

С 344.3
0-572

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 4381

М.Н.Омельяненко

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ МЮОНАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СТАБИЛИЗАЦИИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ТРАКТОВ**

**Специальность 300 - применение электроники
в научных исследованиях**

**Автореферат диссертации, представленной на соискание учёной
степени кандидата технических наук**

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук Ю.К.Акимов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Г.И.Забиякин,

кандидат технических наук И.С.Крашенинников.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: ордена
Ленина Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова.

Автореферат разослан " " 1969 года

Защита диссертации состоится " " 1969 года на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А.Займидорога

13 - 4381

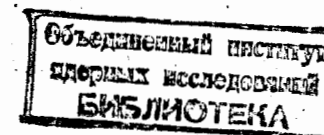
М.Н.Омельяненко

ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ МЮОНАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СТАБИЛИЗАЦИИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ТРАКТОВ

Специальность 300 - применение электроники
в научных исследованиях

Автореферат диссертации, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

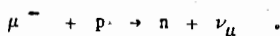
6020 89.



Постановка новых задач в ядерной физике выдвигает все более высокие требования к необходимой для их выполнения электронной аппаратуре. К числу таких задач относятся проводимые в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ исследования взаимодействий отрицательных мюонов с тяжелыми ядрами и газообразным водородом.

Изучение деления тяжелых атомов под воздействием отрицательных мюонов интересно тем, что, как было предсказано Д.Ф.Зарецким^{1/}, наряду с обычным делением, связанным с ядерным захватом, в этом процессе должен наблюдаться большой вклад безрадиационного деления ядер.

Особенный интерес для теории слабого взаимодействия представляет захват мюона в газообразном водороде в реакции



Малая вероятность захвата и ее взаимосвязь с предшествующими μ - атомными и μ - молекулярными процессами усложняют эксперимент, т.к. определяют особые требования к электронной аппаратуре, составленной из довольно большого количества схем различного функционального назначения. К таким требованиям можно отнести прежде всего стабильность и повторяемость характеристик разных экземпляров однотипных схем, простоту в настройке, блочное исполнение, обеспечивающее быструю взаимозаменяемость схем. Следует отметить, что с

проблемой получения высокой стабильности спектрометрических амплитудных и временных трактов приходится сталкиваться при постановке многих физических экспериментов. Естественно, что с ростом числа спектрометрических каналов аппаратуры все труднее получить стабильность ее показаний в процессе длительной эксплуатации. Эта задача может быть успешно решена введением систем автостабилизации.

В диссертации рассматриваются комплекс транзисторной аппаратуры для временного и амплитудного анализа импульсов в экспериментах с отрицательными мюонами, а также системы стабилизации спектрометрических трактов, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1963-1968 года при участии автора.

Диссертация составлена из трех глав. Для того чтобы не перегружать основной текст диссертации, некоторые расчеты мы вынесли в Приложение.

Первая глава посвящена аппаратуре для исследований делений ядер ^{239}Pu отрицательными мюонами /2-5/. Основой аппаратуры являются электронные схемы наносекундного диапазона.

В начале главы описаны блок-схемы и особенности физической аппаратуры в экспериментах, проведенных с участием диссертанта. Основная трудность экспериментов была вызвана необходимостью регистрировать с высокой эффективностью осколки деления ^{239}Pu , происходящего под действием отрицательных мюонов при наличии большого фона α -частиц ($\approx 10^8 \text{сек}^{-1}$), и фона различных сопутствующих событий, совпадающих по времени с моментом прихода мюона. Двухмерный анализ дал возможность тщательно исследовать фоновые условия, в том числе фон α -частиц и фон примесных π^- -мезонов в мюонном пучке. Анализу подвергались одновременно амплитуда импульса со сцинтилляционной камеры, регистрирующей осколки деления, и время прихода этого импульса после остановки мюона в мишени.

Измеренное время жизни мезоатомов ^{239}Pu составило 67 ± 8 нсек, а отношение числа безрадиационных делений к числу делений за счет обычного механизма $0,28 \pm 0,04$.

