

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3192/82

12/7-82

13-82-178

И.И.Гайсак, М.Г.Горнов, Ю.Б.Гуров, А.С.Лукин,
П.В.Морохов, К.О.Оганесян, Б.П.Осипенко,
Е.А.Пасюк, В.А.Печкуров, А.П.Пичугин,
С.Ю.Пороховой, Б.С.Розов, В.И.Савельев,
Ф.М.Сергеев, А.А.Хомутов, Р.Р.Шафигуллин

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА
МНОГОСЛОЙНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО
СПЕКТРОМЕТРА

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Одно из перспективных направлений развития экспериментальных методов в области физики промежуточных энергий связано с использованием многослойных полупроводниковых спектрометров.

Возможности получения германия и кремния высокой чистоты, а также совершенствование технологии изготовления полупроводниковых детекторов позволяют уже в настоящее время использовать многослойные наборы полупроводниковых детекторов для спектрометрии частиц с энергией до сотен МэВ и высоким энергетическим разрешением - до 200 кэВ. Хорошее временное разрешение многослойных полупроводниковых спектрометров определяется использованием относительно тонких полупроводниковых детекторов, имеющих малое время собирания носителей. Высокие временные характеристики позволяют эффективно использовать сигналы с полупроводниковых детекторов в логике отбора событий. Так, для полупроводникового спектрометра, использованного на пучке пионов с энергией 300 МэВ, было получено временное разрешение 600 пс^{1/1}.

Важную роль в достижении высоких метрологических характеристик полупроводниковых спектрометров играет электронная система, являющаяся неотъемлемой частью установки и служащая для функционального преобразования и передачи информации, а также частично для целей управления. Принципиальной особенностью такой электронной системы является ее органическая связь с ЦВМ. Спектрометр, ЦВМ, электронная система, программное обеспечение образуют единую автоматизированную систему сбора и обработки информации, ориентированную на решение определенной физической проблемы.

2. СПЕКТРОМЕТР

Известная /2/ методика измерения энергии заряженных частиц с помощью многослойных полупроводниковых кремниевых телескопов позволяет существенно продвинуться в экспериментальных исследованиях процессов поглощения пионов ядрами.

Схема установки, в которой используется двухплечевая геометрия спектрометра, показана на рис.1. Основными элементами детектирующей части являются идентифицирующие мониторные детекторы ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , мишень М, многослойные спектрометри-

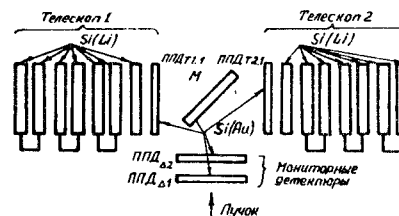


Рис.1. Устройство двухплечевого многослойного полупроводникового спектрометра.

рующие телескопы Т1, Т2. В качестве мониторных детекторов ППД Δ_1 , ППД Δ_2 и идентификаторов телескопов ППД $T_{1,1}$, ППД $T_{2,1}$ использованы полупроводниковые Si(Au) - детекторы толщиной $w_{ч.о.} = 0,4$ мм и диаметром чувствительной области $\phi_{ч.о.} = 32$ мм. Время собирания носителей заряда составляет ~120 нс. В качестве мишени в ряде экспериментов и для отработки методики используется "живая мишень", выполненная в виде полупроводникового Si(Au)-детектора. Это позволяет более надежно выделять события с поглощением пионов в мишени и выполнять нормировку на количество остановок. Основными элементами телескопов Т1, Т2 являются литий-дрейфовые полупроводниковые Si(Li) - детекторы с диаметром чувствительной области $\phi_{ч.о.} = 32$ мм и толщиной чувствительной области $w_{ч.о.} = 3,0$ мм, полная толщина стопки детекторов $w = 30$ мм. Собственное энергетическое разрешение Si(Li)-детекторов по электронам /источник ^{206}Bi / составляет ~26 кэВ.

В настоящее время используется вариант телескопов, каждый из которых состоит из восьми полупроводниковых детекторов /первый идентификатор Si(Au), остальные Si(Li) /. Это позволяет измерять энергию по полному энергосвыделению для протонов с максимальной энергией до 77 МэВ, дейтронов - до 104 МэВ, тритонов - до 125 МэВ.

3. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА СПЕКТРОМЕТРА

Основные особенности работы электронной системы многослойного полупроводникового спектрометра связаны с большим количеством каналов регистрации, высокой точностью регистрации, работой при высоких нагрузках /высокой интенсивности/.

