

С 344.3

7-388

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

13 - 4264

Л.П.Челноков

**МЕТОДЫ И АППАРАТУРА  
МНОГОМЕРНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат технических наук Б.В. Фефилов .

Официальные оппоненты:

доктор технических наук А.П. Цитович (ИАЭ АН СССР),

кандидат технических наук А.Н. Синаев (ЛЯП ОИЯИ).

Ведущее предприятие:

Физико-энергетический институт АН СССР.

Автореферат разослан " " " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " " " 1969 г.

на заседании Ученого совета ЛНФ и ЛЯР ОИЯИ в конференц-зале Лаборатории ядерных реакций, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.Т. Чубурков

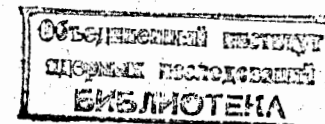
Л.П.Челноков

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА  
МНОГОМЕРНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

5778 бр.



## В в е д е н и е

Для современной экспериментальной ядерной физики низких энергий характерны два направления исследований:

а) Тенденция к изучению все более редких процессов ядерных взаимодействий с малыми сечениями, т.е. событий, которые должны быть выделены на фоне значительно превосходящего числа более вероятных процессов, что требует разработки методов и аппаратуры для проведения длительных опытов с надежной идентификацией изучаемых явлений.

б) Стремление к проведению комплексных, многопараметровых исследований ядерных процессов одновременно по возможно большему числу характерных свойств и признаков для выявления временных, пространственных и других корреляций между отдельными событиями, актами попадания частиц в несколько детекторов, между энергиями и массами нескольких ядерных частиц. Методы и аппаратура для проведения таких экспериментов должны обеспечить не только анализ, сортировку и накопление большого объема экспериментальных данных, но и разнообразные виды вывода для представления накопленной информации в приемлемой для экспериментатора форме.

Указанные черты в полной мере присущи большинству экспериментов, проводящихся на двух циклических ускорителях тяжелых ионов в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Использование тяжелых ионов позволяет проводить эксперименты по синтезу новых трансурановых элементов с  $Z > 100$ , дает возможность комплексно изучать механизмы прямых ядерных реак-

ций, вести исследования протонного распада ядер, проводить эксперименты по изучению изомерии ядер, исследовать двойное и тройное деление ядер и т.д. /1/.

Большое разнообразие физических экспериментов с тяжелыми многозарядными ионами стимулировало поиск общих методов накопления экспериментальной информации, выявление наиболее существенных требований, предъявляемых к характеристикам экспериментальных установок, к электронной аппаратуре.

Изучение редких событий и комплексные многопараметровые исследования объединяет обязательная многомерность анализа, важность стабилизации характеристик спектрометров из-за продолжительности или сложности экспериментов, общие вопросы накопления, сортировки и представления многомерной информации, а также одинаковые электронные решения узлов аппаратуры многомерного анализа.

Диссертация охватывает только вопросы, связанные с многомерностью измерений. В ее основу легли работы по выбору методов, конструированию и изготовлению электронной аппаратуры для проведения экспериментов по синтезу и идентификации новых трансурановых элементов /2-5/. В диссертации рассматриваются проблемы организации и разработки узлов общелaborаторного измерительного центра для набора многомерных спектров /6-8/. Обращается внимание на необходимость вычисления объема информации в многомерных измерениях, пропускной способности различных устройств и информационного согласования элементов спектрометрического тракта. Проводится анализ основных искажений, присущих только многомерным спектрам, и предлагаются способы их уменьшения.

В диссертации описываются устройства предварительной сортировки многомерных данных в аналоговой и цифровой форме /9,10/. Показаны особенности вывода многомерных спектров на одноцветные и многоцветные цифроречатающие устройства, на двухкоординатный самописец, на электроннолучевые труб-

ки с электростатическим и электромагнитным отклонением /11-14/. Значительное место в диссертации уделяется вопросам избыточности в многомерной информации, возможности и необходимости осуществления "уплотнения" информации. В заключительной главе показана целесообразность использования универсальных ЦЭВМ для целей многомерного анализа, предложены новые алгоритмы программ для сортировки информации, ее "сжатия" и накопления /15,16,17/.

В первой главе исследуется возможность получения достоверных результатов в длительных экспериментах с малыми эффектами путем искусственного увеличения многомерности анализа каждого редкого события.

На примере экспериментов по синтезу и идентификации трансурановых элементов с  $Z = 102-105$  /9,10,18/ показывается, что из-за малого отношения эффекта к фону и продолжительности экспериментов, которые длятся до нескольких суток непрерывно, существенную отрицательную роль начинает играть вероятность регистрации случайных сбоев аппаратуры, которые могут быть приняты за ожидаемый эффект, а также вероятность регистрации случайных наложений нескольких событий во времени, например, одновременного прихода двух частиц с суммарной энергией, попадающей в исследуемую область. Методика и аппаратура для исследования редких событий должны обеспечивать /17/:

- а) достоверность каждого зарегистрированного акта;
- б) долговременную стабильность, или однозначность характеристик преобразователей;
- в) сохранность всей ранее полученной информации в случае выхода из строя любого узла или всей установки в целом;
- г) оперативную доступность к накопленным данным во время эксперимента.

Рассматривается изменение отношения эффекта к фону при повышенной многомерности путем увеличения числа параметров, по которым анализируется каждое событие, или путем увеличения числа преобразователей для кодирования одного параметра. Формулы подавления ошибочной регистрации ложных событий и уменьшение эффективности регистрации истинных событий для этих двух случаев повышения многомерности оказываются инвариантны, причем ошибочная регистрация ложных событий уменьшается пропорционально произведению вероятностей сбоя ( $pq$ ), в то время как уменьшение эффективности регистрации истинных событий пропорционально вероятностной сумме сбоев ( $p + q - pq$ ).

Далее исследуется другой вид повышения многомерности измерений для обеспечения достоверности накопленных результатов, при котором один датчик информации разделяется на два. Отличие этого метода заключается в том, что каждый датчик воспринимает не всю, а только попадающую на него информацию. Введение дополнительного параметра (номера детектора) в данном случае позволяет сравнить общее количество и вид суммарной информации, поступившей от двух идентичных датчиков. Такое увеличение многомерности совместно с логикой отбора совпадающих во времени событий оказывается наиболее эффективным методом подавления электромагнитных фонов (наводок) и существенно увеличивает надежность накопленных данных.

Предложен метод увеличения многомерности измерений за счет одновременной регистрации эффекта и эталонной информации, что позволяет корректировать набранные данные по результатам кодирования реперных сигналов. Метод коррекции кодов /5/ может заменить применение систем стабилизации спектрометров при неинтегральном способе накопления многомерных данных.

Повышение многомерности рассматривается с точки зрения увеличения избыточности кодирования наименее помехоза-

щищенных параметров события, например, номера детектора.

Далее показана целесообразность повышения многомерности за счет регистрации не только физической информации об изучаемом явлении, но и нескольких дополнительных сведений о состоянии аппаратуры, о прохождении сигналов через контрольные точки спектрометрического тракта, о наличии в этот момент электрической помехи в сети и т.д.

Таким образом, повышение многомерности измерений - эффективный способ увеличения отношения числа зарегистрированных истинных событий ко всем зарегистрированным.

Во второй главе дается описание ряда оригинальных специализированных устройств, разработанных для проведения длительных экспериментов с малыми эффектами, - многомерных анализаторов редких событий (МАРС). С 1961 по 1968 г. было сконструировано 10 многомерных анализаторов (МАРС-1 - МАРС-10) для решения различных физических задач.

Первый многомерный анализатор (МАРС-1)<sup>/8/</sup> был изготовлен в 1961 году, содержал около 100 ламп, 30 реле и использовал в качестве накопителя телеграфный аппарат СТА-35. МАРС-1 был двухмерным анализатором - номер детектора - амплитуда ( $6 \times 100$ ) - и предназначался для работы совместно с ускорителем тяжелых ионов У-310 в трудных условиях проведения экспериментов на внутреннем пучке.

В МАРС-1 была впервые применена логика "длинной" (1 сек) блокировки после прихода совпадающих импульсов по нескольким трактам, что позволило довести уровень регистрации фоновых импульсов до 1 за 10 часов. В диссертации подчеркивается важность обращения повышенного внимания в экспериментах с малыми эффектами ко всей информации, коррелированной по времени с особыми моментами: концом блокировок, приходом необычно больших импульсов, совпадением сигналов в нескольких трактах и т.д. При рассмотрении МАРС-1

и других многомерных анализаторов автор отказался от подробного описания работы узлов всего устройства в пользу более подробного разбора основных особенностей каждого анализатора.

Опыт эксплуатации СТА в качестве основного регистратора в МАРС подтвердил его высокую надежность, которая объясняется не только конструктивным совершенством серийного прибора, прошедшего проверку временем, но и особенностью его включения "на себя", т.е. осуществлением жесткой механической синхронизации.

Описан транзистированный привод к СТА с коммутатором на ключах, собранных по каскадной схеме.

Для изучения осколков деления в разное время были изготовлены амплитуда-амплитудные анализаторы МАРС-2 и МАРС-8  $A \times A = 160 \times 160$ ,  $A \times A \times A = 512 \times 512 \times 512$ .

В экспериментах по обнаружению изомеров с аномально короткими периодами полураспада, в опытах по изучению спонтанного деления изотопов 102-го элемента и других экспериментах применялся МАРС-3 ( $D \times A \times T = 2 \times 512 \times 32$ ). В МАРС-3 большая часть многомерности была обусловлена требованием надежности полученных результатов. Особенностью МАРС-3 и всех последующих многомерных анализаторов была управляющая, программирующая роль МАРС-3, который управлял циклотроном и задавал режим работы всех устройств.

В многомерных измерениях целесообразно весь цикл работы экспериментального оборудования ускорителя, механических устройств пробника и т.д. поставить в зависимость от цикла работы многомерного анализатора.

Возрастание точности кодирования основных параметров многомерного анализа - энергии и времени - вызывало повышенные требования к стабильности работы аппаратуры в течение многих десятков часов. В МАРС-4 и МАРС-6 было произведено повышение многомерности измерений за счет регистрации эталонных импульсов с последующей коррекцией кодов

основной информации. Затем для того, чтобы эти анализаторы могли выполнять также функции управления, была разработана система автоматической стабилизации характеристики спектрометров. МАРС-7 и МАРС-10 имеют энергетические спектрометры со стабилизацией двух точек характеристик.

Описана система стабилизации характеристик многомерных спектрометров (4-х спектрометрических трактов МАРС-10) по двум точкам, используя один общий реперный генератор. Показана целесообразность применения в многодатчиковых многомерных анализаторах нормально закрытых линейных пропускателей. Исследования стабилизации аналогового типа привели к выводу, что основной вклад в уширение "пиков" в долговременных экспериментах вносит не абсолютная величина фактора коррекции, а отношение двух (положительного и отрицательного) факторов коррекции, которые в стабилизаторах аналогового типа не равны.

На примере МАРС-10 показано, как повышение многомерности увеличивает надежность выделения эффекта от фона в экспериментах по синтезу трансурановых элементов с  $Z = 102, 103, 104, 105$  /9,10,18/. Описаны блок-схема и некоторые узлы МАРС-10 ( $D \times A \times T \times F = 4 \times 1000 \times 1000 \times 100$ ), в частности, поясняется удобство разнообразного использования оригинального устройства - схемы границы кодов, разработанного специально для МАРС-10 (см. /17/). Отдельно рассматриваются вопросы логического построения МАРС-10, вопросы блокировок и фазирования сигналов управления.

