

26845
П. 775
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

10 - 4332

В.И.Приходько

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ
ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ СПЕКТРОВ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат технических наук Г.П. Жуков
кандидат технических наук В.Г. Тишин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук К.Я. Громов
кандидат технических наук К.Э. Эрглис

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова.

Автореферат разослан 196 г.

Защита диссертации состоится 196 г.
на заседании Объединенного Ученого совета Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ

Адрес: г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, конференц-зал Лаборатории нейтронной физики.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.Т. Чубурков

10 - 4332

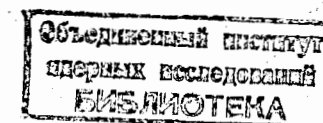
В.И.Приходько

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ
ОДНОМЕРНЫХ И МНОГОМЕРНЫХ СПЕКТРОВ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

5914 89.
4165



Современное состояние и тенденции развития техники физического эксперимента обуславливают необходимость принципиальных изменений в способах и средствах регистрации и обработки экспериментальной информации путем перехода к развитым системам накопления и обработки данных, к комплексной автоматизации основных этапов проведения физических экспериментов и широкому использованию вычислительной техники.

Необходимость широкого и разностороннего внедрения электронных вычислительных машин в экспериментальные методики (в том числе спектрометрические) вызвана, с одной стороны, все усложняющейся взаимосвязью и взаимозависимостью различных экспериментальных установок, приборов, методик обработки информации и, наконец, связью с ними самого экспериментатора; с другой стороны — повышением точности и многомерности экспериментов и, как следствие этого, соответствующим увеличением потока информации, который в большинстве случаев не может быть обработан без применения ЭВМ.

В реферируемой работе на ряде конкретных примеров иллюстрируется использование электронных вычислительных машин ("Минск-2" и "БЭСМ-4") для накопления и обработки экспериментальных данных (многомерные спектры, спектры конверсионных электронов, гамма-спектры). Особое внимание уделяется автоматизации этих процессов. Приводится описание разработанных автором приборов и устройств, к числу которых, в первую очередь, относятся: комплекс устройств для сортировки

многомерных спектров с регистраторов на магнитной ленте; автоматический микрофотометр, предназначенный для цифровой интерпретации спектров конверсионных электронов, полученных в магнитных β -спектрографах; двухмерный анализатор с цифровыми "окнами", выполненный на основе ЭВМ "Минск-2"; прецизионное входное устройство амплитудного анализатора на 8192 канала и др. Из всех устройств информация вводится непосредственно в ЭВМ. Подробно рассмотрены также вопросы математической обработки на ЭВМ e^- и γ -спектров.

Диссертация состоит из трех глав и двух приложений, содержание которых излагается ниже.

Глава 1

Предварительная обработка многомерной информации с регистраторов на магнитной ленте

При построении многомерных анализаторов на сотни тысяч каналов (и более) основным методом регистрации был и остается метод записи событий на магнитную ленту. При этом, как правило, регистрируется вся поступающая информация, а ее отбор и поканальная сортировка осуществляются после завершения эксперимента. Главным достоинством запоминающего устройства (ЗУ) на магнитной ленте является его относительная простота, надежность и практически неограниченная емкость.

В настоящее время в ЛНФ регистраторы на магнитной ленте (РМЛ) являются основным инструментом при проведении всех многомерных измерений. Краткое описание одного из РМЛ ^{/1/} содержится в первой главе реферируемой работы.