В следующих параграфах 1 главы описываются наносекундные схемы, нашедшие применение как в аппаратуре, рассмотренной в 1.1, так и в аппаратуре для других экспериментов.

В 1.2 описан широкополосный импульсный усилитель наносекундного диапазона /6/ с временем нарастания и спада импульсов 5 нсек. Такие характеристики для относительно медленных транзисторов (П417) были достигнуты благодаря применению каскадных схем включения транзисторов и введением низкочастотной, а в один из каскадов - и высокочастотной коррекции. Характерной особенностью его является также наличие на входе цепочки с диодом, предохраняющей усилитель от амплитудных перегрузок. Коэффициент усиления усилителя - 15.

Усилитель с обратной связью /7/ (1.3) является быстрым усилителем с временем нарастания 3+4 нсек. Он предназначен для усиления коротких сигналов, которые могут быть получены например, на выходе быстрых детекторов или после формирователей на туннельных диодах. Усилитель разработан на двух высокочастотных транзисторах типа ГТ311 и ГТ313 и имеет коэффициент усиления, равный десяти. Возможно каскадирование двух-трех усилителей для получения большого коэффициента усиления. Характерными особенностями усилителя являются гальванические связи и равенство нулю выходного потенциала.

В параграфе 1.4 описана наносекундная схема совпадений и антисовпадений, разработанная с использованием транзисторов и туннельных диодов /8/. Схема имеет три канала совпадений и один канал антисовпадений. Формирователи каналов совпадений состоят из каскада на высокочастотном транзисторе, включенном по схеме с общей базой, последовательного диодного ограничителя и одновибратора на туннельном диоде с индуктивностью. Элементы отбора совпадений и антисовпадений построены на тун-

нельнодиодных одновибраторах. Основным достоинством схемы совпадений является малое разрешающее время $2+3$ нсек, которое можно изменять режимом элемента отбора совпадений до 6 нсек при высокой эффективности. Эффективность канала анти-совпадений на пучке π^+ -мезонов синхроциклотрона при счёте тройных совпадений 170000 сек^{-1} лучше 99,99%.

На базе двухканальной схемы совпадений создана схема логических (временных) ворот с регулируемой от 20 до 300 нсек длительностью и временем нарастания 1 нсек. Это обеспечивается благодаря применению специального формирователя, использующего туннельный диод с короткозамкнутым кабелем.

В 1.6 описывается интегральный дискриминатор для наносекундных импульсов^{/9/}, а также разработанный на его основе дифференциальный дискриминатор, который использовался в^{/15/}. В интегральном дискриминаторе применены два пороговых элемента- импульсный диод и одновибратор на туннельном диоде, что обеспечивает хорошее формирование входных импульсов, при которых работает прибор. Если использовать сдвоенный потенциометр, чтобы одновременно изменять пороги обоих элементов, то диапазон дискриминации, начинающийся с 0,5 в, доходит до $20+30$ в. Дискриминатор обладает температурной нестабильностью порога $0,05\%/^{\circ}\text{C}$. Если увеличить индуктивности в цепях туннельных диодов, то дискриминатор можно использовать в микросекундном диапазоне.

Подобные характеристики имеет дифференциальный дискриминатор. Ширина окна меняется в пределах от 50 мв до 1,5 в.

Два варианта смесителей (схем "или") описаны в 1.7. В одном из них максимальный выходной сигнал составляет 5 в. До момента достижения этой величины происходит линейное суммирование входных импульсов. Смесители выполнены на высокочастотных транзисторах типа 1Т311 и имеют собственное время переходного процесса $2+3$ нсек. В другом варианте специально введена дискриминация входных импульсов в пределах $0+1,5$ в.

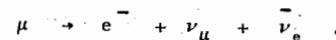
В конце первой главы описан время-амплитудный конвертер на 500 нсек, выполненный на туннельных диодах и высокочастотных транзисторах. Его характерной особенностью является односторонняя характеристика преобразования, а также выполнение его входными устройствами (одновременно с формированием) функции временных ворот.

Разрешение конвертера в рабочих условиях на пучке мюонов^{/5/} составило ~ 1 нсек.

Во второй главе реферируемой диссертации рассматривается блок-схема и электронная аппаратура для эксперимента по изучению взаимодействия отрицательных мюонов в газообразном водороде.

Функции, которые должна выполнять электронная аппаратура при изучении вышеуказанной реакции в газообразном водороде, следующие:

- 1) выделение возможно большего числа остановок мюонов в водороде при минимальном числе фоновых отсчётов;
- 2) регистрация амплитудного и временного спектра нейтронов - продуктов данной реакции;
- 3) осуществление логического отбора необходимых событий из ложных событий и сопутствующих явлений, например, конкурирующей реакции



Последнее особенно важно, так как исследуется процесс с довольно низким сечением. Затруднения технического характера были вызваны также необходимостью использовать счётчики со сцинтилляторами типа CsJ (Tl), обладающими большим временем высвечивания, в результате чего возрастают загрузки в каналах счётчиков. Для определения входящего в мишень пучка мюонов используется сцинтиллятор из CsJ(Tl) толщиной всего ~ 200 мкм и воздушным световодом, что дополнительно ухудшает светосбор, т.е. условие определения остановок мюонов в газе. Поэтому нами предложен и используется метод

выделения остановок в газе, основанный на различии характера появления импульсов на выходе счётчика с кристаллом типа CsJ(Tl) после прохождения мезона и в его отсутствие, т.е. практически равномерного одноэлектронного фона.

Большинство схем, рассмотренных в первой главе, используется и в этой аппаратуре. Логический отбор, анализ искомым событиям и отброс ложных производятся при помощи серий различных схем совпадений, электронных и кабельных линий задержек, разветвителей, сумматоров, пересчётных схем, время-амплитудного конвертера и т.д. Специально разработана схема разделения нейтронов и гамма-квантов по форме сцинтилляционного импульса, работающая одновременно от девяти датчиков.

Во второй главе рассмотрены также особенности использования аппаратуры для данного эксперимента. Аппаратура прошла испытание на пучке μ -мезонов. Отработана методика регистрации остановок в газообразной мишени. Значительная часть аппаратуры приходится на спектроскопическое устройство для регистрации нейтронов, работающее от девяти сцинтилляционных счётчиков. Задача получения стабильной информации от спектрометрического устройства решена введением автостабилизации всего девятиканального тракта^{/10/}. С учётом возрастающих требований к стабильности спектрометрических трактов при постановке различных экспериментов нам казалось целесообразным рассмотреть вопросы стабилизации и системы, разработанные автором^{/11/}, более детально и отвести им отдельную (третью) главу.

Третья глава начинается обзором работ по системам стабилизации^{/12/}. Далее эти системы рассматриваются с точки зрения теории автоматического регулирования.

Очевидно, что по принципу устройства почти все стабилизированные спектрометрические системы являются импульсными системами автостабилизации, функцию импульсных модуляторов в которых выполняют источники реперных сигналов. Ре-

перное излучение (излучение с заранее известным, обычно монохроматическим, спектром) подается на вход спектрометра параллельно исследуемому излучению. В системе стабилизации предусмотрено измерение амплитуды реперных сигналов, что дает информацию о величине коэффициента усиления. Если последний изменился, вырабатывается управляющий сигнал, который возвращает коэффициент усиления к номинальному значению. Сравнение блок-схемы со структурной схемой, построенной в соответствии с теорией автоматического регулирования, позволяет более точно установить, какие операции выполняются в системе стабилизации те или иные блоки аппаратуры, и на основании этого оценить их роль в достижении наиболее эффективной стабилизации, выработать требования к аппаратуре и построить систему с применением наиболее простых технических средств. По признаку, наиболее общему для систем авторегулирования с замкнутой обратной связью - принципу работы всего замкнутого контура, - проведена классификация систем стабилизации спектрометров на системы аналогового и релейного типов. В аналоговых системах регулятор реагирует на сигнал рассогласования (изменение коэффициента усиления) в аналоговой форме с учётом его величины и знака. В релейных системах существенен лишь знак рассогласования. Соответственно для аналоговых систем регулирующее воздействие пропорционально изменению коэффициента усиления, а для релейных - постоянно по величине за каждый период работы реперного сигнала и отличается только знаком, когда происходит регулирование в ту или другую сторону. В аналоговых системах можно выделить подгруппу аналого-цифровых систем, у которых стабилизируемая величина преобразуется в числовую последовательность (код) и сигнал рассогласования поэтому приходит в виде кода.

В последующих разделах обзора рассмотрено устройство и применение как релейных, так и аналоговых систем, а также методы регулирования коэффициентов усиления спектрометров. Показано поведение этих систем при воздействии на спектрометры различных возмущающих воздействий.

Анализ аналого-цифровых и релейных систем показывает, что оба типа систем могут обеспечить высокую стабильность и хорошее энергетическое разрешение. Некоторое затруднение в построении таких систем вызывает отсутствие соответствующих стандартных источников реперных сигналов, обладающих высокой стабильностью.

В третьей главе обсуждаются существующие методы построения генераторов реперных сигналов и делается вывод о необходимости развития реперных систем с использованием полупроводниковых импульсных источников света. Вопросы разработки и применения электролюминесцентных источников света в аппаратуре для ядерной физики наиболее полно освещены в /13/. С участием диссертанта были выполнены работы по исследованию свойств полупроводниковых источников света и созданию на основе их генераторов световых импульсов /14,15/. Был создан генератор с источником света из арсенида галлия, который в диапазоне температур $10+45^{\circ}\text{C}$ имел интегральную нестабильность не более 1%. Временные характеристики источников света исследовались одноэлектронным методом на аппаратуре с разрешением лучше 0,72 нсек (такую длительность имел световой импульс, измеренный от одного из источников). В диссертации описаны разработанные автором генераторы сигналов для спектрометрических сцинтилляционных счётчиков /16/, использующие источники света из фосфида галлия и карбида кремния. Генераторы применяются в девятиканальной системе стабилизации. Важной особенностью генераторов является широкий регулируемый диапазон амплитуды света, который соответствует амплитудам сцинтилляций при регистрации нейтронов по протонам отдачи с энергией $1+15$ Мэв.

Часть третьей главы посвящена системам стабилизации одноканальных спектрометров. Первой рассмотрена система стабилизации временного спектрометра наносекундного диапазона /17/.

В качестве реперных интервалов времени для стабилизации порога и коэффициента передачи спектрометра используются интервалы времени между вспышками импульсных источников света из фосфида галлия. Длительность временных интервалов задается линиями задержки, выполненными на отрезках кабелей.

Система стабилизации является системой релейного типа, что позволяет выполнить ее с помощью довольно простых радиотехнических схем. Импульсы, соответствующие реперным интервалам времени, регистрируются у границ (нижней и верхней) рабочего диапазона анализатора АИ-256 или АИ-4098. Информация о величине коэффициента преобразования и порога получается с помощью снимаемого с анализатора сигнала, указывающего, должен ли реперный импульс регистрироваться внутри рабочего интервала (наличие сигнала) или вне его (отсутствие сигнала). Имеется еще связь с анализатором, по которой подается напряжение для управления величиной порога. Схема, определяющая необходимость изменения коэффициента усиления (порога) и вырабатывающая соответствующее управляющее напряжение, состоит всего лишь из двух одновибраторов, простейших элементов совпадений и антисовпадений и триггера с интегратором. Несложным является и блок с управляемым коэффициентом усиления, который содержит два эмиттерных повторителя с делителем между ними. В качестве одного из плеч делителя используется фоторезистор, величина сопротивления которого определяется светом с лампочки накаливания, питающейся напряжением с интегратора.

О качестве работы системы можно судить на основании следующих фактов. Так, при восьмичасовом сеансе измерений центр тяжести пика некоторого временного распределения сме-

шался без стабилизации на 400 нсек, а со стабилизацией - не более, чем на ± 3 нсек.

Система стабилизации, разработанная автором/18/ для амплитудного анализа импульсов, аналогична приведенной выше для временных измерений. Разница заключается только в том, что стабилизируется лишь коэффициент усиления.

Для обеспечения стабильности при условии больших загрузок вводится блокировка, дающая приоритет прохождению реперных сигналов.

Третья глава завершается рассмотрением системы стабилизации многоканального спектрометра, в основу которой положены принципы, использованные для стабилизации одноканального спектрометра.

Система синхронизируется от ускорителя и включается в те моменты времени, когда отсутствуют исследуемые события. С помощью блока синхронизации, регистра синхронизации, дешифратора и коммутатора последовательно запускаются генераторы реперных сигналов. Таким образом, на фотоумножители поочередно подаются реперные вспышки от электролюминесцентных диодов. Обратная связь с анализатора поступает на блок управления, с которого затем через специальный коммутатор даются команды "увеличить" или "уменьшить" коэффициент усиления в соответствующем канале.

Характеристики одноканальной и девятиканальной систем практически одинаковы, т.к. используют одни и те же блоки, которые определяют качество стабилизации. Смещение напряжения питания фотоумножителя на 100 в при работающей системе стабилизации приводит к изменению коэффициента усиления примерно на 1%, в то время как без стабилизации коэффициент усиления изменяется почти вдвое.

Система имеет блочную конструкцию и может быть перестроена на любое число счетчиков как меньше, так и больше девяти.

Кратко итоги работы сводятся к следующему:

1. Разработан комплекс схем наносекундной электроники, на основе которого сконструирована аппаратура для исследования взаимодействия отрицательных мюонов с ядрами ^{239}Pu . К этим схемам относятся:

- а) импульсный усилитель наносекундного диапазона с полосой пропускания 70 Мгц и коэффициентом усиления равным 15;
- б) усилитель с обратной связью с временем установления 3.4 нсек и коэффициентом усиления - 10;
- в) схема трехкратных совпадений и каналом антисовпадений с разрешающим временем 2.6 нсек;
- г) логическая схема пропусков с шириной "ворот" от 20 до 300 нсек, задаваемой управляющим импульсом с временем нарастания и спада ≈ 1 нсек;
- д) интегральный и дифференциальный дискриминаторы для наносекундных импульсов;
- е) смеситель с собственным временем нарастания 2.3 нсек и линейным суммированием до ≈ 5 в;
- ж) время-амплитудный конвертер с диапазоном 500 нсек и разрешающим временем ≈ 1 нсек.

Интегральная нелинейность конвертера не превышает 1%.

2. С участием диссертанта исследовано деление ядер ^{239}Pu отрицательными мюонами. Экспериментально было показано, что наряду с обычным делением, связанным с ядерным захватом, наблюдается большой вклад безрадиационного деления ядер.

3. Разработана электронная аппаратура для экспериментов по изучению взаимодействия отрицательных мюонов с газообразным водородом.

Предложен метод выделения остановок мезонов в газе с уменьшением фона, связанного с характером высвечивания сцинтиллятора типа Cs J(Tl).

Разработана девятиканальная схема разделения нейтронов и гамма-квантов по форме сцинтилляционного импульса.

В аппаратуре используется специально созданная система стабилизации девятидатчикового сцинтилляционного спектрометра нейтронов.

4. Для стабилизации и калибровки спектрометрических трактов, предназначенных как для амплитудных, так и временных измерений, разработано несколько типов генераторов световых импульсов.

5. По системам стабилизации сделан обзор и анализ их работы с точки зрения теории автоматического регулирования.

По принципу действия системы классифицированы на релейные и аналоговые и рассмотрено их поведение при наличии наиболее характерных возмущающих воздействий.

6. Разработанные автором схемы, такие как усилители, интегральные дискриминаторы, смесители, схемы совпадений и т.д. нашли применение не только в экспериментах, описанных в диссертации, но и в других экспериментах на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

На основе систем стабилизации, описанных в диссертации, разработана и запущена в работу двухканальная система стабилизации спектрометрических трактов аппаратуры, на которой в Институте физики Академии наук НРБ ведутся исследования γ - γ угловых корреляций.

Создана также система стабилизации временного спектрометра для измерения времени жизни возбужденных состояний ядер на основе сцинтилляционной установки γ - γ совпадений.

В основу диссертации легли материалы, опубликованные в работах /3-12,14-18/, большинство из которых докладывалось на различных конференциях и симпозиумах: Симпозиуме по наносекундной ядерной электронике, Дубна, 1967 г.; научно-технической конференции по ядерной электронике, Москва, 1967г.; Симпозиуме ОИЯИ по радиоэлектронике, Алушта,

1968 г.; Международном симпозиуме по структуре ядра, Дубна, 1968 г. и др.

Л и т е р а т у р а .

1. Д.Ф.Зарецкий. Доклады советских учёных на 2-й международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Изд. АН СССР, 1958.
2. V.Cojocar, A.Ignatenko, L.Mihal, M.Petrascu, V.Savu. Preprint IFA NR-19, Bucharest, March 1965.
3. V.Cojocar, A.Ignatenko, L.Marinescu, M.Omelianenko, M.Petrescu, Gh.Voiculescu. Phys. Lett., 20, 53 (1966).
4. V.Cojocar, A.Ignatenko, L.Marinescu, M.Omelianenko, M.Petrescu, Gh.Voiculescu. Rev.Roum.Phys., 11, N3, 207, Bucharest (1966).
5. А.Буце, Г.Войкулеску, Н.Грама, Д.Дорчоман, Л.Маринеску, М.Омельяненко, М.Петрашку, В.Хулубей. Препринт ОИЯИ Р1-4051, Дубна, 1968.
6. М.Н.Омельяненко. Препринт ОИЯИ, 1980, Дубна 1966.
7. Ю.К.Акимов, В.Ф.Борейко, Д.Дорчоман, А.И.Калинин, М.Н.Омельяненко, В.Саву, А.Г.Шонова. Материалы симпозиума по наносекундной электронике, Дубна, 1967. стр. 79.
8. М.Н.Омельяненко. Препринт ОИЯИ, 2597, Дубна 1966.
9. М.Н.Омельяненко. Препринт ОИЯИ, 2082, Дубна, 1965.
10. В.В.Манг оянов, М.Н.Омельяненко, К.О.Оганесян, В.В.Фильченков, В.Хулубей. Препринт ОИЯИ Р13-3751, Дубна 1968.
11. М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, А.Н.Синаев, Материалы симпозиума ОИЯИ по радиоэлектронике, Алушта, 1968.
12. М.Н.Омельяненко. Препринт ОИЯИ Р13-3225, Дубна 1967.
13. В.И.Рыкалин. Диссертация ИФВЭ, Серпухов 1967 .

- ✓ 14. В.И.Наумов, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, В.Ф.Титова.
ПТЭ №4 (1966), 65.
- ✓ 15. В.Г.Лапшин, М.Н.Омельяненко, И.В.Рыжиков, В.И.Рыкалин.
ПТЭ №1 (1966), 149.
- ✓ 16. М.Н.Омельяненко, В.К.Тошиков, В.В.Фильченков. ПТЭ,
1968, №5, 175 .
- ✓ 17. В.Г.Лапшин, М.Н.Омельяненко, В.И.Рыкалин, А.Н.Синаев,
В.П.Хромов, З.Цисек. Препринт ОИЯИ Р13-3342, Дубна
1966.г.
- ✓ 18. Р.Арльт, С.Кадькова, А.Калинин, В.Моисеева, Г.Музиоль,
М.Омельяненко и др. Препринт ОИЯИ Р6-3773, Дубна 1968.

•Рукопись поступила в издательский отдел
1 апреля 1969 года.