

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Г- 79

13 - 12841

ГРЕБЕНЮК  
Виктор Матвеевич

РАЗРАБОТКА  
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ  
НА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСКОРИТЕЛЯХ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ

Научный руководитель -

доктор физико-математических наук В.Г.Зинов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор А.П.Цитович

кандидат технических наук Л.П.Челноков

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерной физики СО АН СССР (Новосибирск)

Защита диссертации состоится " " 1979 года

в час. на заседании Специализированного совета Д047.01.03  
при ЛЯП ОИЯИ, Дубна, Московской области.

Автореферат разослан " " 1979 года

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

Ученый секретарь Специализированного совета

кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В физике средних энергий сцинтилляционные и черенковские детекторы используются для получения временных и энергетических характеристик исследуемых процессов, а в физике высоких энергий те же детекторы служат, как правило, для выработки "триггера" - управляющего сигнала для регистрации информации с многонитяных, либо трековых детекторов. Процесс выработки "триггера" состоит из преобразования аналоговой информации в дискретную и ее логической обработки. От точности и скорости преобразования информации в значительной (а иногда и решающей) степени зависит результат эксперимента. Поэтому разработка быстродействующей, надежно работающей аппаратуры является актуальной задачей.

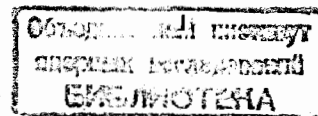
Основная цель работы заключается в разработке системы быстродействующих блоков на интегральных схемах для регистрации временной информации, способной обеспечить потребности широкого класса экспериментов в физике средних и высоких энергий.

Научная новизна и положения, защищаемые диссертантом, заключаются в том, что:

1. Разработана система быстродействующих блоков на интегральных схемах для регистрации временной информации, насчитывающая блоки 23 наименований, в которые включаются блоки предварительной обработки информации, логические, функциональные и специального назначения.

2. Предложена функциональная компоновка блоков системы, учитывающая специфику экспериментов, проводимых на ускорителях средних и высоких энергий.

3. Проведена рациональная стандартизация электронных узлов системы, таких, как входной и выходной каскады, элемент отбора, формирователь длительности, схема индикации.



4. Предложена новая схема дискриминатора длительности (получено авт. свидетельство/5/).

5. Впервые разработано устройство для регистрации задержанных каскадных гамма-переходов (авт. свидетельство/18/).

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. На разработанной аппаратуре проведен эксперимент по измерению времени жизни положительного мюона с рекордной точностью (0,004%);

2. Проведен эксперимент по изучению асимметрии вылета заряженных частиц от захвата отрицательных мюонов ядрами и получены энергетические спектры заряженных частиц от захвата мюонов - вплоть до углерода;

3. Большинство разработанных блоков выпускаются Опытным производством ОИЯИ. К маю 1979 года только по заказам Лаборатории ядерных проблем выпущено более 800 блоков;

4. Разработанные блоки используются практически во всех экспериментах, проводимых Лабораторией ядерных проблем. Кроме того, блоки применяются в других подразделениях ОИЯИ, а также институтах ГДР и ЧССР.

Объем работы: Диссертация состоит из 4 глав, введения и заключения и содержит 91 страницу печатного текста, 41 иллюстрацию и 4 таблицы. Список литературы насчитывает 129 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проделан анализ быстродействия черенковских и сцинтилляционных детекторов. Сделаны оценки длительности сигналов черенковского излучения, возникающего в газовом счетчике, без учета и с учетом дисперсии среды.

С учетом временных характеристик черенковских, сцинтилляционных счетчиков и фотоумножителей проведен анализ быстродействия детекторов в условиях импульсных статистических загрузок. Сделан вывод, что при снижении коэффициента усиления ФЭУ или применении специальных делителей напряжения детекторы могут регистрировать до  $10^7$  частиц в секунду.

Во второй главе, исходя из характеристик детекторов сделаны оценки требуемых значений параметров электронных схем, таких,

как минимальное разрешающее время схем совпадений, чувствительность формирователя и его быстродействие. Отметим, что при блочном принципе построения электронной аппаратуры минимальное разрешающее время схемы совпадений определяет и минимальную длительность выходного сигнала формирователя. Необходимые значения этих параметров: быстродействие  $\sim 100$  МГц, чувствительность -  $5 \times 20$  мВ, минимальная длительность сигнала 5 нс.

С учетом полученных величин указанных параметров разработаны унифицированные узлы электронных блоков системы, такие, как: входной каскад, выходной каскад, пороговый элемент, элемент формирования длительности, узел индикации.

При разработке унифицированных узлов учитывалось, что они должны включать недефицитные отечественные компоненты, что обеспечивает возможность широкого внедрения в практику эксперимента; входные и выходные каскады должны адаптироваться к требованиям различных электрических стандартов, что позволяет применять разработанные блоки в различных системах электронной аппаратуры; в унифицированных узлах должны отсутствовать элементы подстройки режимов, что существенно повышает надежность работы и уменьшает затраты времени на настройку и ремонт аппаратуры; схемные решения должны обеспечивать рост показателей блоков с улучшением параметров компонентов без изменения электронной конфигурации отдельных устройств. Использование унифицированных узлов позволяет существенно сократить сроки разработки новых блоков.

В третьем параграфе второй главы дано подробное описание принципов работы унифицированных узлов и приведены их характеристики. Здесь коротко остановимся на схемных решениях порогового элемента и элемента формирования длительности.