Электронная система спектрометра должна выполнять следующие функции:

- эффективный предварительный отбор событий;
- регистрацию многоканальной спектрометрической информации;
- контроль состояния установки.

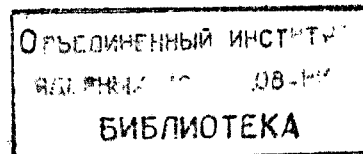
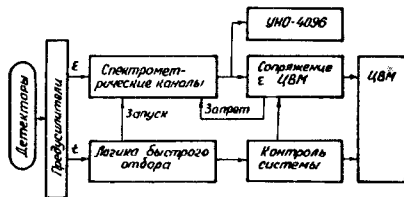


Рис. 2. Функциональная схема системы.



Эти функции определяют структуру электронной системы спектрометра /рис.2/. Основными элементами ее являются:

- линейка зарядочувствительных предусилителей, имеющих быстрый "временной" выход для организации логики предварительного отбора событий и линейный "энергетический" выход для регистрации энерговыделения в полупроводниковых детекторах;
- логическая система быстрого отбора событий, служащая для организации предварительного отбора конкретных событий, необходимых для исследования;
- линейка блоков регистрации спектрометрической информации, служащая для преобразования сигналов с полупроводниковых детекторов в цифровую форму для передачи в память ЦВМ;
- блоки связи с ЦВМ, осуществляющие передачу спектрометрической и служебной информации в память ЦВМ для накопления и предварительной обработки;
- устройство накопления и обработки информации, служащее для калибровки спектрометрических каналов и контроля состояния системы.

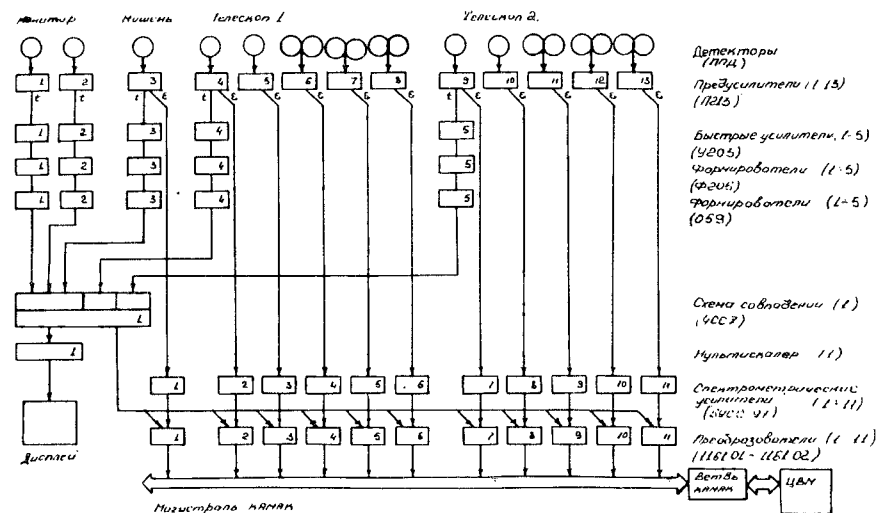


Рис. 3. Блок-схема электронной системы спектрометра.

Накопление статистической информации и подготовка экспериментальных данных для окончательной обработки результатов осуществляется на ЦВМ ЕС-1030, работающей на линии с электронной системой спектрометра.

Блок-схема электронной системы многослойного полупроводникового спектрометра приведена на рис.3. Система реализована на основе управляющей ЦВМ СМ-3 с интерфейсом "Общая шина", позволяющим осуществить сопряжение всех устройств системы, программно управляемых модулей в стандарте КАМАК и функциональных модулей быстрой логической электроники. Для осуществления связи с ЦВМ в системе использовались модули КАМАК, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ /3/.

3.1. Быстрый логический отбор событий

В установке с двухплечевой геометрией быстрый логический отбор событий осуществляется путем анализа следующих сигналов:

- от мониторинговых детекторов ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , позволяющих идентифицировать π^- -мезоны с энергией, соответствующей остановкам в мишени;
- от "живой" мишени, позволяющей более надежно проводить отбор событий, соответствующих остановкам π^- -мезонов в мишени;
- от идентификаторов телескопов ППД Т1.1, ППД Т2.1, позволяющих регистрировать вторичные частицы соответственно в каждом телескопе.