Данный регистратор представляет собой комплекс, состоящий из блоков аналого-цифрового преобразования (АЦП), промежуточной памяти и лентопротяжного механизма с устройствами записи и воспроизведения. Коды, характеризующие ис-

следуемое событие, из блоков АЦП (амплитудные кодировщики на 4096 ^{/4/} и 512 каналов; временной кодировщик на 4096 каналов; 9-разрядный регистр, позволяющий принимать коды дополнительных признаков, например, номер детектора, счет стартовых импульсов реактора, номер образца и т.д.) поступают на устройства промежуточной памяти и далее записываются на медленно движущуюся магнитную ленту. В РМЛ используется лентопротяжный механизм ТД-4 фирмы ЕМ I: ширина ленты - 1 дюйм, число дорожек - 20, плотность записи - 10 имп/мм, число бит на одной бобине - $2 \cdot 10^8$. Скорости движения ленты при записи равны 1, 2 и 4 м/сек, соответственно скорости регистрации составляют 100, 200 и 400 событий в сек. Скорость воспроизведения - 1, 2 и 3 м/сек. В регистраторе предусмотрена возможность записи информации в две строки, что позволяет увеличить число каналов многомерного анализатора до 2^{36} .

Основное содержание 1 главы составляет описание разработанного автором комплекса устройств для предварительной обработки многомерной информации с РМЛ ^{/5/}. В отличие от известных аналогичных устройств, применяемых ранее в измерительном центре ЛНФ ^{/1+3/}, данный комплекс имеет ряд преимуществ, связанных как со значительным расширением его технических возможностей (увеличение числа параметров, по которым ведется отбор многомерной информации; возможность получения интегральных и поканальных спектров внутри заданных сечений; увеличение количества одновременно обрабатываемых сечений; введение новых режимов сортировки информации, например, "окно" x "окно" и т.д.), так и с принципиально новой организацией процесса обработки, обусловленной применением ЭВМ (это относится прежде всего к способам формирования и занесения команд в программное устройство отбора кодов; возможности наблюдения спектров в любом сечении на экране осциллографа; различным видам контроля и, наконец, к автоматизации всего процесса обработки).

При сортировке многомерной информации используется метод цифровых "окон". Границы "окон", параметры, по которым производится отбор информации, режим сортировки и номер группы памяти, в которую должны быть записаны рассортированные спектры, задаются определенной командой в долговременном запоминающем устройстве (ДЗУ). Команды в ДЗУ заносятся либо вручную (от телефонного номеронабирателя), либо формируются в ЭВМ "БЭСМ-4" по точкам и командам, отмеченным световым карандашом на экране осциллографа. Исходными данными для формирования команд и дополнительной информации являются одномерные интегральные спектры по одному или нескольким параметрам, полученные при кратковременных предварительных прогонах информации через устройство отбора (УО).

Поканальная сортировка событий, удовлетворяющих определенному критерию отбора, осуществляется либо автономным МОЗУ, либо МОЗУ ЭВМ, работающим в анализаторном режиме. После каждого прогона ленты рассортированная информация переписывается на магнитную ленту ЭВМ, в ДЗУ заносится новая группа команд, и процесс повторяется снова. Необходимые переключения и коммутации, обеспечивающие циклическую работу всего обрабатываемого комплекса, осуществляются автоматически с управлением от ЭВМ.

В состав оборудования обрабатываемого комплекса входят следующие устройства:

1. Лентопротяжный механизм ТД-4.
2. Два долговременных запоминающих устройства на восемь 38-разрядных слов с временем обращения - 1 мксек. Ячейки памяти ДЗУ выполнены на туннельных диодах.
3. Устройство занесения (УЗ) кодов границ и дополнительной информации в ДЗУ. Набор кодов осуществляется с помощью телефонного номеронабирателя; система счисления - десятичная; вид контроля - визуальный.

4. Устройство отбора, осуществляющее одновременное сравнение двух 13-разрядных кодов исследуемого события с кодами верхней и нижней границ, записанными в ДЗУ; время сравнения - 2 мксек; результат сравнения - разрешающий импульс на выходе УО, если исследуемый код удовлетворяет условиям отбора, и, кроме того, - разность кодов соответствующего параметра исследуемого события и кода нижней границы (разность кодов используется для автоматического распределения рассортированных спектров по группам памяти).

5. Логическое устройство, осуществляющее формирование временной диаграммы и обеспечивающее выполнение всех режимов, запрограммированных в командах ДЗУ.

6. Устройство управления, позволяющее автоматизировать выполнение всех операций при сортировке многомерных спектров.