Принципиальная схема порогового элемента /1/ (ПЭ) приведена на рис. 1а. Так как его пороговые свойства тем лучше, чем больше широкополосность элемента, на котором он реализован, то ПЭ выполнен на комбинации туннельного диода (полоса  $\sim 1$  ГГц) (ТД) и инвертора на интегральной схеме (полоса  $\sim 100$  МГц). Соотношение между резисторами запуска и обратной связи ( $R_1$  и  $R_2$ ) выбрано таким образом, что ПЭ работает в режиме триггера Шмитта, когда длительность входного сигнала превышает время задержки инвертора, и формирует импульс, равный задержке инвертора, если входной сигнал меньше последней. Это весьма существенно при дальнейшем каскадировании схем. Кроме того, в ряде случаев для достижения мак-

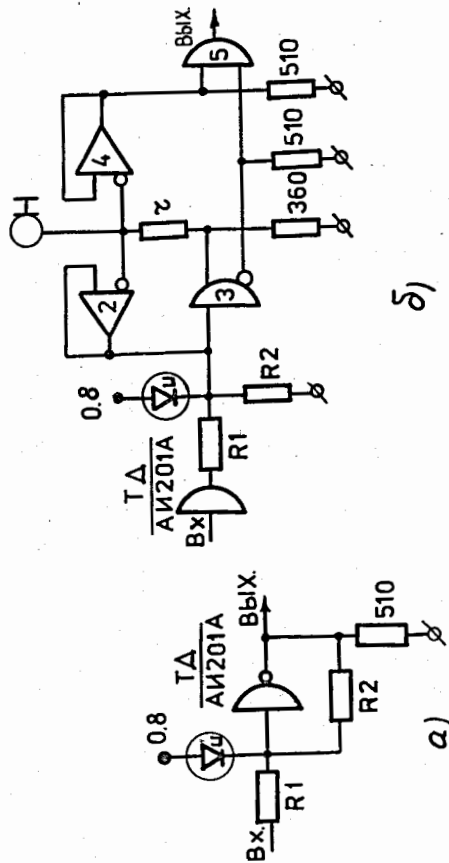


Рис.1 Принципиальные схемы  
 а) порогового элемента  
 б) формирователя длительности

симальной частоты работы блоков можно отказаться от элемента формирования длительности. Характеристики ПЭ при использовании туннельного диода АИ 201А и микросхемы К1ЛБ383 следующие: при 10% превышении порога и длительности запускающего сигнала на уровне порога  $I+1,5$  нс, длительность выходного –  $3+5$  нс (цифры даны с учетом разброса значений параметров элементов). Типичное быстроедействие – 100 МГц.

Схема формирователя длительности /1/ (ФД) представлена на рис.1б. Поскольку окончание формируемого сигнала и поступление следующего входного не имеют временной связи между собой, то на входе элемента 3 возможно возникновение "резаных" сигналов. Поэтому элемент формирования длительности должен обладать хорошими пороговыми свойствами, для чего в схему ФД введен ТД, работающий в триггерном режиме. Этот режим задается соотношением резисторов  $R1$  и  $R2$ .

Запуск ФД осуществляется коротким сигналом. Сброс ТД происходит при срабатывании триггера Шмитта 2, который срабатывает с приходом на его вход волны, отраженной от разомкнутого конца время-задающего кабеля. Триггер Шмитта 4 работает параллельно со 2-м. Сигналы с инверсного выхода 3 и выхода 4 суммируются на элементе 5. Таким образом, с выхода 5 снимается сигнал, равный учетверенной длине время-задающего кабеля. Время восстановления ФД в этом случае практически нулевое.

Особенностью данного ФД является то, что в качестве время-задающего элемента может быть использован конденсатор. При этом, если величина времени восстановления незначительна, то конденсатор может быть включен вместо кабеля. В противном случае прямой выход элемента 3 подключается непосредственно к входам элементов 2 и 4, соединенных с конденсатором.

Третья глава посвящена описанию работы блоков системы, разработка которой началась в 1972 году /2/.

Все блоки системы можно разделить на следующие 4 группы:

1. Блоки для предварительной обработки информации;
2. Логические блоки;
3. Функциональные блоки;
4. Блоки специального назначения.

Блоки первой группы осуществляют отбор информации, поступающей на их вход, по амплитудным и временным критериям и предназ-

Таблица 1

Параметр Наименование	Чувствительн. МВ нестаб. %/Со	Быстродействие МГц		Длительность вых. сигнала нс		Примечание
		Форм.	Триггер Шmitta	Форм.	Триггер Шmitta	
Формирователь 057 /3,4/	25/0,1	100	100	5+4	5	Задержка вход-выход 20 нс в I блоке 4 фор- мирователя
Формирователь 059 /3,4/	2 + 50/0,1	50	100	15+4	5	Задержка вход-выход 20 нс в I блоке 2 фор- мирователя
Дискриминатор длительности /5,6/	20 + 100/0,1	50	-	15+4	-	Диапазон измене- ния эталонной длительности 20 нс - 1 мкс. Постоянная време- ни дифференциро- вания 20 нс - 2,5 мкс