Третья глава посвящена рассмотрению особенностей набора и представления (вывода) многомерных спектров. Резкое увеличение объема входной информации в многомерных измерениях по сравнению с одномерными измерениями требует более внимательного анализа количества информации, которое может быть получено от реальных датчиков, с учетом ее ценности для конкретных экспериментов. Проводится анализ потоков инфор-

мации, что является основой для выбора наиболее подходящей аппаратуры и методов исследования. Детекторы ядерных излучений, применяемые в экспериментах с многозарядными ионами, могут обеспечить получение до 10-12 бит информации об энергии частиц, до 8-14 бит информации об относительном времени попадания частицы, до 6-10 бит о некоторых других параметрах, таких, как место попадания частицы, сорт частицы и т.д. Скорости поступления сообщений для многих экспериментов лежат в диапазоне нескольких десятков тысяч в секунду, что обуславливает требования к пропускной способности передачи информации всеми участками спектрометрического тракта до  $10^6$  бод. Наиболее "узким" местом для прохождения потока информации оказываются кодировщики параметров и накопители. Поэтому в многомерных измерениях особенно целесообразно применять для информации в аналоговом виде фильтры, установленные до кодировщиков, и для информации в цифровом виде - фильтры между кодировщиками и накопителями.

Устройства перемножения, деления и возведения в степень амплитуд нескольких импульсов /14/- специфические фильтры многомерной информации в аналоговом виде. Универсальное значение при многомерных измерениях могут найти потенциальные цифровые фильтры - схемы сравнения кодов.

При снятии многомерных спектров изучаемые распределения интенсивностей событий в области физических параметров заменяются набором числа отсчетов в области новых параметров - параметров электрических импульсов, - несущих всю полезную информацию об исследуемых явлениях.

В третьей главе подробно рассматриваются характерные искажения, присущие только многомерным спектрам, в области трех основных формальных параметров: номера детектора (Д), амплитуды импульса (А) и времени (Т).

Суммарное искажение многомерных спектров складывается из действия помех и ошибок, возникающих на двух важнейших этапах набора многомерного спектра: а) кодирование ин-

формации по отдельным параметрам и б) осуществление логической операции отбора событий для окончательного запоминания. Рассматриваются наиболее интересные, так называемые структурные, искажения многомерных спектров, которые приводят к деформации поверхности или объема при двухмерных или трехмерных измерениях. Структурные искажения спектров  $A \times A$  из-за регистрации "резаных" импульсов, из-за конечной эффективности применяемых схем совпадения, структурные искажения спектров  $A \times T$  из-за непостоянства "живого" времени, из-за необходимости затрачивать время на преобразование амплитуды в число, структурные искажения из-за "просчетов", структурные искажения, присущие многомерным анализам, в которых одним из параметров выступает номер детектора (Д), - далеко не полный перечень рассмотренных искажений.

На основании анализа искажений многомерных спектров делаются следующие выводы:

а) Для сохранения разрешения, которое обеспечивают датчики параметров в случае снятия многомерного спектра, характеристики кодировщиков должны иметь повышенную линейность, точность кодирования и стабильность во времени по сравнению со случаем снятия одномерного спектра.

б) Для уменьшения структурных искажений вида нелинейного сдвига вдоль параметра среди различных типов кодировщиков и вспомогательных устройств, входящих в функциональную блок-схему конкретного многомерного анализа, должны быть выбраны те, характеристики которых минимально зависят от параметров, входящих в данный многомерный анализ, или от других общих переменных величин.

в) Для устранения краевых эффектов - искажений на границах диапазонов по параметрам, особенно по параметру Т - логическая блок-схема должна учитывать или сохранять неизменным "живое" время регистрации во всей многомерной области анализа.

г) Искажения многомерных спектров во многом зависят от вида многомерной информации, поступающей на вход анализатора, т.е. от самого спектра, который необходимо зарегистрировать. Поэтому снятие характеристик многомерного анализатора с одним видом входной информации, например "белого спектра", не может дать количественных коэффициентов искажения другого многомерного спектра. Это должно быть учтено при корректировании многомерной информации с помощью ЦЭВМ путем выбора такого вида эталонной информации, которая подчеркивала бы искажения, присущие снимаемому многомерному спектру.

В заключение показано, что выводные устройства, применяемые для вывода многомерных данных, должны обладать специфическими свойствами, главными из которых являются: а) избирательность к наиболее существенной части информации в сочетании с возможностью не выводить или "затенить" фоновую часть информации и б) повышенная точность воспроизведения многомерного адреса в соответствии со способом набора информации. Следует также учитывать требование наглядности представления многомерных данных, создание иллюзии объемности.

В четвертой главе обосновывается выбор основного регистратора цифровой системы АИ-16000 для лабораторного измерительного центра. Анализ потоков информации, учет наиболее существенных искажений, особенности вывода многомерных спектров показывают, что выбранный основной накопитель информации в наибольшей степени удовлетворяет требованиям многопараметровых экспериментов ЛЯР, однако входные и выходные устройства нуждаются в развитии и централизации.

Основными изменениями первоначальной структуры центра являются следующие:

- а) создание пульта управления измерительным центром;
- б) введение функции управления экспериментом, ускорителем с помощью устройства управления АИ-4096;

в) перенесение центра тяжести набора информации с входных блоков, являющихся частью автономных стоек АИ-4096, на централизованные входные блоки, имеющие собственные регистры, блоки питания и т.д., что позволяет вести обработку очередного события во время записи в память предыдущего события.

Проведение многомерных измерений на централизованных входных блоках позволяет не только отсортировать информацию в аналоговом виде, но и, закодировав ее в число, осуществить фильтрацию в цифровом виде и только после этого образовать многомерный адрес регистрации.

Описаны способы фильтрации многомерной информации в аналоговом и цифровом виде.

Специфическим видом фильтрации, или обработки многомерной информации в аналоговой форме, является аналоговое умножение, деление, сложение или возведение в степень входных величин - параметров электрических импульсов.

Выполнение математических действий над параметрами в некоторых случаях позволяет заменить снятие двухмерных распределений от двух первичных параметров набором одномерного спектра от одного нового параметра, являющегося известной математической функцией двух первоначальных, что может существенно уменьшить требуемый объем памяти.

Подробно разбираются электронные схемы выполнения основных математических действий над амплитудами импульсов, работающие на оригинальном принципе, предложенном автором <sup>14/</sup>. Сравняются схемы, основанные на потенцировании временного отрезка, пропорционального логарифму выходной величины, с схемами получения амплитуды выходного импульса, линейно зависящего от произведения или отношения амплитуд нескольких входных импульсов. Приводится расчет ошибок выполнения математических действий при помощи рассмотренных схем.



При решении различных задач по сортировке и обработке данных многомерного анализа в цифровой форме часто возникает необходимость сравнить два числа, два кода. К наиболее распространенным видам сравнения относятся: а) установление равенства или неравенства двух кодов и б) определение знака разности двух чисел. Второй вид сравнения кодов может иметь большее значение, но схемы, его реализующие, обычно сложны. Предложена логическая схема определения знака разности между двумя числами, записанными в позиционных системах счисления, работающая постоянно и потенциально, без каких-либо команд извне. Схема имеет мостовую структуру и состоит из нескольких одинаковых четырехполюсников (по одному на каждый разряд), каждый из которых выполняет логическую операцию:

$$d_i = (a_i \wedge \bar{c}_{i-1}) \vee (\bar{b}_i \wedge a_i) \vee (\bar{b}_i \wedge c_{i-1}),$$

где  $d_i = 1$  или  $0$  - выход четырехполюсника  $i$ -того разряда,  $a_i$ ,  $b_i = 1$  или  $0$  - значение  $i$ -того разряда сравниваемых кодов,  $c_{i-1} = d_{i-1} = 1$  или  $0$  - выход четырехполюсника более младшего разряда ( $i-1$ ).

Модифицированная схема определения знака разности кодов для случая, когда изменяемый код сравнивается с неизменным, хранящимся в долговременном запоминающем устройстве, например, набранным на тумблерах, названа схемой "границы кодов". Схема "границы кодов" применяется для образования "границ" цифровых "окон" для задания временных интервалов, для установки точек стабилизации характеристик многоканальных цифровых спектрометров и т.д.

Далее рассмотрены методы и схемы вывода многомерных данных. Большой объем излишней информации и сложность восприятия человеком многомерных структур - два главных фактора, определяющих особенности представления и вывода многомерных данных на цифropечатающие устройства, графикопостроители, осциллографические и другие электроннолучевые трубки.

Разработанные цифropечатающие устройства печатают двойной или тройной адрес в соответствии с разбиением памяти при наборе, исключена печать нулей в старших разрядах, приводится двухмерный спектр, напечатанный методом цифровой матрицы на двухцветной электропишущей машинке ЭЦМ-26М.

Вывод многомерной информации на электроннолучевые трубки отличается возможностью генерировать код "все единицы" в выводимых младших разрядах тех каналов, где содержится информация в более старших разрядах. Это позволяет наблюдать изометрические изображения каналов с малым содержанием на выравненном фоне каналов с большим содержанием. Для вывода многомерных данных был разработан оригинальный двухкоординатный самописец /16/, позволяющий вести вывод данных со скоростью 10-20 каналов в сек при времени перемещения пера на максимальное расстояние порядка 1 сек.

Пятая глава содержит алгоритмы сжатия многомерной информации при использовании ЦЭВМ для целей многомерного анализа. Использование ЦЭВМ позволяет осуществить сжатие информации методами "hardware" и "software" таким образом, что время на отыскание адреса размещения событий оказывается минимальным. Применение ЦЭВМ позволяет увеличить многомерность анализа интенсивных событий до сотен миллионов каналов при времени регистрации порядка 1 миллисекунды. Для решения этой задачи предлагается комплексное уплотнение информации на трех стадиях.

Первая стадия - перекодирование по отдельным параметрам с учетом информационной избыточности каждого сообщения. Вторая стадия - ассоциативный выбор части информации, представляющей интерес для экспериментатора, учет группового или симметричного расположения информации в многомерной области. Вторая стадия нормирует коды в соответствии с объемом памяти ЦЭВМ, в которую идет интегральное накопление числа отсчетов "одинаковых" событий. Третья стадия - уплотне-

ние информации, учитывающее статистический характер накапливаемых данных, позволяющее уменьшить разрядность памяти для накопления путем введения логики не безусловного, а вероятностного характера добавления очередного отсчета. В качестве примера первого вида "сжатия" приводится алгоритм перекодирования адреса амплитудного распределения из 6000 каналов в 4000 каналов, аналогичный по конечному результату спектру, набираемому с помощью кодировщика с "изменяемым наклоном".

Подробно разбирается ассоциативный способ накопления данных с точки зрения возможности применения его для набора многомерных спектров.

Показано, что симметрия, а также групповой характер многомерных распределений, получаемых в экспериментах с тяжелыми ионами, делает метод "выбора зон" наиболее подходящим. Выводится формула, связывающая максимальную разрядность входных кодов с числом обращений к памяти, способом разбиения, разрядностью ячейки памяти и числом групп входных кодов. Использование метода размещения в ячейке памяти части входного кода позволило уменьшить число обращений к памяти по сравнению со всеми другими известными из литературы методами до минимума. Так, на примере ЦЭВМ БЭСМ-4 показано, что при двойном обращении к ОЗУ (4х ячеек по 48 разрядов) максимальный входной код может иметь 20 разрядов при условии набора его в 128 произвольных зонах по 32 канала в каждой.

Под счет одинаковых событий отводится 24 двоичных разряда. В случаях, когда скорость поступления данных позволяет увеличить время регистрации до 3-х обращений к памяти, при том же разбиении на зоны максимальная разрядность входных кодов может быть увеличена до 28.

Предлагается алгоритм реализации резерва памяти путем суммирования не всех событий, попадающих в канал, а только

некоторых, по вероятностному закону. Вероятность регистрации является функцией точности, с которой требуется знать число событий, попавших в данный канал. В качестве аргумента выступает число зарегистрированных этом канале отсчетов.

