

Лазарев Ю.А. и
др.
Система детектирования,
измерения...
3-97-238.

Введение

Дубненский газонаполненный сепаратор [1], работающий на пучке тяжелых ионов циклотрона У - 400 ЛЯР, является в настоящее время одной из наиболее эффективных систем, применяющихся для синтеза и исследования свойств сверхтяжелых ядер. Именно с вводом в эксплуатацию данной установки стало возможным проведение экспериментов по синтезу тяжелых изотопов элементов с $Z = 104, 106, 108, 110$ и открытию области повышенной стабильности ядер в окрестности $Z = 108$ и $N = 162$ [2,3,4]. Достигнутый в последнее время в мире успех в области синтеза сверхтяжелых ядер может быть сведен к трем составляющим, а именно :

- наличие эффективных (эффективность сбора исследуемых ядер в фокальной плоскости до десятков процентов) электромагнитных сепараторов;
- наличие сильноточных ускорителей тяжелых ионов, обеспечивающих интенсивность пучка тяжелых ионов на мишени вплоть до нескольких единиц на десять в тринадцатой степени частиц в секунду;
- наличие систем регистрации, обеспечивающих надежную идентификацию исследуемых нуклидов даже в случае единичных / единственных событий.

Описанию подобной системы регистрации, применяющейся на установке дубненский газонаполненный сепаратор, и посвящена эта работа.

1. Детектирующий модуль

Схема детектирующего модуля представлена на рис. 2. Модуль включает сборку позиционно - чувствительных детекторов для измерения энергии и локализации места прилета ядер отдачи, внедрившихся в детектор, а также для измерения энергии и места эмиссии α - частиц и осколков деления последующих событий распада, внедрившихся в детектор ядер, и две пропорциональные многопроволочные газовые камеры низкого давления для измерения времени пролета ядер отдачи [5].

Детектирующий модуль отделен от объема сепаратора майларовым окном толщиной 0,5 мкм. Весь объем детектирующего модуля заполняется пен-таном при давлении 0,5 - 2,5 Торр. Анодные и катодные плоскости камер сделаны из золоченой вольфрамовой проволоки диаметром 20 мкм с проме-

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

жутками для анода 2 мм, а для катода в 1 мм. Расстояние от анодной плоскости до каждого из катодов камеры 7 мм. Пролетная база, расстояние между камерами 5 см. Активная площадь камер 140 x 60 мм². Напряжение катодных плоскостей - (100 - 150) В, на анодных плоскостях + (400 - 500) В.

Сигналы с анодных плоскостей камер поступают на зарядово-чувствительные преусилители. Коэффициент преобразования преусилителя 8 мВ/фКл, фронт нарастания импульса на его выходе 50 - 80 нс.

Функциональная схема канала времени пролета представлена на рис. 3. Разрешение по времени пролета равно 1 нс.

Сборка позиционно-чувствительных детекторов состоит из трех имплантированных, пассивированных кремниевых кристаллов с активной площадью каждого кристалла 40 x 40 мм². Активная площадь сборки 120 x 40 мм². Толщина кристалла 300 - 320 мкм. Каждый кристалл имеет четыре полоски с (p-n)- переходами. Сторона омического контакта без полосок общая для всей площади кристалла. Ширина каждой полоски 9,6 мм, зазор между полосками равен 0,4 мм. Резистивный слой располагается на стороне полоски, т.е. на стороне (p-n)- перехода каждого детектора.

Сопротивление этого слоя у каждой полоски от 2,5 до 2,7 кОм. Детекторы применялись в режиме полного обеднения. Ядра отдачи влетают в детектор со стороны омического контакта. Входное окно детектора со стороны омического контакта не более 0,1 мкм, со стороны перехода 0,05 мкм.

Площадь каждой полоски 3,8 см². Рабочее напряжение детектора 40 - 50 В. Емкость каждого детектора, образованного полоской, 150 пф, ток утечки при температуре 20 °С от 25 до 100 нА. Ток утечки увеличивается за время облучения в основном из-за имплантации в детектор мишенеподобных ядер отдачи. Разрешение для необлучавшихся детекторов при τф = 1,5 мкс по генератору находится в пределах 12 - 16 кэВ, а с внешним источником α- частиц 22 - 28 кэВ (рис. 1).

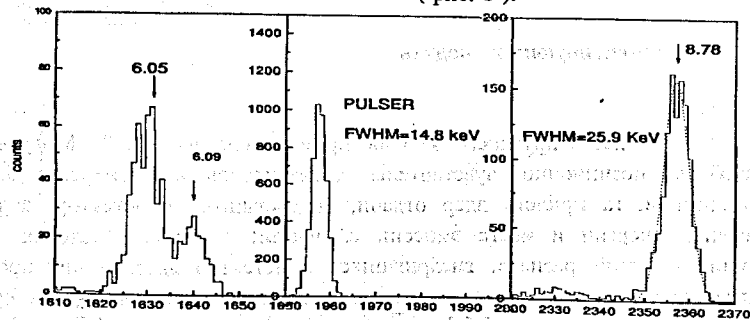


Рис.1

STRIP #12 according to sto40.spe
p:/yura sto40.org May 14, 1996

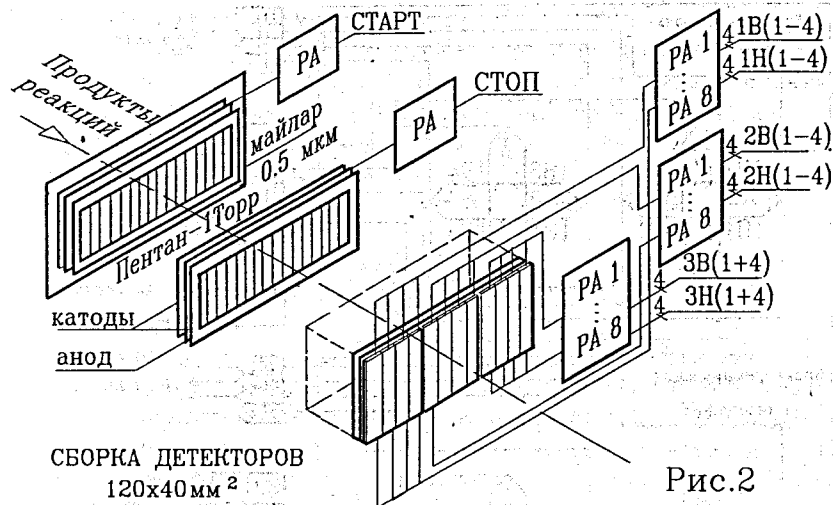


Рис.2

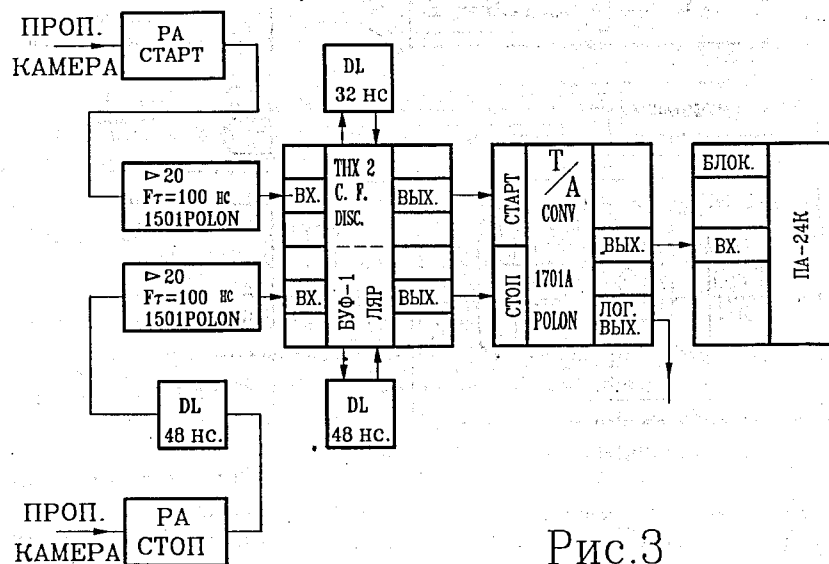


Рис.3



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

97-238

P13-97-238

Ю.А.Лазарев, В.Г.Субботин, А.М.Сухов, С.Н.Илиев,
Ю.С.Цыганов, А.Н.Поляков, А.Н.Мезенцев, В.И.Томин,
А.М.Зубарева

СИСТЕМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ
И НАКОПЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ДАННЫХ ДЛЯ ГАЗОНАПОЛНЕННОГО
СЕПАРАТОРА ЛЯР ОИЯИ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1997

Введение

Дубненский газонаполненный сепаратор [1], работающий на пучке тяжелых ионов циклотрона У - 400 ЛЯР, является в настоящее время одной из наиболее эффективных систем, применяющихся для синтеза и исследования свойств сверхтяжелых ядер. Именно с вводом в эксплуатацию данной установки стало возможным проведение экспериментов по синтезу тяжелых изотопов элементов с $Z = 104, 106, 108, 110$ и открытию области повышенной стабильности ядер в окрестности $Z = 108$ и $N = 162$ [2,3,4]. Достигнутый в последнее время в мире успех в области синтеза сверхтяжелых ядер может быть сведен к трем составляющим, а именно :

- наличие эффективных (эффективность сбора исследуемых ядер в фокальной плоскости до десятков процентов) электромагнитных сепараторов;
- наличие высокоточных ускорителей тяжелых ионов, обеспечивающих интенсивность пучка тяжелых ионов на мишени вплоть до нескольких единиц на десять в тринадцатой степени частиц в секунду;
- наличие систем регистрации, обеспечивающих надежную идентификацию исследуемых нуклидов даже в случае единичных / единственных событий.

Описанию подобной системы регистрации, применяющейся на установке дубненский газонаполненный сепаратор, и посвящена эта работа.

1. Детектирующий модуль

Схема детектирующего модуля представлена на рис. 2. Модуль включает сборку позиционно - чувствительных детекторов для измерения энергии и локализации места прилета ядер отдачи, внедрившихся в детектор, а также для измерения энергии и места эмиссии α - частиц и осколков деления последующих событий распада, внедрившихся в детектор ядер, и две пропорциональные многопроволочные газовые камеры низкого давления для измерения времени пролета ядер отдачи [5].

Детектирующий модуль отделен от объема сепаратора майларовым окном толщиной 0,5 мкм. Весь объем детектирующего модуля заполняется пентаном при давлении 0,5 - 2,5 Торр. Анодные и катодные плоскости камер сделаны из золоченой вольфрамовой проволочки диаметром 20 мкм с проме-

Детекторы изготовлены по нашему заказу фирмой **CANBERRA SEMICONDUCTOR N. V.** (Бельгия).

Каждый кристалл, содержащий четыре позиционно-чувствительных детектора, имеет восемь сигнальных выводов, по два на каждую полосу (рис.2 и 4). 24 гибридных зарядочувствительных предусилителя размещены на фланце детектирующего модуля в трех коробках. Коэффициент преобразования предусилителя 14 мВ/МэВ.

2. Усиление и оцифровка

Сигналы с предусилителей поступают на три блока суммирующих усилителей (рис. 4). Каждый блок преобразует сигналы одного кристалла и состоит из девяти усилителей. Четыре из них (ус. 1, ..., ус. 4) образуют сигналы энергии диапазона α -частиц для каждой полосы суммированием позиционных сигналов каждой полосы. Пятый усилитель образует обобщенный сигнал энергии одного кристалла для дальнейшего образования логических сигналов запуска оцифраторов и других логических операций. Усилители 6 и 7 объединяют позиционные сигналы верхних выводов двух соседних полос кристалла (рис. 4), а усилители 8 и 9 объединяют позиционные сигналы нижних выводов полосок 1, 2 и 3, 4. Усилители 1÷5 выполнены на транзисторах, а усилители 6÷9 на операционных усилителях. Коэффициенты передачи усилителей приблизительно равны 1.