7. МОЗУ от ЭВМ "Минск-2" с устройством управления^{х/}:

- а) емкость памяти - 4096 37-разрядных чисел, или 8192 18-разрядных чисел, или 12288 12-разрядных чисел;
- б) время обращения - 24 мксек;
- в) память может быть разбита на группы по 256, 512, 1024 и 2048 слов, причем каждое слово, в свою очередь, можно разбить на 2 или 3 этажа.

8. ЭВМ "БЭСМ-4", дополненная каналом связи с аппаратурой измерительного центра ЛНФ, осциллографом со световым карандашом, операцией поканальной сортировки информации в МОЗУ ЭВМ и возможностью вывода информации на внешний регистр^{х/}.

Состав оборудования обрабатываемого комплекса может изменяться в зависимости от требований и специфики эксперимента.

^{х/} Все эти режимы были осуществлены на ЭВМ "Минск-2" и описаны в работах^{7-9/}. Аналогичные доработки к ЭВМ "БЭСМ-4" выполняются В.А.Владимировым и др.

Таким образом, с помощью описанного выше комплекса устройств можно сортировать двух-, трех- и четырехмерные (при установке на входе УО дополнительной схемы отбора) спектры, полученные на РМЛ. Сортировка производится одновременно на 8 сечений в память емкостью 8192 канала (автомное МОЗУ, запись в 2 этажа) или 16384 канала (МОЗУ ЭВМ "БЭСМ-4"). Скорость поступления событий в УО составляет $2 \cdot 10^4$ соб./сек, что соответствует скорости движения ленты - 2м/сек. Время одного прогона ленты ~ 8 мин.

Для сортировки спектров, имеющих малую длину (не более 1024 каналов для каждого параметра) автором был предложен другой способ сортировки /10/, в котором возможно неограниченное (в пределах емкости памяти) увеличение количества одновременно обрабатываемых сечений. В диссертации приведено подробное описание данного метода, а также его реализация в двухмерном анализаторе с цифровыми "окнами", выполненном на основе ЭВМ "Минск-2" (приложение 1). В настоящее время этот режим работы ЭВМ используется для прямой регистрации событий в экспериментах по изучению γ - γ -совпадений /11,12/.

Глава II

Цифровая интерпретация и обработка спектров конверсионных электронов, полученных в магнитных β -спектрографах

Для измерения спектров конверсионных электронов применяются главным образом магнитные β -спектрометры и β -спектрографы. Наиболее ярким преимуществом β -спектрографов является возможность одновременного и быстрого измерения спектра в большом диапазоне энергий, что особенно важно при изучении малоизвестных изотопов, а также изотопов с малым периодом полураспада.

Регистрация спектра электронов в β -спектрографах осуществляется на фотопластинке. Положение линии на фотопластинке характеризует энергию попадающих электронов, а степень засветки эмульсии - их интенсивность.

В отличие от других видов спектрометрической информации, такой способ регистрации приводит к необходимости введения дополнительного этапа обработки e^- -спектров, заключающегося в цифровой интерпретации спектра, записанного на фотопластинке.

В настоящее время для просмотра и измерения плотностей почернения спектрограмм используются выпускаемые отечественной промышленностью микрофотометры типа МФ-2 и МФ-4. Оба эти прибора предназначены для ручного фотометрирования, что в значительной степени затрудняет как процесс цифровой интерпретации спектра, так и его последующую обработку на ЭВМ. Основной причиной является большая трудоемкость и продолжительность процесса фотометрирования. Например, при длине фотопластинки $l = 400$ мм, 50%-ной "заселенности" спектра и шаге $\tau = 0,05$ и мм (выбор шага определяется шириной конверсионной линии Δ ; в нашем случае $\Delta = 0,2$ мм), а также с учетом того, что каждая линия спектрограммы должна фотометрироваться в 3-5 точках с последующим усреднением (во избежание погрешностей от случайных загрязнений фотопластинки), для обработки одной пластинки требуется выполнить около 20000 отсчетов, т.е. затратить не менее 100 часов. Кроме того, весьма продолжительным и трудоемким является процесс подготовки полученных таким образом данных для ввода в ЭВМ.