Предложен метод псевдослучайной выборки, обеспечивающий минимальную ошибку, который учитывает статистическое распределение прихода событий в каналы по времени в эксперименте. Алгоритм позволяет, имея, например, 9 разрядов в ячейке памяти, "накопить"  $2^{17}$  событий, причем показатель  $N$  может быть определен по формуле:

$$N = \left( \frac{M^2}{2} + M \right) \pm \frac{M}{2},$$

где  $N$  - число поступивших на вход событий,  $M$  - число зарегистрированных событий.

Основные результаты диссертации сводятся к следующему:

1. Рассмотрено несколько методов повышения многомерности исследования редких событий для обеспечения достоверности результатов экспериментов.
2. Разработано семейство многомерных анализаторов редких событий (МАРС-1 - МАРС-10) для экспериментов с тяжелыми ионами.
3. Предложены методы и элементы стабилизации много трактовых спектрометров.
4. Предложены оригинальные способы и схемы осуществления математических действий с амплитудами импульсов.
5. Проанализированы характерные виды искажений многомерных спектров и способы их уменьшения.
6. При непосредственном участии автора создан измерительный центр Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ на основе серийного анализатора АИ-16000. Изменены программы и режимы работы АИ-16000 с учетом специфики его использования в экспериментах с тяжелыми ионами. Разработан комплекс выходных устройств для вывода многомерных данных.

7. Оценено количество и потоки информации в многомерных экспериментах, показаны степень избыточности кодирования основных параметров и возможность "сжатия" информации.

8. Предложены алгоритмы накопления с помощью ЦЭВМ многомерных данных, учитывающие несколько видов избыточности регистрируемой информации.

9. Выведена формула для подсчета максимальной разрядности входных кодов, которые могут быть накоплены ассоциативным способом по методу "выбора зон".

10. На аппаратуре, разработанной по предложению и при участии автора, проведены эксперименты по синтезу элементов, в результате которых в Лаборатории ядерных реакций исследованы энергии  $\alpha$ -излучения и периода полураспада 5 изотопов 102-го элемента с массами 252-256, 103-го элемента с массами 256 и 257 и 104-го элемента с массой 260.

В настоящее время на этой аппаратуре ведутся эксперименты по синтезу и идентификации  $\alpha$ -активных изотопов 105-го элемента.

Методы и аппаратура для многомерного анализа, разработанные автором, использовались в экспериментах по исследованию механизма прямых ядерных реакций и реакции деления ядер под действием тяжелых ионов.

Значительная часть материалов диссертации докладывалась и обсуждалась на 6 и 7 всесоюзных конференциях по ядерной радиоэлектронике в Москве (1964 и 1967 гг.)<sup>/13,14/</sup>, на международных симпозиумах по ядерной радиоэлектронике в Дрездене (1965г.)<sup>/3/</sup>, в Праге (1967 г.)<sup>/4/</sup>, в Париже (1968 г.) и опубликована в виде статей и препринтов<sup>/2,6-12,15,18/</sup>.

#### Л и т е р а т у р а

1. G.N. Flerov. Proceeding of the 2-United Nat. Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1958. P/2299, 14, 151 (1958).

2. М.С. Бирулев, И. Ланг, А.Ф. Линева, А.М. Сухов, Л.П. Челноков. Печатающий время-амплитудный анализатор импульсов без предварительного накопления информации. ПТЭ, 5, 90 (1963).
3. A.F. Linjow, B.W. Fefilow, L.P. Tschelnokow. Das Messzentrum des Laboratoriums für Kernreaktionen des VIKF. Dresden, Zfk-121, 332 (1965).
4. Б.В. Фефилов, Л.П. Челноков. О некоторых программах работы измерительного комплекса АИ-16000 в лабораторном измерительном центре. Сборник докладов IV симпозиума ОИЯИ по радиоэлектронике, октябрь 1966 г. Прага, 4, 85 (1967).
5. Г.И. Забиякин, В.И. Приходько, В.Г. Тишин, Л.П. Челноков. Коррекция амплитудных спектров с помощью ЦВМ. Сборник докладов IV симпозиума ОИЯИ по радиоэлектронике, октябрь 1966 г. Прага, 4, 367 (1967); Препринт ОИЯИ, P-2851, Дубна, 1966.
6. Е. Вэй-вень, Л.П. Челноков. Спектр осколков спонтанного деления  $^{244}\text{Cm}$ . Препринт ОИЯИ, 2317, Дубна, 1965.
7. В.В. Волков, Г.Ф. Гриднев, Г.Н. Зорин, Л.П. Челноков. Реакции передачи нуклонов и нуклонных групп при облучении  $^{197}\text{Au}$  и  $^{1282}\text{Th}$  ионами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ . Препринт ОИЯИ, E7-4071, Дубна, 1968.
8. Э.Г. Имаев, Б.В. Фефилов, Л.П. Челноков. Система регистрации осколков деления на внутреннем пучке 310-сантиметрового циклотрона Объединенного института ядерных исследований. ПТЭ, 5, 19 (1966); Препринт ОИЯИ, 2355, Дубна, 1965.
9. Б.А. Загер, М.Б. Миллер, В.Л. Михеев, С.М. Поликанов, А.М. Сухов, Г.Н. Флеров, Л.П. Челноков. О свойствах изотопа  $^{254}102$ . Атомная энергия, 3, 230 (1966); Препринт ОИЯИ, P-2470, 1965.
10. Г.Н. Акапьев, А.Г. Демин, В.А. Друин, Ю.В. Лобанов, Б.В. Фефилов, Г.Н. Флеров, Л.П. Челноков. О ядерных свойствах изотопов 102-го элемента с массовыми числами 255 и 256. Препринт ОИЯИ, P-2938, Дубна, 1966.

11. Ке Ен Сун, Л.П. Челноков. Устройство вывода с преобразованием двоичных чисел в десятичные. Преприят ОИЯИ, 10-3921, Дубна, 1968.
12. И. Ланг, Ф. Тере, Л. Сани, Б.В. Фефилов, Л.П. Челноков. Ассоциативный режим анализа на АИ-4096 с использованием внешней памяти. Преприят ОИЯИ, 10-3632, Дубна, 1967.
13. Э.Г. Имаев, Л.П. Челноков. Применение телеграфного аппарата для вывода информации из многоканальных анализаторов и многомерных систем без предварительной памяти. Труды Шестой конференции по ядерной радиоэлектронике 3(2), 18, Атомиздат, 1965.
14. В.В. Челнокова, Л.П. Челноков. Об одном принципе построения схем преобразования произведения и отношения амплитуд двух импульсов в амплитуду выходного импульса. Труды Шестой конференции по ядерной радиоэлектронике, 4, 76, Атомиздат, 1966.
15. Я. Ухрин, А.Ф. Лиев, А.А. Плева, С.М. Поликанов, Л.П. Челноков. Полупроводниковый нейтронный спектрометр с использованием дополнительного счетчика для измерения  $\frac{dE}{dx}$ . Dresden, Zfk-PhA, 12 (1963).
16. А.М. Сухов, Л.П. Челноков. Двухкоординатный регистрирующий прибор. Авторское свидетельство 215534 с приоритетом от 18. VII. 1966.
17. Л.П. Челноков. Многомерные анализаторы редких событий (МАРС). Тезисы докладов на научно-технической конференции "Новые методы и аппаратура для регистрации быстропеременных величин". Ленинград, октябрь 1967, стр. 23.
18. Г.Н. Флеров, В.А. Друин, А.Г. Демин, Ю.В. Лобанов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Акашьев, Б.В. Фефилов, И.В. Колесов, К.А. Гаврилов, Ю.П. Харитонов, Л.П. Челноков. Эксперименты по поиску  $\alpha$ -радиоактивных изотопов 105-го элемента. Преприят ОИЯИ, P7-3808, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

9 января 1969 года.