Отбор остановок π^- -мезонов в мишени производится с помощью анализа не только логических сигналов, но и амплитуд с мониторинговых детекторов ППД Δ_1 ; ППД Δ_2 . При этом ограничение на максимально возможные импульсы /энерговыделения/ в ППД Δ_2 используется для отбраковки остановок пионов во втором детекторе /установка верхнего порога/. Для отбраковки пионов, пролетающих мишень без остановки, используется ограничение на минимально возможные импульсы в ППД Δ_1 /установка нижнего порога/. При включении обоих ППД Δ_1 , ППД Δ_2 на совпадение видно, что установка двух порогов одновременно позволяет выделить пион с остаточным пробегом, соответствующим остановкам пионов в мишени.

Отбор заданных событий, соответствующих реакции поглощения π^- -мезонов в мишени, а также контроль эффективности регистрации осуществляется на основе логических совпадений:

- мониторные детекторы - ППД Δ_1 , ППД Δ_2 ;
- мониторные детекторы, мишень - ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , М;
- мониторные детекторы, мишень, телескоп 1 - ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , М, Т1;
- мониторные детекторы, мишень, телескоп 2 - ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , М, Т2;
- двойные совпадения - ППД Δ_1 , ППД Δ_2 , М, Т1, Т2.

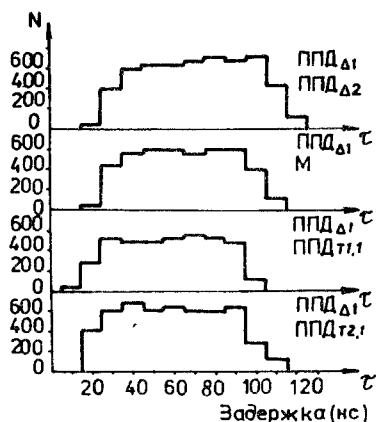


Рис.4. Кривые задержанных совпадений в логических каналах.

С целью получения лучшего временного разрешения логической системы быстрого отбора событий используются сигналы с быстрых /"временных"/ выходов предусилителей с последующим формированием логических сигналов временной привязки, которое осуществлялось идентичными каналами, реализованными на основе линейки блоков наносекундной логики /4/.

В спектрометрических каналах использовалась система блоков /см. /5/ /. Сигналы с предусилителей П213 поступают на быстрые усилители У203 для получения амплитуды, необходимой для работы формирователей точной временной привязки полупроводниковых детекторов Ф205. Эти формирователи осуществляют компенсацию временного разброса сигналов с полупроводниковых детекторов и, кроме того, для сигналов с мониторинговых детекторов и "живой" мишени осуществляют амплитудную дискриминацию для выделения остановок π^- -мезонов в мишени. Далее сигналы поступают на формирователи стандартных логических сигналов.

На рис.4 приведены кривые задержанных совпадений в логических каналах спектрометра /в качестве опорного использовался первый детектор мониторинговой системы ППД Δ_1 /, измеренные с использованием источника ^{106}Ru . Длительность сформированных сигналов временной привязки составляла величину 60 нс. Сигналы совпадений организованы на четверенной пятиходовой схеме совпадений со встроенными задержками и общим каналом запрета /рис.3/.

Сигналы временной привязки использовались также для измерения загрузок каналов спектрометра, что позволило эффективно контролировать состояние системы и установки. Измерение загрузки каналов осуществлялось с помощью счетчиков с контроллером для вывода информации на экран дисплея.

Величины загрузки каналов быстрого логического отбора составили

ППД Δ_1 ,	ППД Δ_2	4830 имп/с
ППД Δ_1 ,	ППД Δ_2 , М	1098 имп/с
ППД Δ_1 ,	ППД Δ_2 , М, ППД Т1.1	4,25 имп/с
ППД Δ_1 ,	ППД Δ_2 , М, ППД Т2.1	4,06 имп/с.

Оценка двойных совпадений телескопов составила 4 имп. за 100 с.

3.2. Регистрация спектрометрической информации

Блоки регистрации спектрометрической информации осуществляют преобразование сигналов, поступающих с детекторов, в цифровые коды. Наличие большого числа каналов, высокая точность и большие загрузки обусловили принятую структуру каналов регистрации спектрометрической информации /рис.3/.

Сигналы с линейных /"энергетических"/ выходов предусилителей поступают на спектрометрические усилители и далее - на аналого-цифровые преобразователи. В настоящее время реализованы 11 спектрометрических каналов с усилителями БУС2-97 и аналого-цифровыми преобразователями, выполненными на основе традиционного метода преобразования "амплитуда-время-код". Преобразователи реализованы в стандарте КАМАК и позволяют организовать достаточно эффективную передачу информации в ЦВМ. Основные характеристики спектрометрических каналов приведены в таблице.