6

Характеристики блоков предварительной обработки информации

Таблица 2

Параметр Наименование	Логическая функция	Быстродей- ствие МГц	Разрешаю- щее время	Длитель- ность вы- ходного сигнала	Задержка вход-вы- ход нс	Примечание
Стробуемые совпадения 050 /1,4/	$Y_i = \bigcap_{i=1}^4 X_i$	90	определя- ется дли- тельностью входного сигнала	5	15	
Совпадения 052 /1,4/	$Y_1 = \bar{X}_1 \cdot \bigcap_{i=1}^3 X_i$ $Y_2 = \bar{X}_2 \cdot \bigcap_{i=1}^3 X_i$ $Y_3 = \bar{X}_3 \cdot \bigcap_{i=1}^2 X_i$	50 с формиро- вкой	"-	16 нс+4т <sub>3</sub>	25	
Мажоритарные /7/ совпадения 060	$Y = \bigcap_{i=1}^5 X_i$	90 без формир- ровки	"-	5		имеется диф- ференциаль- ный режим работы
Совпадения 074 /8/	$Y = \bar{X}_1 \cdot \bigcap_{i=1}^5 X_i$	50	100 пс	16 нс+4т <sub>3</sub>	25	выстроена главно изме- няемая за- держка 2 нс в каждый ка- нал совпадае- ний

Характеристики блоков совпадений

7

начены для выработки стандартных по амплитуде и длительности сигналов. В эту группу входят формирователи 057, 059 (цифры после наименования блоков означают номер разработки, под которым блок фигурирует в информационных сообщениях и документации в Опытном производстве) и дискриминатор длительности 063. Характеристики этих блоков сведены в таблицу I.

Группа логических блоков включает блоки 7 наименований. Среди них 4 типа схем совпадений, разветвитель и смесители логических сигналов. Эти блоки позволяют собрать практически любую логическую схему эксперимента и, в зависимости от конкретных условий, оперативно изменять ее. Параметры блоков совпадений представлены в таблице 2. В таблице 3 содержатся характеристики разветвителя и смесителей.

Таблица 3

Наименование	Данные	Быстродействие МГц	Количество схем в блоке	Количество входов	Количество выходов	Задержка вход-выход нс	Примечание
Смеситель /9/ 053		90	4	2	2	10	Обеспечена возможность отключения любого входа
Смеситель /9/ 056		90	2	4	2	18	Наличие режима совпадений, антисовпадений, суммирования.
Разветвитель /9/ 055		90	2	2	4	18	Обеспечена возможность объединения схем

К третьей группе отнесены блоки, осуществляющие отбор событий по различным критериям. Причем их функциональная компоновка обеспечивает решение задач, возникающих во многих физических экспериментах. К таким задачам относятся: выделение актов остановки или рассеяния частиц, выделение событий, единственных в заданном временном интервале, выделение событий в заданной временной окрестности, до и после которых другие события отсутствовали.

### Остановки 073 /9,10/

Этот блок предназначен для выделения актов остановок или рассеяния частиц в мишени. Он имеет 10 входов и 6 групп выходов, что соответствует шести логическим комбинациям, заложенным в блоке, каждая из этих комбинаций соответствует определенному этапу отбора событий, например, частицам, падающим на мишень, пролетным частицам, остановившимся или рассеянными частицам и др. Быстродействие по всем выходам не менее 50 МГц.

### Кратные события 054 /II/

Блок предназначен для селекции сигналов с заданным временным распределением. Он вырабатывает сигналы при наличии единственного сигнала в течение заданного временного интервала (ворот). Сигнал ворот может быть сформирован как самим блоком, так и внешними устройствами. Минимальное расстояние между входными сигналами 8 нс. Как правило, блок используется для выработки логических меток событий и работает совместно с измерителем временных интервалов, имеющим логический регистр.

### Схема отбора пар 154 /9/

Блок предназначен для выделения единственной пары сигналов в заданном временном интервале (воротах) и используется при работе с время-амплитудным конвертером. Блок может работать в режимах внешних и внутренних ворот. Диапазон изменения внутренних ворот 100 нс - 10 мкс. Минимальная длительность входных сигналов - 5 нс. Минимальное расстояние между входными сигналами - 8 нс.

### Одиночные события 058 /II/

Блок предназначен для выделения событий, до и после которых в заданных временных интервалах другие события отсутствовали. Блок используется в экспериментах с трековыми детекторами и во временной "охранной" системе в экспериментах с мюонами. Для этого он снабжен логикой отбора совпадений, в том числе отбора случаев остановок частицы в мишени.

Диапазон охранного времени "До" - 50 нс + 5 мкс.  
 Диапазон охранного времени "После" - 30 нс + 3 мкс.

### Одновибратор 064 /12/

Он предназначен для расширения диапазона длительностей выходных сигналов блоков системы. Блок снабжен логикой отбора совпадений на входе и имеет 2 основных канала с независимой регулировкой длительности выходных сигналов. В одном из них длительность выходного сигнала изменяется плавно (в 10 раз) внутри каждого из 8 диапазонов, в другом — задается разомкнутым кабелем. В блоке имеются три дополнительных выхода, сигналы с которых соответствуют по времени задним фронтам основных сигналов и их сумме. Это позволяет использовать блок в качестве источника сдвинутых или парных сигналов.

Диапазон изменения длительности 50 нс + 5 с.

Длительность выходного сигнала с кабельной формировкой —  
— 15 нс +  $4\tau_{\text{каб.}}$

Температурная нестабильность длительности для сигналов

500 мкс — 0,1%/C°

500 мкс — 0,3%/C°

### Одновибратор I64 /12/

Блок функционально идентичен одновибратору 064. Он разработан для уменьшения температурной нестабильности при больших длительностях выходного сигнала, которая является следствием повышенного ТКЕ конденсаторов большой емкости. На первых двух диапазонах одновибратор работает так же, как и 064. На последующих диапазонах узел, формирующий длительность /12/, переводится в режим ждущего генератора, и длительность выходного сигнала формируется с помощью счетного регистра. Это позволило получить температурный коэффициент изменения длительности выходного сигнала  $< 0,1\%/C^\circ$  для всех диапазонов. Кроме того, диапазон длительности выходных сигналов 100 нс — 10 с легко может быть изменен увеличением емкости счетного регистра.

В четвертом параграфе третьей главы содержится описание группы блоков специального назначения. В нее входят блоки задержки логических сигналов /9,10,13,14/, преобразователь время-код /15/, специальные генераторы /9,16/, коммутатор гамма-квантов и блок синхронизации с ВЧ /9/.

Далее приводится краткое описание ряда блоков.

### Задержка 068 /14/

Блок предназначен для задержки логических сигналов. В качестве элементов задержки используются отрезки микрокабеля, коммутируемые электронными ключами на микросхемах, которые одновременно служат для восстановления сигналов, затухающих в линии задержки. Это позволяет пропускать через блок сигналы длительностью 7 нс.

Диапазон изменения задержки 0 + 990 нс с шагом 10 нс.

Начальная задержка — 30 нс.

Минимальное расстояние между сигналами на выходе — 15 нс.

Температурная зависимость задержки

при 0 нс — 10 пс/C°

при 990 нс — 50 пс/C°

### Задержка КЛ 301 /9,10/

Блок предназначен для задержки логических сигналов. Он выполнен в стандарте КАМАК. В одном блоке единичной ширины содержится 2 линии задержки.

Диапазон изменения задержки 0 + 63,5 нс с шагом 0,5 нс.

Начальная задержка — 20 нс.

Частота входных сигналов 90 МГц.

Функции КАМАК —  $F(I)$  и  $F(I7)$ .

Изменение задержки осуществляется записью "1" по шинам  $W1 - W7$  ( $W9 - W15$ ) в соответствующий разряд. По шинам  $W8$  ( $W16$ ) осуществляется блокировка выходного сигнала.

### Преобразователь время-код 062 /15/

Блок предназначен для измерения временных интервалов микросекундного диапазона. Он разработан на основе двоичного пересчетного устройства /16/. Преобразователь работает по старт-стопному принципу. Интервал между "Стартом" и "Стопом" заполняется сигналами генератора стабильной частоты.

На выход "Ворота" выводится длительность максимального измеряемого временного интервала, которая задается переключателем "Каналы". С выхода "Блокировка" снимается сигнал мертвого времени преобразователя, равный сумме максимального времени преобразования + время переписи в память накопителя + длительность импульса сброса от накопителя.

Наличие входов "Признаки" позволяет осуществить разбивку памяти накопителя на 4 группы по 1024 канала при работе с числом каналов  $> 512$  и на 8 групп по 512 каналов при работе с числом каналов  $\leq 512$ . Запись признаков осуществляется при подаче сигналов на эти входы в течение длительности ворот.

Длительности входных сигналов  $\geq 5$  нс.

Частоты задающих генераторов  
внутреннего 50 или 75 МГц  
внешнего - до 150 МГц.

Максимальное число каналов 1020.

Дифференциальная нелинейность  $\leq 0,5\%$

Максимальный измеряемый интервал =  $T \times (2^N - 1)$ , где

$T$  - период колебаний задающего генератора,  $N$  - число каналов преобразователя.

#### Генератор 066 /17/

Блок предназначен для работы в качестве генератора серии в преобразователях времени и амплитуды в цифровой код.

Принцип работы генератора основан на стабилизации кварцевой частотой нестабильного генератора путем сравнения фазы и выработки управляющего сигнала рассогласования.

Значения генерируемых частот 50, 75, 100 и 150 МГц.

Нестабильность частоты при изменении питания меньше  $10^{-4}/В$ .

#### Коммутатор гамма-квантов /18/

Блок разработан для эксперимента по регистрации каскадных гамма-переходов. Его применение позволяет в 2 раза увеличить скорость набора статистики. Идея его работы состоит в том, что первый по времени гамма-квант, попавший в любой из детекторов, подается на вход "Старт" измерителя времени, а второй - на вход "Стоп".

Длительность входных сигналов  $\geq 5$  нс.

Длительность сигнала ворот 50 нс - 500 мкс.

Задержка вход-выход для сигнала "Старт" - 8 нс.

для сигнала "Стоп" - 20 нс.

Разница задержек 1 и 2 каналов не более 50 пс.

#### Генератор КД 305 /9/

Блок предназначен для питания светодиодов, установленных в сцинтилляционных счетчиках, и может работать в режиме автогенерации и с внешней синхронизацией. Генератор выполнен в стандарте КАМАК в блоке ширины 1М.

Количество выходов - 15.

Амплитуда - 70 мА.

Частота в режиме генерации - 10 кГц  
в ждущем режиме - 10 кГц.

Длительность - 15 нс.

Функции КАМАК -  $F(I)$ ,  $F(I7)$ .

Включение каналов осуществляется по шинам  $W1 - W15$  записью "1" в соответствующий разряд. Запись "1" по шине  $W16$  переводит генератор из непрерывного режима в ждущий.

Четвертая глава диссертации включает 3 параграфа.

В первом параграфе описана методика выделения событий (выработки быстрого триггера) в физических экспериментах. Рассмотрены общие случаи выработки триггера в экспериментах по физике высоких и средних энергий. Приведены примеры конкретных установок.

Во втором параграфе содержится описание эксперимента по измерению времени жизни положительного мюона /19/. Дано описание экспериментальной установки, состоящей из двух сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих влетающие мюоны, и порогового водяного черенковского счетчика полного поглощения, размеры которого выбраны из условий регистрации только позитрона от распада мюона. Весь объем черенковского счетчика просматривался двумя фотоумножителями. Такая постановка эксперимента обеспечила возможность регистрации позитронов в условиях 4П-геометрии. Это позволило повысить скорость набора статистики, уменьшить фон и подавить влияющие асимметрии вылета позитронов.

Блок-схема электроники этого эксперимента приведена на рис.2. Детекторы 1 и 2, включенные на совпадения, выделяли влетающие мюоны. Счетчики 3, 4 выделяли позитрон распада. Усиление по каналам счетчиков 3 и 4 подбиралось так, чтобы амплитуды сигналов от одинаковой световой вспышки были равны. При этом одинаковой была и скорость счета по этим каналам в рабочих условиях. Для лучшей изотропии эффективности регистрации позитронов отби-



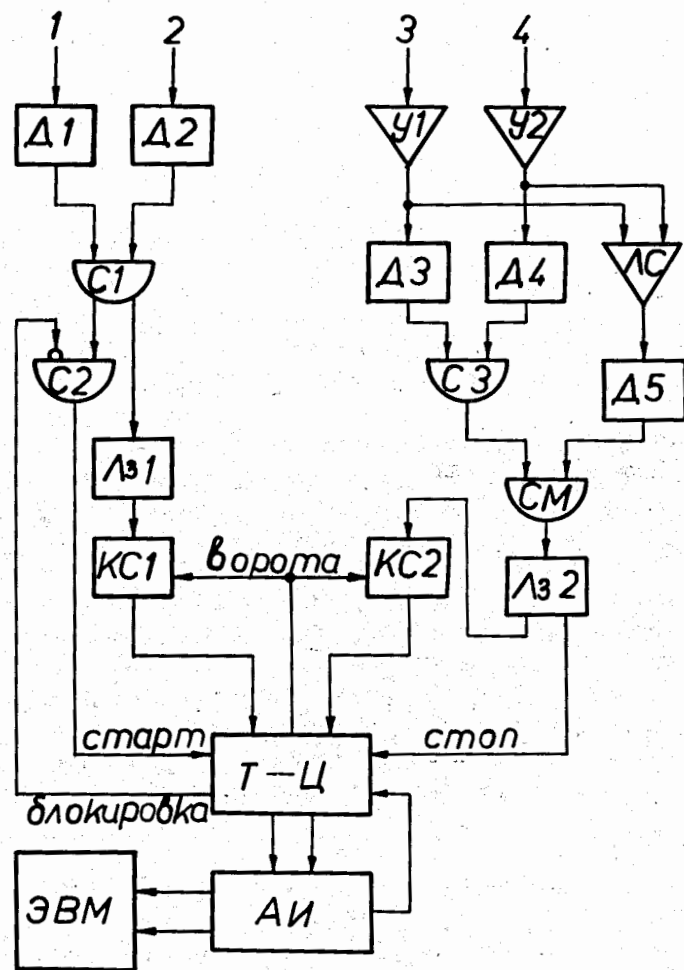


Рис.2 Блок-схема электроники эксперимента по измерению времени жизни положительного мюона

рались совпадения 3, 4 (схема C3), что позволило снизить энергетический порог регистрации позитронов без помех от шумов ФЭУ, кроме того, дискриминатором Δ5, включенным после линейного сумматора ЛС, отбирались те события, в которых был большим хотя бы один из импульсов ФЭУ 3 и 4. Подобная ситуация возможна тогда, когда позитрон вылетает в направлении одного из ФЭУ и большая часть светового конуса попадает на его фотокатод.

Схемы кратных событий (КС1 и КС2) позволяли отбирать те события, когда в течение длительности ворот не было второго мюона или позитрона. Для этого сигналы с выходов  $\geq 2$  блоков КС1 и КС2 подавались на вход регистра признаков преобразователя Т-Ц. Линия задержки ЛЗ-2 сдвигала сигнал появления позитрона ("Стоп") относительно остановки мюона ("Старт") на 5 мкс, т.е. сдвигала начало экспоненты. Линия задержки ЛЗ-1 (5 мкс) создавала одинаковые с каналом позитронов условия отбора случаев с появлением второго мюона в течение импульса ворот.

В качестве схем совпадений С1-С3, кратных событий КС1, КС2, смесителя, преобразователя время-код использовались электронные блоки разработанной системы 052, 054, 056 и 062, соответственно.

Временная информация через буферный накопитель АИ-4096 измерительного центра ЛЯИ передавалась в ЭВМ ИР 2116С.

Логическим регистром преобразователя время-код память накопителя разбивалась на 4 группы по 1000 каналов. В первую тысячу записывались события, соответствующие наличию одного мюона и позитрона распада за время ворот, во вторую - одного мюона и двух и более позитронов, в третью - 2 мезонов и одного позитрона, в четвертую тысячу - двух и более мюонов и двух и более позитронов. Каждые 2 часа спектры из АИ-4096 передавались по каналам прямой связи в ЭВМ, после чего велась экспресс-обработка по упрощенным программам. Результаты обработки представлялись как в цифровой, так и графической форме.

Суммарная статистика, набранная за 100 часов работы ускорителя, составляет  $10^9$  полезных событий. Значение времени жизни положительного мюона, полученное из обработки данных всех 4 сеансов, составляет  $2,19711 \pm 0,00008$  мкс. Суммарные временные спектры позитронов, соответствующие разным критериям отбора, представлены на рис.3.

В третьем параграфе приводится описание эксперимента по измерению энергетических спектров и асимметрии вылета заряженных частиц при захвате отрицательных мюонов ядрами /20/.

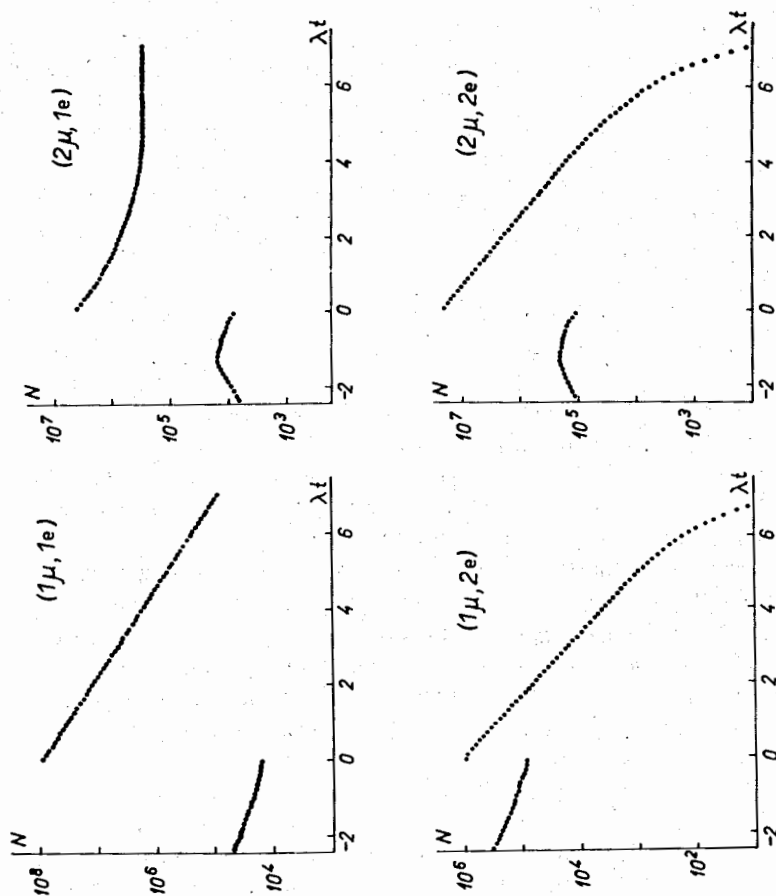


Рис.3 Временные спектры позитронов распада положительного мюона

Дано описание экспериментальной установки /21/. Энергия вылетающих частиц измерялась с помощью спектрометра на основе  $\text{CJ}(Te)$ . Одновременно с энергией измерялись ионизационные потери частиц с помощью блока пропорциональных камер. Это позволило разделить частицы по массам.

Измерение асимметрии вылета велось методом прецессии спина мюона в магнитном поле. При величине поля в установке ИБ Э период прецессии равен 640 нс.

Блок-схема электроники представлена на рис.4. Ее основой является разработанная система быстродействующих блоков на интегральных схемах с расширенными функциональными возможностями. Электроника установки включает следующие основные узлы. Блок выделения остановок /10/ (остановки 073). Особенность данного блока заключается в том, что на выходе совпадений I·2 встроен одновибратор с продлением, аналогичный /11/. Это позволило считать остановкой такое событие, когда мюон остановился в мишени (I·2·3·4), а в течение заданного промежутка времени (3 мкс) до этого не влетал другой мюон (нет совпадений I·2 до остановки).

Число каналов преобразователя время-код /15/ (Т-К 062) выбрано равным 256 для удобства сопряжения со стойкой многомерного анализа. Цена канала преобразователя 20 нс задается кварцевым генератором /17/. С помощью преобразователя измеряется время вылета как заряженных частиц от захвата мюонов ядрами мишени, так и электронов от распада мюонов. Преобразователь же вырабатывает импульс ворот длительностью 5 мкс, в течение которого ведется регистрация полезных событий. Устройство многомерного анализа позволяло измерять для каждого события 5 параметров. Блок кратных событий /11/ (КС) предотвращал их запись в промежуточную память в тех случаях, когда в течение полной длительности импульса ворот появлялся второй мюон.

Чувствительные формирователи /3/ Ф1-Ф4 и совпадения /1/ С1, С2 осуществляли быстрый логический отбор событий.

Запуск многомерного анализатора осуществлялся совпадениями счетчиков 4 и 8 в воротах после остановки мюона в мишени. Кабельные линии задержки логических сигналов /14/ 3-8, 3-9 обеспечивали сдвиг положения физического нуля временной шкалы преобразователя Т-К на 1 мкс. На такое же время сдвигались сигналы в каналах амплитудного анализа ионизационных потерь частиц 3-10, 3-11,

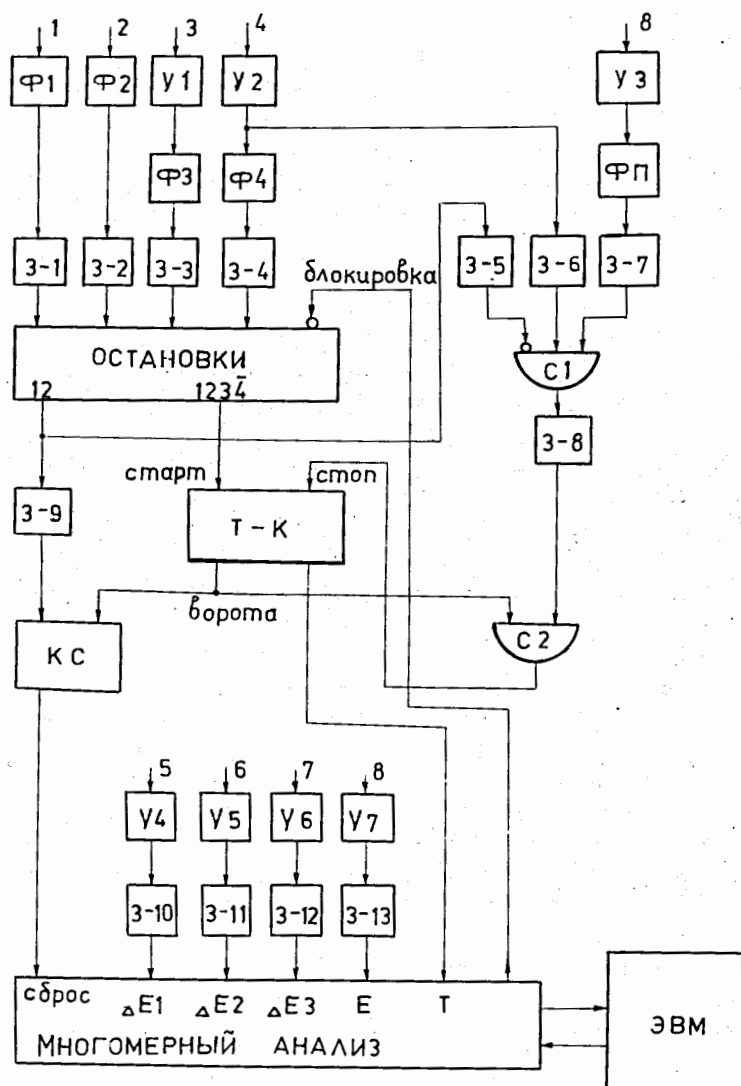


Рис.4 Блок-схема электроники эксперимента по изучению вылета заряженных частиц при  $\mu$ -захвате

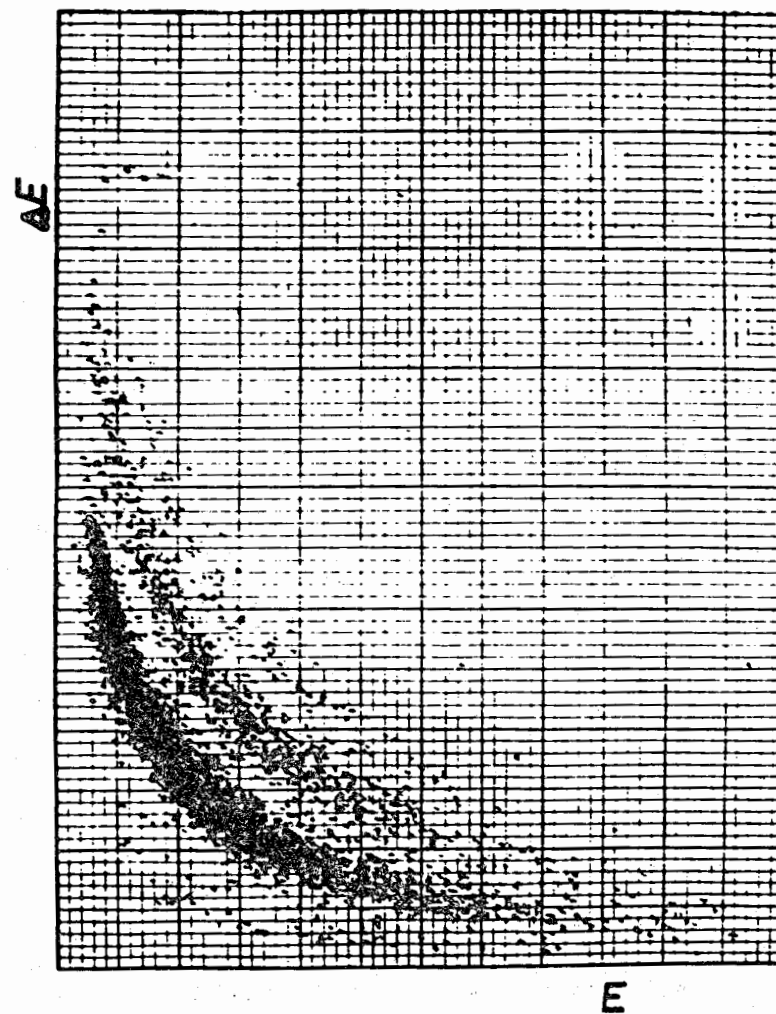


Рис.5 Распределение событий по  $\Delta E$ -E, полученное от захвата отрицательных мюонов ядрами серы. Густая полоса - протоны.

3-12 и энергии 3-13. Ложный запуск системы анализа от сквозного пролета мюона через установку исключался антисовпадениями 1-2 в блоке С1. Информация из многомерного анализатора передавалась в ЭВМ ИР 2116С через буферный накопитель в автоматическом режиме после набора 1024 событий. В ЭВМ проводилось накопление событий и их окончательная обработка.

В измерениях по захвату отрицательных мюонов ядрами получено полное разделение протонов, дейтронов и тритонов. Для примера на рис.5 приведено распределение  $\Delta E - E$  для серы, построенное по минимальной (из трех) величине  $\Delta E$ .

В эксперименте по изучению энергетических спектров и асимметрии вылета заряженных частиц при захвате отрицательных мюонов ядрами <sup>20</sup> были измерены энергетические спектры трития на легких ядрах вплоть до углерода.

#### Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа быстродействия черенковских и сцинтилляционных детекторов получены оценки требуемых значений основных параметров формирователей и совпадений, таких, как быстродействие (100 МГц), чувствительность (от 5 до 20 мВ), разрешающее время (5 нс).

2. С учетом полученных оценок автором разработана система быстродействующих блоков на интегральных схемах для регистрации временной информации, насчитывающая блоки 23 наименований. Она включает блоки предварительной обработки информации, логические, функциональные и специального назначения.

3. Предложена функциональная компоновка блоков, учитывающая специфику экспериментов, проводимых на ускорителях средних и высоких энергий.

4. Проведена рациональная стандартизация общих узлов системы, таких, как: входной и выходной каскады, элемент отбора, формирователь длительности, схема индикации. Это позволило получить хорошую стандартизацию параметров блоков, существенно повысить их надежность, сократить сроки разработки, уменьшить затраты времени на настройку и ремонт.

5. Предложена новая схема дискриминатора длительности, защищенная авторским свидетельством, одновременно отбирающая сигналы, длительность которых как больше, так и меньше эталонной. Эталонная длительность задается уровнем срабатывания триггера Шмитта,

вход которого подключен к конденсатору, заряжающемуся постоянным током в течение длительности входного сигнала.

6. Предложено защищенное авторским свидетельством устройство для регистрации задержанных каскадных гамма-переходов, позволившее вдвое сократить время набора статистики.

7. С участием автора были проведены эксперименты по измерению времени жизни положительного мюона и измерению энергетических спектров заряженных частиц от захвата отрицательных мюонов ядрами. Качественная работа электроники и ее функциональные возможности позволили измерить время жизни мюона с рекордной точностью 0,004%, а энергетические спектры заряженных частиц от захвата мюонов - вплоть до углерода.

8. Большинство разработанных блоков выпускается Опытным производством ОИЯИ. К маю 1979 года только по заказам ЛЯП выпущено более 800 блоков, которые применяются практически во всех экспериментах, проводимых Лабораторией. Кроме того, блоки используются в других лабораториях ОИЯИ, а также в институтах ГДР и ЧССР.

Материалы, изложенные в диссертации, содержатся в работах /I-2I/, основные результаты которых докладывались автором на 8-ом Международном симпозиуме по ядерной электронике, 1-ом и 2-ом Всесоюзных совещаниях по автоматизации научных исследований в ядерной физике, опубликованы в ведущих научных журналах и защищены авторскими свидетельствами /5,18/.

#### Литература

1. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенкк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, Р13-8603, Дубна, 1975; ПТЭ, 1976, № I, с.84.
2. В.М.Гребенкк и др. ОИЯИ, 13-6510, Дубна, 1972.
3. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенкк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, Р13-8705, Дубна, 1975; ПТЭ, 1976, № I, с.97.
4. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенкк и др. В кн.: Труды УШ Международного симпозиума по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-9287, Дубна, 1975.
5. Ю.Г.Будяшов, В.М.Гребенкк, В.Г.Зинов. Авт. свид. СССР № 584432, ОИПОТЭ, 1977, № 46, с.146.

6. Ю.Г.Будяшов, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, I3-I0864, Дубна, 1977.
7. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, I3-I0639, Дубна, 1977.
8. Е.Винклер, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, P13-I0899, Дубна, 1977; ПТЭ, 1979, № 2, с.109.
9. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, P13-I2334, Дубна, 1979.
10. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк и др. В кн.: Труды I Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Киев, 1976, с.188.
11. В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, I3-8828, Дубна, 1975.
12. Ю.Г.Будяшов, Е.Винклер, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, P13-I0900, Дубна, 1977; ПТЭ, 1979, № 2, с.146.
13. В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, IO-9085, Дубна, 1975.
14. Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, I3-8824, Дубна, 1975; ПТЭ, 1976, № 1, с.94.
15. Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, I3-8890, Дубна, 1975; ПТЭ, 1976, № 2, с.57.
16. В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, I3-7898, Дубна, 1974; ПТЭ, 1975, № 2, с.101.
17. Е.Винклер, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов. ОИЯИ, P13-9871, Дубна, 1976; ПТЭ, 1977, № 3, с.113.
18. Ц.Д.Вылов, В.М.Гребенюк, С.И.Орманджиев. Авт. свид. СССР № 656005, ОИПОТЗ, 1979, № 13. с. 162.
19. М.П.Баландин, В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, P1-7892, Дубна, 1974; ЖЭТФ, 1974, т.67, вып.5, с.1631.
20. М.П.Баландин, В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, P15-II215, Дубна, 1978; ЯФ, т.28, вып.3(9), 1978, с.582.
21. М.П.Баландин, В.М.Гребенюк и др. ОИЯИ, P13-I0784, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 октября 1979 года.