На выходах трех блоков суммирующих усилителей имеем:

- 12 сигналов энергии с каждого из двенадцати детекторов сборки (1E1, 1E2, 1E3, ..., 3E3, 3E4);
- 3 сигнала энергии с каждого из кристаллов сборки (1ΣE, 2ΣE, 3ΣE);
- 6 позиционных сигналов, каждый из которых соответствует верхним выводам резистивных делителей двух соседних детекторов;
- 6 позиционных сигналов, каждый из них соответствует нижним выводам резистивных делителей соседних детекторов.

Двенадцать усилителей **ORTEC 575** формируют и усиливают сигналы энергии диапазона энергий α -частиц 12 - 20 МэВ.

Восемь сигналов энергии поступают на мультиплексор 1 и далее на кодировщик амплитуд [7], а остальные четыре - на мультиплексор 2 и на второй кодировщик (рис. 5).

Восьмивходовый мультиплексор [6] подключает первый по времени прихода входной импульс на выход, оставляя такое подключение на время существования этого импульса. После окончания входного импульса мультиплексор будет заблокирован сигналом мертвого времени кодировщика (рис. 5). Кодировщик имеет десять двоичных разрядов. Когда контроллер

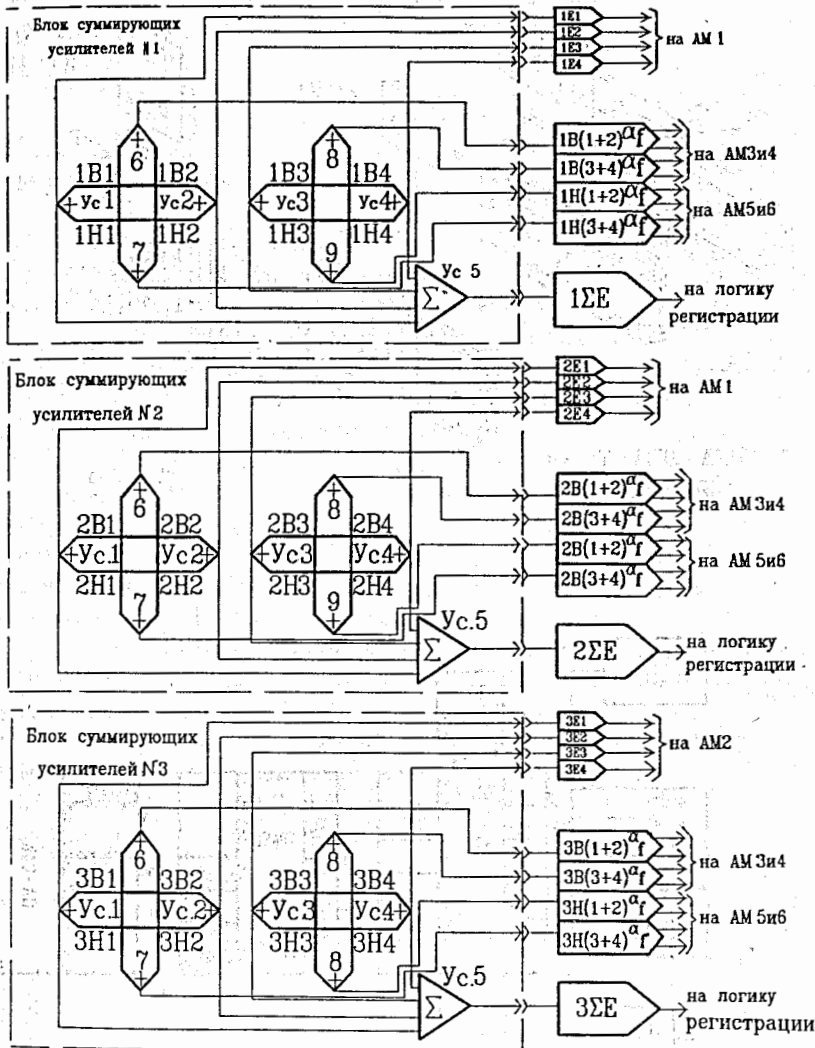


Рис.4

крейта обращается к кодировщику с командой чтения, тогда на десяти шинах чтения магистрали образуется код амплитуды, а на шины 11, 12 и 13 мультиплексором выставляется двоичный код номера детектора.

Для усиления и формирования позиционных сигналов используются усилители СУ-4К, разработанные в ЛЯР [8]. Усилитель имеет два спектрометрических выхода. Выход, соответствующий большому коэффициенту усиления, используется для сигналов диапазона энергии α -частиц. Для второго выхода усиление в 12 раз меньше. Он используется для позиционных сигналов диапазона осколков деления.

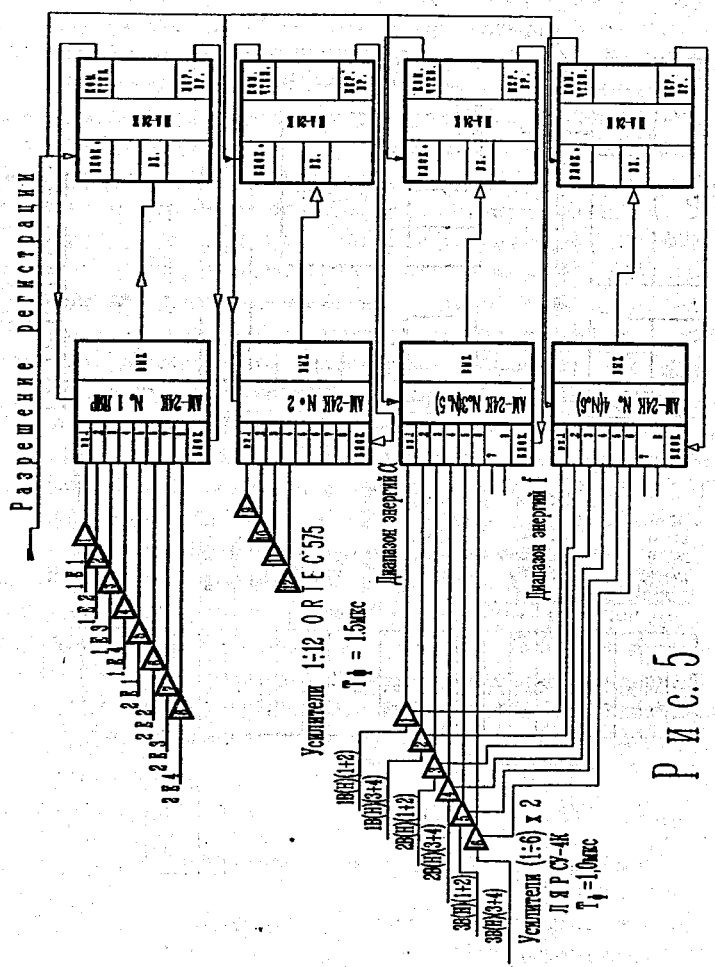
После шести усилителей верхних выводов резистивных полосок сигналы позиции подаются на мультиплексор 3, обслуживающий диапазон, соответствующий энергиям α -частиц, и на мультиплексор 4 для диапазона осколков деления. Каждый мультиплексор взаимодействует со своим кодировщиком амплитуд уже оговоренным способом. Такая же процедура измерения соответствует сигналам с нижних выводов резистивных полосок детекторов: 6 усилителей, мультиплексоры 5, 6 и соответствующие кодировщики амплитуд (рис. 5).

Вертикальная координата определяется программным способом во время обработки данных.

Энергия осколков деления определяется во время обработки данных суммированием кодов, соответствующих позиционным сигналам диапазонов энергий осколков деления от каждой резистивной полоски (суммируются коды кодировщиков, работающих с мультиплексорами 4 и 6).

Три СУ-4К усиливают сигналы обобщенной энергии с каждого из кристаллов 1 ЭЕ, 2 ЭЕ, 3 ЭЕ. СУ-4К имеет быстрый логический выход, отвечающий началу спектрометрического импульса, формируемого усилителем. Логические импульсы быстрых выходов усилителей, объединенные схемой ИЛИ (рис. 6), снимают блокировку со всех амплитудных кодировщиков на время, определяемое формирователем длительности выходного импульса. Начало этого импульса фиксирует время возникновения регистрируемого события. (рис. 6). Для определения времени возникновения событий используются счетчики измерители времени КС 011 [9]. Один из счетчиков имеет разрешающую способность 1 мкс и сбрасывается в ноль началом каждого импульса "высокой частоты" ускорителя, то есть началом цикла ускорения ионов. Два других счетчика КС 011 соединены последовательно и образуют один счетчик на 32 разряда. Разрешающая способность второго измерителя времени составляет 100 мкс. Сигнал "перенос", фиксирующий измеряемое время, поступает на счетчики со схемы КЛ-202 (рис. 6).

Биты регистра условий [10] КР 005 фиксируют дополнительные признаки регистрируемого события: произошло событие во время существования пучка ускоренных ионов или вне пучка, наличие или отсутствие мажоритарных совпадений ≥ 2 из 3 от кристаллов детектирующего модуля и т. д.



3. Считывание и накопление данных эксперимента

Размещение блоков в основном крейте оцифраторов представлено на рис. 6. Нижний ряд цифр на модулях крейта обозначает номера мультиплексоров, а сверху на модулях обозначены номера (адреса) модулей, к которым обращается контроллер с командами чтения.

Контроллер крейта КК 202 [11] имеет перепрограммируемую постоянную память с ультрафиолетовым стиранием РПЗУ УФ (EPROM). В интегральную микросхему памяти предварительно записываются адреса и субадреса станций крейта, подлежащих чтению. Контроллер генерирует только команды чтения и может работать с модулями, имеющими не более четырех субадресов. Каждое слово данных, считанное контроллером, передается им в буферную память, которая размещается в отдельном крейте. На чтение и передачу одного 16 - разрядного слова затрачивается не более 1,5 мкс.

При каждом запуске контроллера данные, считанные с запрограммированных для чтения модулей, представляют информацию об одном событии. Буферная память накапливает массив заранее определенного числа событий. После накопления этого пакета данных он передается контроллером КК 012 [12] в память РС АТ/486. В качестве буферной памяти не используется блок КЛ 033, содержащий 4К 16 - разрядных слов [13]. На запись 16 слов одного события в буферную память требуется не более 24 мкс. Это время сравнимо с временем преобразования амплитудных кодировщиков. Полное время регистрации одного события не превышало 50 мкс. Время заполнения всей буферной памяти определяется загрузкой спектретрических трактов и составляет в наших опытах в среднем несколько секунд, а время передачи пакета данных из буферной памяти в РС — около 12 мс.

Комплексе программ для сбора, оперативного анализа и предварительной обработки экспериментальных данных представлен в работе [14, 15].

4. Уменьшение времени регистрации событий

Ядра отдачи вбиваются в полупроводниковые детекторы, которыми измеряются энергия и координаты ядер отдачи. Далее регистрируются последовательные события α - распада или события спонтанного деления этих ядер. Событию распада предшествует событие, в котором регистрируется прилет исходного, исследуемого ядра. Мертвое время — время регистрации одного события определяет, прежде всего, возможность системы идентифицировать исходные, исследуемые ядра с короткими временами жизни по событиям их распада. Для уменьшения мертвого времени системы регистрации в нее был введен еще один крейт с оцифраторами и контроллером КК 202, а в крейт с контроллером КК 012 введена еще одна буферная память

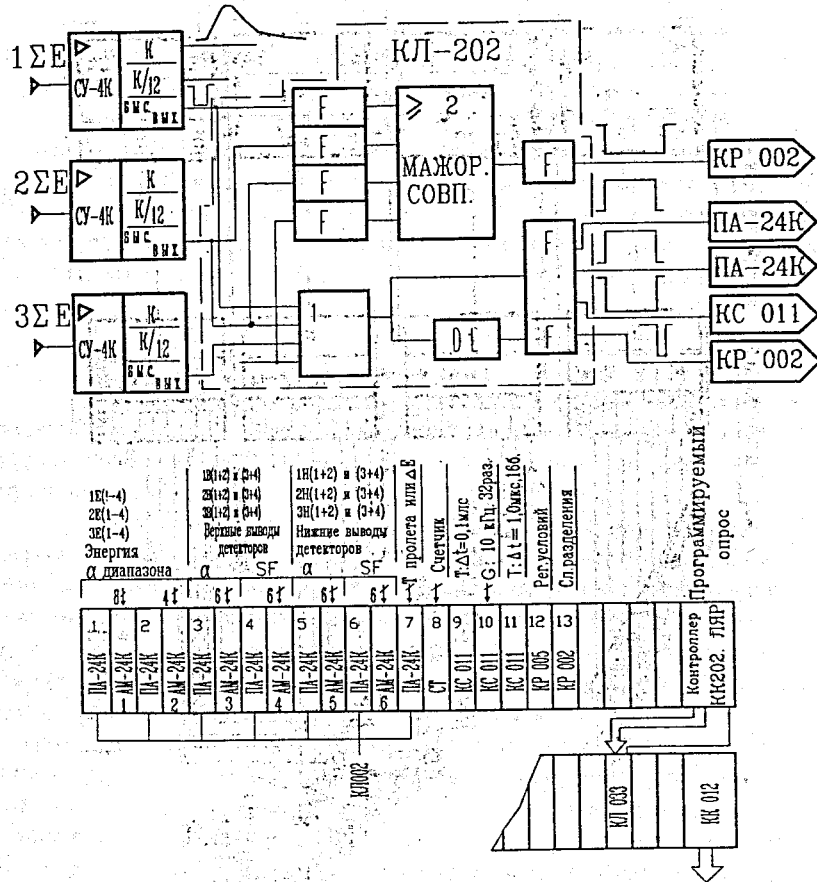


Рис.6

КЛ 033. Модулям оцифраторов дополнительного крейта разрешена работа только в течение мертвого времени основного крейта. Дополнительный крейт имеет только один счетчик - измеритель времени, который работает с разрастающимся временем в 1 мкс. Двоичный счетчик СТ в основном крейте (рис. 6) и такой же счетчик в дополнительном крейте регистрируют число срабатываний дополнительного крейта за время набора пакета данных в буферные памяти. По изменению числа в счетчике СТ основного крейта можно определить после какого именно события, зарегистрированного в основном крейте, следует событие, зафиксированное дополнительным крейтом. Буферная память дополнительного крейта переводится в режим чтения сразу после прочтения буферной памяти основного крейта. Счетчики СТ сбрасываются во время чтения буферной памяти дополнительного крейта.

В итоге первый распад исходного ядра может быть зарегистрирован уже через 7 мкс после начала измерения события прилета этого ядра. Это мертвое время определяется формой спектрометрического импульса в усилителях энергии α - диапазона.

5. Подсистема контроля основных параметров эксперимента

Измерительная система эксперимента содержит модули для автоматического, периодического тестирования основного электронного оборудования системы. Измерительная система включает также автономную контрольно-диагностическую подсистему, которая постоянно оповещает экспериментатора о состоянии основных параметров детектирующего модуля. Контролируются: давление пентана; шум сборки полупроводниковых детекторов; интенсивность срабатывания времяпролетного устройства; интенсивность регистрации событий сборкой полупроводниковых детекторов. Подсистема дает возможность экспериментатору постоянно контролировать также ток пучка ионов, интеграл тока, а также измерять периодически энергию ускоренных ионов. Эта же подсистема представляет экспериментатору спектр α - частиц с детектора, контролирующего возможное осыпание мишени во время опыта.