Таблица

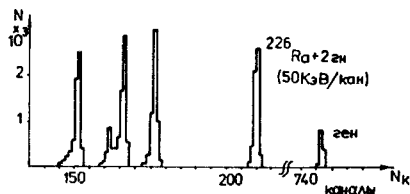
Спектрометрические каналы	
1. Нелинейность /интегр./	0,03%
2. Стабильность (t°)	0,1 кан./ $^\circ\text{C}$
3. Стабильность (t)	0,04 кан./ч
4. Разрешение /с эквивалентной емкостью ППД/	25 кэВ
5. Разрешение по α -источнику ^{226}Ra /экспериментальные условия/	70 кэВ

3.3. Калибровка спектрометрических каналов

Одним из важнейших этапов подготовки электронной системы спектрометра является калибровка спектрометрических каналов на требуемый энергетический диапазон. На данном этапе эксперимента калибровка каналов производилась на диапазон 0-50 МэВ.

Из-за отсутствия калиброванных источников излучения на требуемый диапазон каналы калибровались на энергию 10 МэВ с помощью образцовых спектрометрических альфа-источников /ОСАИ/ ^{226}Ra , имеющих четыре хорошо разрешимые линии: 4,784; 6,002; 5,489 и 7,687 МэВ, и затем осуществлялась перекалибровка на диапазон 0-50 МэВ с использованием генератора импульсов точной амплитуды NZ-635/С. Калибровка спектрометрических каналов требует тщательного учета всех факторов, влияющих на искажение аппаратного спектра, основными из которых являются нелинейность спектрометрических каналов, рассеяние в веществе калиб-

Рис. 5. Калибровочный спектр
источник ^{226}Ra , диапазон
 0 ± 50 МэВ/.



ровочного источника, рассеяние во входном окне детектора и т.д. Как показывают предварительные оценки, использование данной методики с учетом основных факторов, влияющих на аппаратный спектр, позволяет проводить калибровку спектрометрических каналов с точностью не хуже $\sim 0,2\%$. На рис. 5 приведен калибровочный спектр для одного из спектрометрических каналов.

3.4. Связь с ЦВМ

Аппаратура связи с управляющей ЦВМ СМ-3 служит для передачи экспериментальной информации в память ЦВМ для накопления, предварительной обработки и далее для передачи на ЦВМ ЕС-1030, а также для оперативного управления и контроля параметров спектрометра в ходе эксперимента.

Для сопряжения с ЦВМ используется системный крейт с контроллером типа А и линию связи со стандартным контроллером ветви фирмы ORTEC(BD011). Кроме того, имеется выносной дисплейный пульт оператора, позволяющий управлять работой ЦВМ СМ-3 и системой. Связь управляющей ЦВМ СМ-3 с ЦВМ ЕС-1030 осуществляется по стандартным каналам сопряжения системы ЛУГА ОС/6/. Аппаратура связи СМ-3 с электронными блоками спектрометра позволяет выполнять все необходимые функции КАМАК по приему и передаче информации, а также по контролю за состоянием блоков электронной системы спектрометра.

Чтение информации осуществляется в режиме последовательного опроса группы аналого-цифровых преобразователей и входного регистра^{3/}, содержащего информацию о признаке события по логике быстрого отбора. Такой режим выбран с целью сокращения времени чтения одного события, так как сигнал готовности опрашивается один раз на все событие /на 12 информационных слов/. Мертвое время спектрометра определяется временем преобразования аналого-цифровых преобразователей ~ 30 мкс/ и временем передачи информации о событии в память ЦВМ ~ 10 мс/. Снижение мертвого времени может быть достигнуто за счет использования канала прямого доступа в память ЦВМ.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ СПЕКТРОМЕТРА

Для организации связи электронной аппаратуры с управляющей ЦВМ СМ-3 и ЦВМ ЕС-1030 в настоящее время разработано программное обеспечение, включающее управление блоками КАМАК, прием, накопление и обработку экспериментальной информации, ее передачу на ЦВМ ЕС-1030.

Программное обеспечение управляющей ЦВМ СМ-3 позволяет осуществить следующие функции:

а/ управление параметрами программно-управляемых модулей КАМАК /программа INIT производит установку исходного состояния программно управляемой аппаратуры/;

б/ прием спектрометрической и служебной информации /программа КАМАК реализует проверку готовности передачи информации и последовательный опрос аналого-цифровых преобразователей и входного регистра с информацией о быстром логическом отборе с накоплением промежуточного буфера данных/;

в/ вывод на экран дисплея, печатающее устройство промежуточного буфера данных /программы TV, TT для контроля и отладки системы/;

г/ накопление основного буфера данных и передача его на ЦВМ ЕС-1030 /программы BUFF, TOES осуществляют накопление экспериментальных данных в требуемом формате и объеме передачи на ЦВМ ЕС-1030, возможен и режим записи информации буфера на диск управляющей ЦВМ СМ-3 с последующей передачей его на ЦВМ ЕС-1030/;

д/ предварительная обработка данных /программы COUN, HIST включают определение признака события по экспериментальным данным, определение счетов событий, накопление гистограмм по экспериментальной информации/. Результаты предварительной обработки необходимы для контроля хода эксперимента и оперативного вмешательства в процесс измерения. С этой целью результаты предварительного анализа информации могут быть выведены на экран дисплея или печатающее устройство в ходе эксперимента.

Кроме этих программ имеется программа калибровки спектрометрических трактов /программа CALIB, осуществляющая набор калибровочных спектров α -источников ^{226}Ra и их обработку с целью определения характеристик спектрометрических каналов/.

Все программы, входящие в математическое обеспечение управляющей ЦВМ СМ-3, написаны на языке фортран.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

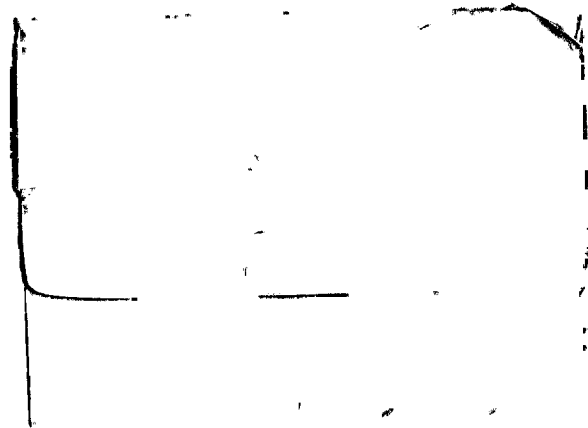
Созданная электронная система многослойного полупроводникового спектрометра с программным обеспечением использовалась в

эксперименте по исследованию коррелированных пар заряженных частиц при поглощении π^- -мезонов ядрами. Система проработала в общей сложности 250 часов. Эксплуатация системы показала, что все ее характеристики полностью отвечают требованиям, необходимым для проведения подобных экспериментов.

Принцип построения системы обеспечивает возможность дальнейшего ее расширения, а также выполнение дополнительных функций по настройке и калибровке без существенных изменений конфигурации и программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bertrand F.E. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1972, 101, p.475.
2. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, 13-12921, Дубна, 1979.
3. Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-7332, Дубна, 1973; Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-8114, Дубна, 1974; Журавлев Н.И. и др. ОИЯИ, 10-9479, Дубна, 1976.
4. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, P13-12331, Дубна, 1979.
5. Akimov Yu.K. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1972, vol.NS-19, No.3, p.404.
6. Бондарь Н.Ф., Волков С.С., Уваров Л.Н. Препринт ЛИЯФ, 389, Л., 1978.



Рукопись поступила в издательский отдел
9 марта 1982 года.

Гайсак И.И. и др. Автоматизированная электронная система многослойного полупроводникового спектрометра 13-82-178

Описывается автоматизированная электронная система многослойного полупроводникового спектрометра, предназначенного для исследования поглощения π^- -мезонов ядрами, а также структура спектрометра. Электронная система, выполненная на базе вычислительной машины СМ-3, блоков КАМАК и блоков быстрой логической электроники, позволит осуществлять значительное ее расширение без принципиальных изменений в ее структуре. Описывается созданное программное обеспечение, позволяющее эффективно проводить как настройку системы, так и непосредственно физически измерения. Приведены основные характеристики созданной системы: временное разрешение ~ 60 нс, энергетическое разрешение спектрометрических трактов ~ 70 кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Gaisak I.I. et al. On-Line Electronic System for Multidetector Semiconductor Spectrometer 13-82-178

The "on-line" electronic system for multidetector semiconductor spectrometer is described. The system consists of SM-3 minicomputer, CAMAC modules and fast logic modules. The software for system control and data collection is also described. Time resolution of the system is about 60 ns. The energy resolution of a single channel is about 70 keV. The spectrometer is used for experimental investigation of negative pion absorption.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перепод О.С.Виноградовой.