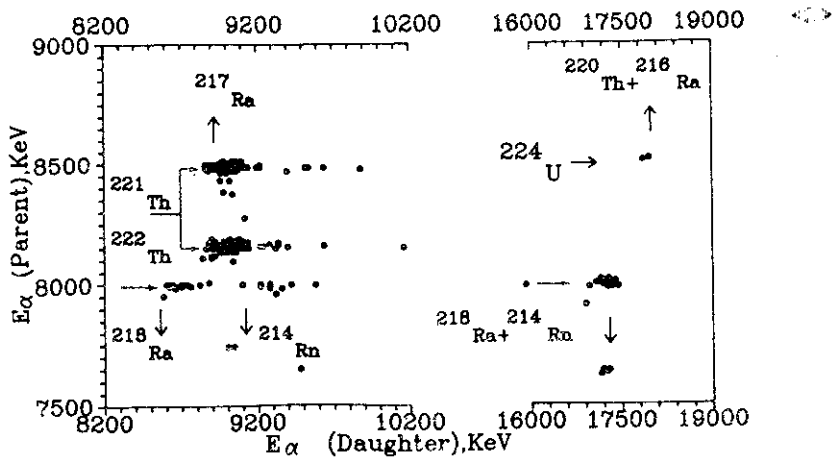


Рис. 8. Спектр α_m - α_d корреляций для временного окна 0-200 мкс.

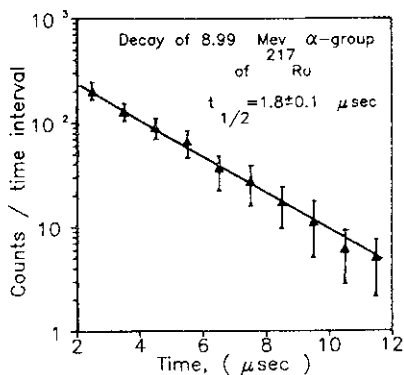


Рис. 9. Временное распределение для α -распадов ^{217}Ra .

Калибровка внешним α -источником может приводить к ошибке, связанной с наличием мертвого слоя на поверхности детектора. Поэтому в экспериментах для калибровки мы используем α -распады ядер, имплантированных в детектор. Это позволяет также избежать ошибки калибровки, связанной с энергией отдачи имплантированного иона при испускании им α -частицы. Эта методика позволяет проводить калибровки в широком (от 4.5 МэВ до 9 МэВ) диапазоне энергий α -распада, что является затруднительным в случае использования внешнего источника. На рис. 7 приведен типичный суммарный α -спектр продуктов реакции $^{208}\text{Pb} + ^{20}\text{Ne}$. Как видно из рисунка, при хорошо сделанной калибровке, разрешение $\approx 25+30$ кэВ, получаемое для непросуммированных спектров, сохраняется и в суммарных. Калибровка спектров α_m проводится непосредственно по одномерным спектрам и ошибка калибровки в области 6+9 МэВ не превышает 15 кэВ, а в области 17+18 МэВ, соответствующей пикам полного суммирования, - не более 40+50 кэВ. Калибровка спектров α_d проводится по α - α спектрам быстрых корреляций (0+200 мкс). Ввиду того, что α_m и α_d -тракты отличаются только АЦП, первоначально предполагаются одинаковые калибровки для α_m и α_d -трактов. Для α_m -линии, имеющей удобную цепочку быстрых α -распадов (например, ^{222}Th или ^{221}Th в случае реакции $^{208}\text{Pb} + ^{20}\text{Ne}$), строится α - α спектр быстрых корреляций. Из этого спектра получают одномерные α_d -спектры для каждого детектора, по которым и производится калибровка α_d -трактов. Однако, так как большинство α -линий в спектрах α_d "размазаны" по энергии из-за обратного вылета последующих быстрых ($T_{1/2} \approx 1+3$ мкс) α -частиц, или же происходит частичное или полное суммирование для α -частиц с $T_{1/2} \leq 1$ мкс, ошибка калибровки для α_d -трактов составляет 50+70 кэВ. На рис. 8 представлен α_m - α_d спектр быстрых корреляций во временном окне 0+200 мкс для реакции $^{208}\text{Pb} + ^{20}\text{Ne}$.

Мертвое время для быстрых α_d -частиц определялось из сравнения счета для α -линий ^{221}Th ($E_{\alpha 1} = 8.15$ МэВ, $E_{\alpha 2} = 8.47$ МэВ) в одномерном спектре и счета для этих линий в спектрах быстрых корреляций (см. рис. 7-8). Оно оказалось равным $T_M \approx 2$ мкс. На рис. 9 приведено временное распределение для α -частиц ^{217}Ra ($E_{\alpha} = 8.99$ МэВ), измеренное в наших экспериментах. Полученная величина $T_{1/2} = 1.8 \pm 0.1$ мксек находится в хорошем согласии с табличной ($T_{1/2} = 1.6 \pm 0.2$ мкс) ^{8/}. Это доказывает способность детектирующей аппаратуры измерять

времена жизни и энергии α -распада с хорошей точностью в широком диапазоне величин, что является существенным в экспериментах по изучению свойств тяжелых элементов.

Литература

1. A.V.Yeremin et al., Nucl. Instr. and Meth., A274, (1989), p. 528
2. А. Н. Андреев и др., Препринт ОИЯИ Р13-87-914, (1987)
3. S.Hoffman et al., Z.Phys. A, 291, 1979, p. 53
4. А. Н. Кузнецов, Сообщение ОИЯИ, 13-90-206, Дубна, 1990
5. Н. И. Журавлев и др., Сообщение ОИЯИ, 10-7332, Дубна, 1973
6. А. Н. Кузнецов, В. Г. Субботин, Сообщение ОИЯИ, 13-12953, Дубна, 1979
7. А. Н. Кузнецов, В. Г. Субботин, Сообщение ОИЯИ, 13-83-67, Дубна, 1983
8. W.Westmeier and A.Merklin, Catalog of Alpha Particles from Radioactive Decay, Karlsruhe (1985), Nr.29-1.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1991 года.