В этой главе приводится описание разработанного автором быстродействующего автоматического микрофотометра (АМФ), связанного с ЭВМ "Минск-2", а также рассмотрены методы обработки спектров конверсионных электронов.

Основное внимание при разработке АМФ было уделено повышению быстродействия прибора. С этой целью были принципиально изменены кинематическая и электрическая схемы микрофотометра МФ-2; разработаны быстродействующие электронные схемы для преобразования плотности почернения фотопластины в цифровой код; полностью автоматизированы процессы цифровой интерпретации спектров и ввода данных в ЭВМ "Минск-2".

Скорость сканирования в разработанном АМФ равна 60 точек/сек. При $l = 400$ мм, $h = 0,05$ мм и сканировании по 5 дорожкам, время обработки одной пластинки (40000 точек) составляет ≈ 11 мин (если рабочими являются прямой и обратный ход каретки) и ≈ 22 мин (если рабочим является только прямой ход каретки).

В данном АМФ каретка непрерывно движется со скоростью 3 мм/сек в плоскости, перпендикулярной оптической оси прибора. После прохода каретки в одном направлении столик с закрепленной фотопластинкой смещается в перпендикулярном направлении (шаг 0,8; 1,2 или 2 мм), двигатель продольного перемещения переключается на реверс, и процесс сканирования продолжается при обратном ходе каретки.

Формирование управляющих импульсов для запуска регистрирующей части АМФ через каждые 0,05 мм, а также совмещение начальных точек при повторном сканировании (по другой дорожке) осуществляется фотоследящей системой, состоящей из делительного диска, жестко закрепленного на микрометрическом винте, осветительной лампы и двух фотодиодов.

Регистрирующий тракт АМФ состоит из фотоэлектронного множителя (ФЭУ-18), в котором световой поток, прошедший через фотопластинку, вызывает протекание тока, пропорционального интенсивности падающего света; эмиттерного повторителя с большим входным сопротивлением, модулятора, импульсного усилителя и аналого-цифрового преобразователя. С выхода

АЦП коды подаются непосредственно в ЭВМ "Минск-2". При этом используется неинтегрирующий режим накопления^{17/}, в котором ячейки памяти последовательно заполняются поступающими кодами. В процессе измерения спектр изображается на экране осциллографа. После заполнения МОЗУ информация переписывается на магнитную ленту. Для предварительных измерений и настройки аппаратуры предусмотрен вывод информации на автономное цифropечатающее устройство БЗ-15.

В работе подробно рассмотрены функциональные и принципиальные схемы отдельных блоков АМФ.

Вторая часть главы посвящена вопросам обработки спектров конверсионных электронов. Процесс обработки включает в себя как некоторые операции предварительной обработки^{13-15/} (восстановление и коррекция спектра; более точное совмещение начальных точек; суммирование и усреднение отсчетов, полученных при сканировании по разным дорожкам; сглаживание; изменение масштаба и т.д.), так и получение искомым физических величин^{16,17/} (энергии и относительные интенсивности отдельных переходов). Обсуждаются вопросы организации процесса обработки спектров на ЭВМ с помощью осциллографа со световым карандашом.

Подробно излагаются основные элементы окончательной обработки: e^- -спектров - аппроксимация аналитическими функциями формы конверсионных линий, разложение сложных линий на отдельные компоненты и вычисление энергий электронов. Первые два из перечисленных пунктов имеют более общий смысл и могут быть распространены на другие виды спектрметрической информации^{х/}. Что касается вычисления энергий электронов, то данная проблема специфична для обработки спектров конверсионных электронов, полученных на магнитных β -спектрографах.

^{х/} В частности, разработанная автором программа используется при разложении γ -спектров и e^- -спектров, полученных на магнитных β -спектрографах и β -спектрометрах.

Наличие большого количества факторов, влияющих на форму конверсионной линии (ФКