

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

P 823

3-88-632

РУБИН Дьердь УДК 539.1.075

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
КОРРЕЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА
И СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ
НЕЙТРОНАМИ И ЯДРАМИ
НА ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКАХ НЕЙТРОНОВ

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1988

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы связана с необходимостью адекватного соответствия возрастающей сложности методики физических экспериментов, с одной стороны, и быстро развивающихся технических, технологических и концептуальных возможностей решения задач автоматизации экспериментов, с другой стороны. Развитие методики экспериментов, как правило, требует создания новых измерительных систем, имеющих большее быстродействие, больший объем памяти, большие возможности для обработки данных и т.п.

Условия конкретного физического центра оказывают влияние на подходы к практическому решению научно-технической задачи автоматизации физических экспериментов. В ОИЯИ во второй половине 70-х и в начале 80-х годов одним из основных направлений было создание автономных систем накопления данных для широкого круга задач на базе стандарта КАМАК с управлением от СМ ЭВМ и интеллектуальным контроллером крейта. В настоящее время такое же значение имеет применение персональных компьютеров (ПЭВМ) для автоматизации экспериментов. Следует отметить, что представленная в диссертации модульная система для накопления спектрометрической информации на базе стандарта КАМАК с дополнительной магистралью развивалась автором с 1976 года, в то время как стандарты современных магистралей, имеющих аналогичные возможности, появились лишь в начале 80-х годов. По оценкам специалистов, КАМАК будет активно применяться до середины 90-х годов. Поэтому был разработан ряд контроллеров крейта для подключения ПЭВМ к системе КАМАК. Кроме того, не менее актуальной задачей является разработка и создание интерфейсов, позволяющих решать задачи сопряжения ПЭВМ с аппаратурой физического эксперимента без использования промежуточных магистралей. В диссертации представлено оригинальное решение этой задачи, на базе которого можно создавать сравнительно простые и дешевые измерительные системы для ряда экспериментов без применения модулей КАМАК.

При создании измерительных систем спектрометров одной из наиболее актуальных является задача обоснования спецификации требований к разрабатываемым системам. Измерительные системы спектрометров обычно имеют достаточно сложную структуру. Они содержат детекторы элементарных частиц, аналоговые и цифровые подсистемы (с наличием мертвого времени различного типа и величины), системы передачи данных и сигналов, интеллектуальные системы и т.п. На входах детекторов мгновенная загрузка является сложной функцией времени, кроме того, сам процесс детектирования имеет статистический характер. Ввиду того, что эксперименты в ЛНФ ОИЯИ ведутся с помощью импульсных источников

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат технических наук

Г. П. Жуков

Официальные оппоненты:
доктор технических наук
кандидат физико-математических наук

И. А. Каржавин
Ю. Б. Патлань

Ведущая организация:
Физико-энергетический институт, Обнинск.

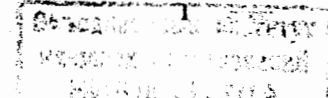
Автореферат разослан " _____ " _____ 1988 года.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1988 года
в _____ часов на заседании специализированного Совета Д047.01.05 при
Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций
Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю. В. Таран



нейтронов, пиковая нагрузка на входе измерительных систем намного превышает среднюю нагрузку, поэтому очень важной задачей является нахождение оптимальной структуры и параметров системы. Вышеуказанные причины, как правило, не позволяют вести расчеты для оптимизации системы в аналитическом виде, с другой стороны, приближенные расчеты приводят лишь к весьма грубым оценкам. В таких случаях единственным приемлемым способом решения этой проблемы является использование математического моделирования на ЭВМ. В диссертационной работе с помощью математического моделирования методом Монте-Карло изучаются работа системы детектирования корреляционного спектрометра (КОРА) и процесс накопления данных спектрометра поляризованных нейтронов и ядер. Полученные результаты позволили определить требования к разработанным системам.

Цель настоящей работы состояла в исследовании, разработке и создании измерительной системы спектрометра КОРА:

- ▶ для проведения экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов;
- ▶ для проведения экспериментов по квазиупругому рассеянию нейтронов;
- ▶ для проведения дифракционных экспериментов,

а также в разработке и создании системы накопления данных спектрометра для экспериментальных исследований с поляризованными нейтронами и ядрами.

Сформулированные задачи решены с помощью модульной системы, представленной в диссертации. Такое решение связано с тем, что требования к системам накопления данных для вышеуказанных спектрометров представляют собой определенные крайности по некоторым параметрам экспериментов в ЛНФ. Поэтому оказалось целесообразным создать такую систему, с помощью которой можно было бы успешно решать широкий круг задач накопления спектрометрической информации в ЛНФ. Разработанная в диссертационной работе система не только соответствовала передовой для того времени структурной концепции, но и позволила в дальнейшем решать все задачи, возникающие в ходе развития методики экспериментов.

Последние разработки, связанные с применением ПЭВМ при автоматизации экспериментов, представленные в диссертации, открывают широкую перспективу их дальнейшего использования.

Научная новизна:

1. Создана модульная система для накопления спектрометрической информации в стандарте КАМАК с дополнительной внешней шиной, с помощью которой реализованы следующие новые возможности по сравнению со стандартом КАМАК: организована работа нескольких модулей для совместной обработки информации, созданы независимо работающие группы модулей с помощью сегментации внешней шины для организации

параллельных процессов и обеспечена быстродействующая (до 15 Мбайт/с) прямая передача информации между модулями. На базе модульной системы создан ряд систем накопления данных для нейтронных спектрометров, использующих методику многомерного спектрометрического анализа.

2. Проведен математический анализ работы спектрометра КОРА и сформулированы требования к измерительной системе для экспериментов по неупругому, а также по квазиупругому рассеянию.

3. Проведено математическое моделирование методом Монте-Карло работы измерительных систем обоих спектрометров. Полученные результаты использованы для определения требований к разработанным системам.

4. Разработана и создана измерительная система корреляционного спектрометра на импульсном реакторе ИБР-2 для экспериментов по неупругому рассеянию.

5. Впервые разработана и создана трехмерная измерительная система корреляционного спектрометра на импульсном реакторе ИБР-2 для экспериментов по квазиупругому рассеянию.

6. Создана система накопления данных для дифракционных экспериментов на спектрометре КОРА.

7. Создана система накопления данных для экспериментальных исследований с помощью поляризованных нейтронов и ядер.

8. Впервые в ОИЯИ разработан и создан многофункциональный интерфейс МУЛЬТИ персональных компьютеров типа IBM XT/AT для накопления спектрометрической информации, а также для контроля и управления экспериментом.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что с помощью разработанной автором модульной системы проведен ряд экспериментов в ЛНФ ОИЯИ. На спектрометре КОРА проведены следующие исследования:

- ▶ измерение фоновых спектров металлов Al и ^{60}Ni ;
- ▶ измерение фазовых переходов на жидких кристаллах ЕВВА и МВВА;
- ▶ измерение констант диффузии в разных жидкостях и жидких кристаллах, например: вода, ЕВВА и МВВА.

На спектрометре с поляризованными нейтронами и ядрами проведены следующие исследования:

- ▶ измерение изомерных сдвигов нейтронных резонансов ядер;
- ▶ измерение спиновой зависимости сечения рассеяния s-волновых нейтронов ядрами ^7Li ;
- ▶ измерение эффектов нарушения пространственной четности при пропускании продольно-поляризованных нейтронов через ядерные мишени. Это исследование получило высокую научную оценку, в частности отмечено первой премией ОИЯИ за 1981 г.

Разработанный автором многофункциональный интерфейс МУЛЬТИ уже

начинает широко применяться. Заявка на изобретение по этой разработке^{/12/} получила приоритетный номер 3106/88 в ВНР.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на XIII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Варна, 1988), а также на семинарах ЛНФ ОИЯИ.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 12 работ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 182 страницах, включает 77 рисунков и 11 таблиц. Список литературы содержит 113 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведен краткий обзор литературы в области измерительно - накопительных систем спектрометров, сформулированы цели и задачи исследования, дано краткое изложение содержания работы по главам.

В первой главе приведены основные требования к системам накопления данных для нейтронных спектрометров ЛНФ ОИЯИ. Показано, что требования к системам накопления данных для спектрометра КОРА и спектрометра для экспериментальных исследований с поляризованными нейтронами и ядрами представляют собой определенные крайности по некоторым параметрам экспериментов в ЛНФ. Решение задачи для крайних значений параметров позволяет решать задачи и во всем диапазоне параметров. Поэтому было целесообразно вместо проблемно-ориентированной создать такую систему, с помощью которой можно было бы успешно решать широкий круг задач накопления спектрометрической информации. Описана модульная система для накопления спектрометрической информации, в том числе характеристики и особенности организации внешней шины, а также разработанные модули системы^{/4/}.

Модули системы созданы в стандарте КАМАК, так как их разработка началась в конце 1976 года, когда еще не появились стандарты современных магистралей. Кроме того, стандарт КАМАК получил в ОИЯИ наибольшее распространение в автоматизированных системах управления и обработки данных физических экспериментов. Однако при разработке системы необходимо было преодолеть недостатки стандарта КАМАК, такие как малое быстродействие, невозможность прямой аппаратурной передачи данных между станциями, сложность совместной работы нескольких модулей и использование всеми процессами одной магистрали - магистрали крейта (МК). Так как стандарт КАМАК позволяет применять дополнительные шины, одним из путей преодоления вышеуказанных недостатков может быть

построение системы с несколькими шинами. При этом можно получить следующие преимущества:

- ▶ использовать при построении специальных шин более простые решения;
- ▶ легко организовать параллельные процессы;
- ▶ легко организовать совместную работу нескольких модулей;
- ▶ обеспечить быстродействующую связь между модулями.

Была разработана система с дополнительной внешней шиной (ВШ), с помощью которой можно обойти недостатки МК; совместное использование МК и ВШ дало возможность создавать системы, обладающие большой эффективностью. Ввод, вывод данных и связь между модулями осуществляются через ВШ, разъемы (вилки) которой размещаются на передних панелях модулей. Внешняя шина представляет собой плоский (ленточный) кабель с 40-контактными разъемами (гнездами). ВШ содержит 24 линии для передачи данных, две линии для управления передачей данных и шесть резервных линий, предназначенных для индивидуального использования. Организация шины обеспечивает одновременно и быстродействие, и нечувствительность к помехам при длине шины до 1 м. Передача данных по внешней шине происходит в асинхронном режиме. Минимальное время цикла передачи данных по внешней шине - 200 нс, т.е. максимальная скорость передачи - 15 Мбайт/с.

Внешняя шина должна обеспечивать широкие возможности соединения модулей для создания различных конфигураций систем, чтобы с помощью минимального набора типов модулей можно было создавать системы для решения большого круга задач^{/4/}. Одним из основных преимуществ внешней шины является то, что она позволяет организовать работу нескольких модулей для совместной обработки информации. Существуют два основных вида совместной работы модулей: распределение информации по разрядам и по времени. ВШ также обеспечивает режим работы, при котором одновременно используются характеристики обоих вышеуказанных способов совместной работы модулей. Другой полезной и эффективной особенностью ВШ является то, что для организации параллельных процессов она позволяет создавать независимо работающие сегменты шины.

К настоящему времени для построения систем отбора и накопления экспериментальной информации разработаны три типа модулей: входной модуль, анализатор и промежуточная память. Для управления модулями используется магистраль крейта. Ввод данных и связь между модулями осуществляется через ВШ, а вывод данных возможен как через магистраль крейта, так и через ВШ. Совместную работу модулей для обработки информации можно организовать не только через ВШ, но и через магистраль крейта.

Входной модуль выполняет следующие функции: прием сигналов, поступающих от экспериментальной аппаратуры, и выработка из них кодов;

прием данных от внешней шины; промежуточная буферизация данных (кодов); выдача данных (кодов) либо на внешнюю шину, либо на магистраль крейта^{/5/}.

Информация от экспериментальной аппаратуры поступает в виде серий импульсов (например, от детекторов частиц, последовательных датчиков угла, временных кодировщиков и т.п.), параллельного кода (например, от кодировщиков номера детектора, АПП, датчиков угла и т.п.). Для приема сигналов и данных от различных источников информации входной модуль может работать в режимах параллельного регистра, счетчика импульсов и двухсчетчиковом. Время, требуемое для ввода и вывода одного слова данных в режиме параллельного регистра, равно 200 нс. В режимах счетчика импульсов и двухсчетчиковом модуль может принимать серии импульсов с максимальной частотой до 20 МГц.

Входной модуль можно эффективно использовать для выработки кодов событий в таких экспериментах, где накопление данных базируется на методике многомерного спектрометрического анализа. При этом количество входных модулей и мерность спектрометрического анализа должны совпадать. Каждый входной модуль самостоятельно обрабатывает сигналы одномерной величины, из которых образует подкоды. В результате совместной работы входных модулей из этих подкодов формируется единый код - код события, который выдается из модулей либо через ВШ, либо через МК. При этом входной модуль способен функционировать в обоих режимах совместной работы модулей (распределение информации по разрядам и по времени).

Анализатор выполняет сортировку и регистрацию кодов событий, а также передачу накопленных данных в ЭВМ^{/8/}. Он обеспечивает два основных режима накопления данных, регистрацию отдельных кодов событий и накопление данных в виде спектров (в дальнейшем регистрация спектров). Сортировка и регистрация при поступлении экспериментальной информации происходят автономно. Управление от ЭВМ требуется только для установления рабочих режимов, запуска и остановки работы анализатора.

В режиме регистрации кодов данные записываются в память последовательно. Такое использование памяти неэффективно, так как для регистрации каждого кода требуется целое слово памяти. Этот режим целесообразно применять в том случае, когда длина кода больше адресного пространства памяти.

В режиме регистрации спектров код события определяет адрес памяти, по которому произойдет модификация его содержимого; таким образом, одинаковые коды будут накапливаться в одних и тех же ячейках памяти. В зависимости от распределения времени поступления кодов эта модификация может иметь характер либо инкремента/декремента

содержимого данного адреса памяти, либо суммирования/вычитания числа N , где $N=0+255$. Знак модификации можно менять при каждом поступлении кодов, причем любой тип модификации выполняется анализатором в течение одного цикла. Применение этого режима возможно только в тех случаях, когда длина кода события не превышает адресное пространство памяти.

Двухсторонняя передача данных между памятью анализатора и управляющей ЭВМ организована через МК. Данные из/в памяти анализатора могут передаваться как отдельными словами, так и массивами. Режим передачи отдельными словами предназначен для чтения/записи данных в произвольном порядке. При передаче массива данных происходит чтение информации, расположенной в последовательных адресах памяти анализатора. Любой обмен данными с ЭВМ (адресация, чтение и запись) организуется под управлением команд КАМАК. Эти команды могут выполняться анализатором и во время автономного накопления данных, но приоритет в случае одновременного обращения к памяти имеет автономный режим.

Как любая сложная электронная система, анализатор требует регулярного тестирования, для этого в анализаторе существует режим "Тест", с помощью которого можно быстро выполнить проверку правильности процесса накопления, не используя внешние сигналы.

В различных экспериментах требования к объему памяти могут меняться в широких пределах. Поэтому выбрана такая организация памяти анализатора, которая дает возможность гибко менять и адресное пространство, и длину слова памяти. Диапазон адресного пространства памяти можно расширять секциями по 4к до 32к слов. В рамках существующего пространства памяти можно программным образом устанавливать размер адресного пространства и начальный адрес рабочей области. Длина слова памяти устанавливается программно: 12 или 24 разряда. При регистрации спектров можно ограничить максимальное содержимое ячейки памяти с помощью программно установленного лимита:

При пиковых нагрузках, возникающих в процессе работы с импульсными источниками информации, а также в связи со статистической флуктуацией входных сигналов в определенные интервалы времени скорость поступления информации в систему накопления данных может превышать скорость обработки ее некоторыми элементами этой системы. Для исключения потерь информации в таких случаях необходимо принимать и хранить данные по мере их поступления и затем передавать их остальным модулям системы с приемлемой для них скоростью. С этой целью разработан блок промежуточной памяти, предназначенный для "выравнивания" скоростей поступления и обработки данных^{/6/}.

Промежуточная память (256*24 разряда) имеет последовательную организацию записи и чтения, причем очередь чтения совпадает с

очередь записи (FIFO). Для уменьшения потерь информации, в случае одновременного запроса на запись и чтение, прием данных имеет приоритет. Этот приоритет может быть как статическим, так и динамическим. Запись может включать выполнение условия неравенства нулю старшего байта входных данных (17+24p). Эту возможность целесообразно использовать тогда, когда в системе накопления данных промежуточная память расположена перед анализатором, который установлен в режим работы накопления спектра $\pm N$. При этом разряды 1+15 содержат код события, а старший байт - число событий, имеющих этот код. Таким образом, на входе промежуточной памяти можно отфильтровать коды событий, не содержащие полезную информацию. Время, требуемое для ввода одного слова данных, равно 200 нс, т.е. модуль может принимать данные с максимальной скоростью работы внешней шины.

Промежуточная память одновременно выполняет роль передающего и принимающего модуля. В качестве принимающего модуля она может работать в режиме распределения информации по времени. В связи с тем, что в этом режиме информация поступает от различных модулей, иногда для дальнейшей обработки данных требуется знать, от какого модуля эти данные получены. Для этого при необходимости каждое поступившее слово данных отмечается двоичным кодом номера передающего модуля, вырабатываемым промежуточной памятью.

В второй главе дается обоснование требований к измерительной системе в разных областях применения спектрометра КОРА. При этом коротко описан принцип корреляционной методики, а также принцип действия, построение и статистическая точность спектрометра КОРА^{1,2,10/}

Выполнен анализ параметров, определяющих область применения спектрометра: неупругое и квазиупругое рассеяние. Исследование процессов неупругого рассеяния нейтронов (например, фононные спектры, дисперсионные соотношения) включает диапазон переданной энергии в несколько десятков мэВ. Задачей такого измерения является определение положения неупругих пиков, и этим задается необходимая разрешающая способность по энергии. Используемый диапазон длин волн ограничен ($\lambda=1.5+3\text{А}$) ухудшением разрешающей способности по энергии. В этой области интенсивность источника нейтронов (реактор ИБР-2) также достаточная. В спектрах, полученных спектрометром КОРА, практически всегда присутствует некогерентный упругий пик, интенсивность которого обычно на два порядка превышает интенсивность неупругих пиков. Поэтому среднее значение спектра превышает максимум неупругих пиков. Следовательно, имеется выигрыш только в том случае, если упругий пик отфильтрован из спектра. Корреляционная техника вблизи упругого пика имеет преимущество естественным образом, то есть без фильтрации,

поскольку интенсивность в этих точках спектра значительно превышает среднее значение спектра и позволяет эффективно (с выигрышем) исследовать квазиупругое рассеяние, то есть процессы, приводящие к расширению упругого пика. В этом случае измеряется изменение формы упругого пика, которое для широкого класса задач попадает в область от десятков мкэВ до мэВ. Значительное улучшение разрешения по энергии требует смещения диапазона измерений в сторону нейтронов низких энергий, т.е. больших длин волн. Используемый диапазон длин волн сверху (до $\lambda=3\text{А}$) ограничен ухудшением разрешающей способности по энергии, а снизу (до $\lambda=8\text{А}$) числом нейтронов. В этих экспериментах всегда измеряется свертка формы исследуемого пика с функцией разрешения спектрометра. Для правильной обработки данных необходимо учитывать форму линии функции разрешения, недостаточно, если известна только полуширина этой функции. Поэтому ширина канала внутри сегмента должна быть меньше, чем необходимо было бы для простого определения разрешающей способности.

Проведен математический анализ влияния разных узлов экспериментальной аппаратуры и параметров системы накопления данных на разрешающую способность спектрометра. Переданная энергия определяется следующим образом:

$$\epsilon = E_1 - E_2, \quad (1)$$

где E_1 - энергия нейтрона до, а E_2 - после рассеяния. Для спектрометра КОРА эти величины определяются через времена пролетов τ и τ_2 . Соответственно двум временам пролета неопределенность переданной энергии состоит из двух слагаемых:

$$\delta\epsilon = \left(\delta\epsilon_\tau^2 + \delta\epsilon_{\tau_2}^2 \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $\delta\epsilon_\tau$ и $\delta\epsilon_{\tau_2}$ [мкэВ] - компоненты, связанные с двумя временами пролета:

$$\delta\epsilon_\tau = \frac{\delta\epsilon}{\partial\tau} \cdot \delta\tau = \frac{647}{L_1 \cdot \lambda^2} \cdot \delta\tau \quad \text{и} \quad \delta\epsilon_{\tau_2} = \frac{\delta\epsilon}{\partial\tau_2} \cdot \delta\tau_2 = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{647}{L_1 \cdot \lambda^2} \cdot \delta\tau_2, \quad (3)$$

где $\delta\tau$ - неопределенность по времени пролета [мкс] на базе замедлителя-детектора L [м] и $\delta\tau_2$ - на базе прерывателя-детектора L_2 , а λ [А] - длина волны нейтрона. Неопределенность времен пролета определяется параметрами экспериментальной установки и системы накопления данных:

$$\delta\tau = \left(\delta\tau_0^2 + \Delta t_i^2 \right)^{1/2} \quad \text{и} \quad \delta\tau_2 = \left(\delta\tau_{0,2}^2 + \Delta t_2^2 \right)^{1/2}, \quad (4)$$

где $\delta\tau_0$ и $\delta\tau_{0,2}$ - неопределенности измерения τ и τ_2 , связанные с параметрами экспериментальной установки, Δt_i - ширина i -го канала регистрации полного времени пролета, Δt_2 - ширина канала регистрации времени пролета по второй базе. Главными факторами неопределенности

при измерении времени пролета являются ширина импульса источника нейтронов Δt_s , ширина элементарного окна прерывателя Δt_c , неопределенность длины пролетной базы δL и относительное изменение скорости вращения прерывателя $\Delta n/n = \Delta T_c / T_c$. Скорость вращения прерывателя не стабилизирована и во время измерения может отклоняться от номинального значения. Показано, что допустимый разброс скорости вращения $\Delta n/n$ для экспериментов по неупругому рассеянию нейтронов не должен превышать 1.5%, а для экспериментов по квазиупругому рассеянию верхний предел равен 0.6%.

Рассмотрено, как зависит разрешение по энергии спектрометра от ширины каналов накопления данных и как надо подбирать их значения в разных режимах измерения. В экспериментах по квазиупругому рассеянию особенно важно улучшение разрешения по энергии, определяемое также выбором ширины каналов регистрации. С уменьшением ширины каналов не только улучшается разрешение, но и увеличивается число каналов и, соответственно, необходимый объем памяти в системе накопления данных. Из уравнений (3) видно, что член δt_2 отличается от δt множителем $L/L_2 \approx 3.9$, поэтому желательно прежде всего уменьшение ширины канала регистрации времени пролета по второй базе. Надо учитывать, кроме того, что ширина окна прерывателя Δt_c должна быть кратной ширине канала Δt_2 , т.е. $\Delta t_c \Rightarrow \Delta t_2$. С помощью математического анализа показано, что величину ν нет смысла выбирать больше 2-х (такое деление необходимо для определения формы функции разрешения), т.к. даже при $\nu=4$ разрешение улучшается лишь на 1.2% по сравнению с $\nu=2$. Однако удваивается число каналов регистрации времени пролета по второй базе и нужный объем памяти растет пропорционально величине деления: $SN_2 \Rightarrow \nu \cdot N$, где N - число элементов последовательности прерывателя.

Проанализировано также влияние ширины канала регистрации полного времени пролета базы замедлителя-детектора Δt_c . С помощью математического анализа показано, что при малых длинах волн с увеличением ширины канала Δt_c быстро ухудшается разрешение, однако с увеличением длины волны можно использовать все большую ширину канала без значительного ухудшения разрешающей способности. Свободный выбор значения Δt_c позволяет оптимизировать разрешение в диапазоне измеряемых длин волн таким образом, что используется переменная ширина каналов вместо постоянной. Для упрощения технической задачи применим ступенчатое приближение к идеальной $\Delta t_c(\lambda)$ функции, с помощью которого одновременно ограничиваются абсолютное (до 12 мкэВ) и относительное (до 4%) ухудшение разрешения спектрометра по энергии.

Кроме переданной энергии другой существенной физической величиной, которая также определяется в экспериментах на спектрометре, является переданный в процессе рассеяния нейтронов импульс, поэтому

важно знать разрешение и по этой величине. Показано, что неопределенность переданного импульса $\Delta Q/Q$ в основном определяется неопределенностью угла рассеяния $\Delta \theta/\theta$. Кроме того, $\Delta Q/Q$ монотонно растет в функции θ . Предложена такая конфигурация детекторной системы, где разрешающая способность по передаче импульсов не зависит от угла рассеяния.

Энергетический спектр нейтронов импульсного реактора ИБР-2 с замедлителем приблизительно соответствует распределению Максвелла при температуре $T=300K$. Среднее и максимальное число детектируемых нейтронов зависит от многих факторов, самые основные из них: трансмиссия прерывателя, эффективность детектора, площадь образца, пропускание пролетных баз, площадь и телесный угол детектора. На базе этих факторов, с помощью математического анализа, определена пиковая и средняя загрузка событий, поступающих на вход измерительной системы в функции времени пролета.

В результате проведенного в главе математического анализа сформулированы требования к измерительной системе. На основе разрешения по энергии дана оценка необходимого числа и ширины каналов регистрации времени пролета, а на основе разрешения по переданному импульсу число и размеры детекторных блоков. От величины средней загрузки и требуемой статистической точности зависят как длина слова памяти, так и время измерения. По этим оценкам определен также необходимый объем памяти для накопления данных. Величиной мгновенного счета определяется допустимое мертвое время детекторной системы и необходимый размер буфера в системе накопления данных. Для случаев неупругого и квазиупругого рассеяния из-за существенной разницы в требованиях по разрешению, диапазону длин волн, счету и т.д. разработаны два независимых перечня минимальных требований для системы накопления данных.

В третьей главе представлены общие требования и организация работы электронной системы спектрометра КОРА^{11/}, которая состоит из трех частей: электронной системы экспериментальной установки, расположенной на 5-м канале реактора ИБР-2; измерительной системы, установленной в измерительном центре (ИЦ) ЛНФ, находящемся на расстоянии -200 м от реактора; системы передачи сигналов от ИБР-2 к ИЦ. Измерительная система выполняет следующие основные задачи: накапливает спектрометрическую информацию, контролирует условия эксперимента, обеспечивает экспериментатору управление экспериментом в интерактивном режиме, производит предварительную обработку накопленных данных, обеспечивает передачу накопленных массивов данных в центральную ЭВМ ЛНФ и организацию архива данных. Коротко описана электронная система экспериментальной установки, состоящая из системы

детектирования, электроники сигналов прерывателя и электроники термометра.

Проведено математическое моделирование на ЭВМ работы системы детектирования методом Монте-Карло. При этом с помощью обратных функций распределения вероятности нижеуказанных переменных и генератора псевдослучайных чисел разыгрываются время поступления следующих событий, номер детектора, амплитуда детекторных импульсов и позиция прерывателя во время детектирования. Эти величины являются исходными данными для программы математического моделирования изучаемой системы. В ходе моделирования для исследования процессов и проверки модели накапливаются следующие спектры:

- ▶ спектр поступающих на детектор нейтронов как функция времени пролета;
- ▶ потери в детекторе как функция времени пролета;
- ▶ распределение времени последовательного поступления нейтронов на детектор;
- ▶ распределение времени последовательного поступления событий на выход предусилителя;
- ▶ распределение времени последовательного поступления событий на выход кодировщика;
- ▶ фазовый спектр.

В процессе обработки результатов моделирования определяется:

- ▶ эквивалентное мертвое время детектора;
- ▶ эквивалентное мертвое время канала системы детектирования;
- ▶ относительные потери событий в детекторе;
- ▶ относительные потери событий в канале детектирования $P_{сб}$.

На основе результатов моделирования предложены параметры и структура системы детектирования.

Описана система накопления данных для экспериментов по неупругому рассеянию, которая была построена на базе модульной системы с управлением мини-ЭВМ СМ-3. Описана работа и организация модуля фильтрации неупругих пиков^{/3/}. Этот модуль отфильтровывает коды тех событий, в которых нейтроны рассеиваются на образце без изменения энергии. Описана автоматическая система и алгоритм проверки условий эксперимента. При этом контролируются безошибочное поступление спектрометрических сигналов, сбой в работе системы накопления данных, время оборота прерывателя, температура образца, равномерность распределения элементов спектра фаз, временные спектры, интенсивность нейтронного пучка, падающего на образец. Коротко представлены основные функции программы, управляющей экспериментом.

Описана аппаратура и алгоритм работы системы накопления данных для экспериментов по квазиупругому рассеянию. В этой области

применения основная проблема заключается в том, что объем накапливаемого массива данных в сорок раз больше, чем в экспериментах по неупругому рассеянию. При использовании существующей аппаратуры основная задача вышеуказанного алгоритма состояла в том, чтобы за минимальное время организовать сортировку и обработку большого объема кодов событий для получения на диске ЭВМ многомерного спектра, число элементов которого значительно превосходит объем ОЗУ ЭВМ. С помощью математического анализа оценены возможности измерительной системы, построенной на базе модульной системы и ЭВМ СМ-3. Показано, что данная система не полностью удовлетворяет необходимым требованиям, поэтому предложено создание измерительной системы на базе ПЭВМ.

Описано построение и перспективные области применения многофункционального интерфейса МУЛЬТИ для персональных компьютеров типа IBM AT/XT^{/9/}. Основой МУЛЬТИ является параллельный 32-разрядный двунаправленный регистр ввода-вывода, работающий по программному каналу и по каналу прямого доступа памяти, а также буферизованная шина ПЭВМ. Конструктивное исполнение МУЛЬТИ предусматривает возможность расширения его функций и наилучшей адаптации к задачам пользователя с помощью дополнительных ("ON-BOARD") модулей.

Представлена измерительная система экспериментов по квазиупругому рассеянию нейтронов на базе ПЭВМ Правец-16 и МУЛЬТИ, а также алгоритм работы системы накопления данных. С помощью математического анализа оценены возможности данной измерительной системы. Показано, что эта система удовлетворяет необходимым требованиям с большим запасом. Предложено направление дальнейшего развития измерительной системы спектрометра КОРА.

В четвертой главе коротко описаны основы экспериментальных исследований с помощью поляризованных нейтронов и ядер, а также аппаратура измерительного модуля спектрометра^{/7/}. Подробно представлены построение и организация работы системы накопления данных спектрометра, созданной на базе модульной системы и мини-ЭВМ СМ-3. Проведено математическое моделирование процесса накопления данных методом Монте-Карло, с помощью которого оценен необходимый объем промежуточной памяти в зависимости от параметров эксперимента. Коротко описана система накопления данных для дифракционных экспериментов на спектрометре КОРА, построенная на базе модульной системы и мини-ЭВМ СМ-3.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложении представлены некоторые измеренные и обработанные спектры, иллюстрирующие работу созданных систем.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Создана модульная система (МС) для накопления спектрометрической информации в стандарте КАМАК с дополнительной внешней шиной, с помощью которой реализованы следующие новые возможности по сравнению со стандартом КАМАК:

- ▶ организована работа нескольких модулей для совместной обработки информации;
- ▶ созданы независимо работающие группы модулей с помощью сегментации внешней шины для организации параллельных процессов обработки данных;
- ▶ обеспечена быстродействующая (до 15 Мбайт/с) прямая передача информации между модулями.

В рамках модульной системы разработаны три типа модулей: входной модуль для приема экспериментальных сигналов и выработки кодов событий, анализатор для обработки данных и промежуточная память для выравнивания скоростей поступления и обработки данных. С применением этой МС реализован ряд новых систем накопления данных для нейтронных спектрометров, использующих методику многомерного спектрометрического анализа.

2. Проведен математический анализ работы спектрометра КОРА, в результате которого сформулированы требования к измерительной системе для экспериментов по неупругому, а также по квазиупругому рассеянию. При этом:

- ▶ подробно рассмотрены влияние ширины каналов регистрации событий по пролетным базам на разрешающую способность по передаче энергии, выполнена их оптимизация и определено необходимое число этих каналов;
- ▶ рассмотрено влияние телесного угла, под которым детектор видит образец, на разрешающую способность по передаче импульсов, и предложена такая конфигурация детекторной системы, где разрешающая способность не зависит от угла рассеяния;
- ▶ определена пиковая нагрузка событий, поступающих на вход измерительной системы, и требуемое ее быстродействие;
- ▶ определена средняя нагрузка счета событий, поступающих на вход измерительной системы, на основе которой определено минимальное число регистрируемых событий и время измерения.

3. Разработана и создана измерительная система по корреляционной методике на импульсном реакторе ИБР-2 для экспериментов по неупругому рассеянию. При этом:

- ▶ проведено моделирование с помощью ЭВМ работы системы детектирования спектрометра методом Монте-Карло, и на базе результатов

моделирования разработана и создана требуемая система;

- ▶ разработана и создана система накопления данных на основе вышеуказанной модульной системы;
- ▶ разработан и создан модуль для фильтрации упругих пиков;
- ▶ создана система проверки условий эксперимента.

4. Впервые создана трехмерная измерительная система по корреляционной методике на импульсном реакторе ИБР-2 для экспериментов по квазиупругому рассеянию. При этом:

- ▶ разработана и создана система накопления данных на базе МС (с управлением от мини-ЭВМ СМ-3), которая частично удовлетворяет необходимым требованиям;
- ▶ предложен и оптимизирован алгоритм сортировки и обработки большого объема кодов событий в реальном масштабе времени для получения трехмерного спектра, число элементов которого значительно превосходит объем ОЗУ ЭВМ;
- ▶ разработан и создан многофункциональный интерфейс МУЛЬТИ для персональных компьютеров типа IBM XT/AT, для накопления спектрометрической информации, а также для контроля и управления экспериментом;
- ▶ разработана и реализована система накопления данных (на базе модульной системы, ПЭВМ типа Повец-16 и интерфейса МУЛЬТИ), которая полностью удовлетворяет требованиям к экспериментам по квазиупругому рассеянию, а также предложен и оптимизирован алгоритм накопления данных.

5. На основе модульной системы создана система накопления данных для дифракционных экспериментов на спектрометре КОРА.

6. На базе МС создана система накопления данных для экспериментальных исследований с помощью поляризованных нейтронов и ядер. С помощью моделирования на ЭВМ проведена оценка необходимого объема промежуточной памяти при селекции данных. На основе этой системы впервые в мире был выполнен цикл исследований явления нарушения пространственной четности при пропускании продольно-поляризованных резонансных нейтронов через ядерные мишени. Эти исследования получили высокую научную оценку, в частности отмечены первой премией ОИЯИ за 1981 г.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

1. Кроо Н., Насоди Л., Рубин Д., Симкин В.Г., Чер Л. Многодетекторная система измерений для корреляционного спектрометра // ОИЯИ, РЗ-12118, Дубна, 1979.
2. Кроо Н., Насоди Л., Рубин Д., Симкин В.Г., Чер Л. Функция пропускания статического прерывателя и ее применение в обработке спектров // ОИЯИ, РЗ-12180, Дубна, 1979.
3. Cser L., Ferenczy F., Kroo N., Rubin G., Zsigmond G., Simkin V.G. Filtering of Elastically Scattered Neutrons by Statistical Chopper at Pulsed Neutron Sources // Nuclear Instruments and Methods. 1981. Vol.184, p.431-437.
4. Боя Я., Вагов В.А., Жуков Г.П., Рубин Д., Харангозо Ж. Модульная система для накопления спектрометрической информации. Общее описание // ОИЯИ, Р10-86-574, Дубна, 1986.
5. Боя Я., Вагов В.А., Жуков Г.П., Рубин Д., Харангозо Ж. Модульная система для накопления спектрометрической информации. Входной модуль // ОИЯИ, Р10-86-776, Дубна, 1986.
6. Боя Я., Вагов В.А., Жуков Г.П., Рубин Д., Харангозо Ж. Модульная система для накопления спектрометрической информации. Промежуточная память // ОИЯИ, Р10-86-777, Дубна, 1986.
7. Боя Я., Вагов В.А., Жуков Г.П., Рубин Д., Хрыкин А.С. Измерительный модуль для исследований с помощью поляризованных нейтронов и ядер // ОИЯИ, Р13-87-17, Дубна, 1987.
8. Боя Я., Вагов В.А., Жуков Г.П., Рубин Д., Харангозо Ж. Модульная система для накопления спектрометрической информации. Анализатор // ОИЯИ, Р10-87-691, Дубна, 1987.
9. Грос Т., Калавски Д., Рубин Д., Тулаев А.В., Туманов А.Б. Многофункциональный интерфейс МУЛЬТИ персональных компьютеров типа IBM XT/AT // ОИЯИ, РЗ-88-313, Дубна, 1988.
10. Грос Т., Кроо Н., Рубин Д., Симкин В.Г., Чер Л. Спектрометр КОРА. Применение корреляционной методики на реакторе ИБР-2 // Депонированная публикация, ОИЯИ, Б1-3-88-403, Дубна, 1988.
11. Грос Т., Жиронкин Г.В., Калавски Д., Насоди М., Пахер П., Рубин Д. Спектрометр КОРА. Измерительно-накопительные системы // ОИЯИ, Р10-88-322, Дубна, 1988.
12. Eszes G., Kalavszky D., Molnár J., Péterváry J., Rubin Gy., Tulajev A.B., Tumanov A.V. Áramköri elrendezés mérés technikai, folyamatirányítási berendezés és információ feldolgozó egység gyors információcseréjének megvalósítására // Benyújtott szabadalom №3106/88, Budapest, 1988.06.17.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 августа 1988 года.