6. Развитие измерительно-детектирующей системы

В этой публикации приведен вариант измерительной системы, который использовался в опытах по синтезу и исследованию свойств тяжелых изотопов 108-го и 110-го элементов в 1994 - 1996 годах. К настоящему времени система существенно изменилась.

В детектирующей модуль устанавливаются детекторы, которые уве-

личивают эффективность регистрации частиц распада, измеряя энергию α - частиц, вылетающих из детекторов в фокальной плоскости сепаратора. (Дополнительные детекторы обозначены пунктиром на рис. 2). В систему введены и опробованы электронные блоки, обеспечивающие регистрацию частиц от восьми дополнительных детекторов, каждый из которых имеет площадь 40×40 мм². Изменяется также способ определения вертикальной координаты. Позиционные сигналы будут регистрироваться от каждой из 12-ти резистивных полосок, но число усилителей и оцифраторов останется прежним. Это изменение и уменьшение постоянных времени формирования в усилителях сигналов позиции улучшат разрешение по вертикали приблизительно в 2 раза. Изменение способа определения вертикальной координаты потребовало увеличить число входов каждого из амплитудных мультиплексоров до 12, вместо 8. Первый 12-ти входовой мультиплексор опробован в эксперименте. Вводимые изменения приводят к значительному повышению предельной чувствительности обнаружения событий последовательного распада исследуемых ядер. Введена также возможность спектрометрии с восьми дополнительных трактов, предназначенных для измерений редких событий α - распада после химического выделения активности [16]. Для этой цели предназначен дополнительный восьмивходовый мультиплексор в основном крейте. Последнее изменение связано с потребностью экспериментаторов проводить одновременно с сеансом на **on-line** - сепараторе измерений интересующих активностей, выделяемых химическими методами из специальных сборников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu. A. Lazarev et al., In: Heavy Ion Physics, Scientific Report 1991 - 1992, JINR E7 - 93 - 57, DUBNA, 1993, p. 203.
2. Yu. A. Lazarev et al., Phys. Rev. Lett. v 73, 1994, p. 624.
3. Yu. A. Lazarev et al., Phys. Rev. Lett. v 75, 1995, p. 1903.
4. Yu. A. Lazarev et al., Phys. Rev. Lett. C 54, 1996, p. 620.
5. A. N. Mezentsev et al., In: Heavy Ion Physics, Scientific Report 1991 - 1992, JINR, E7 - 93 - 57, DUBNA, 1993, p. 208.
6. А. Н. Кузнецов. Сообщение ОИЯИ Р 13 - 87 - 188 Дубна, 1987.
7. А. Н. Кузнецов, В. Г. Субботин. Сообщение ОИЯИ 13-83-67, Дубна, 1983.
8. А. Н. Кузнецов, В. Г. Субботин. Сообщение ОИЯИ 13 - 12953, Дубна, 1979.
9. Н. И. Журавлев и др. Сообщение ОИЯИ 10 - 8754 (Выпуск III), Дубна, 1975, с. 18.
10. Н. И. Журавлев и др. Сообщение ОИЯИ 10 - 8114 (Выпуск II), Дубна, 1974, с. 14

11. А. М. Сухов и др. Сообщение ОИЯИ Р 13 - 96 - 371, Дубна, 1996.
12. В. А. Антюхов и др. Сообщение ОИЯИ Р 10 - 90 - 589, Дубна, 1990, с. 20.
13. Н. И. Журавлев и др. Сообщение ОИЯИ Р 10 - 88 - 937, Дубна, 1988, с. 14.
14. А. Ю. Бонюшкина и др. Препринт ОИЯИ Р 10 - 95 - 284, Дубна, 1995.
15. Yu. S. Tsyganov and A. N. Polyakov, Appl. Radiat. Isot. 47, N 4, p.451 - 454, 1996.
16. А. Н. Кузнецов и др. П Т Э N 1, с. 36, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июля 1997 года.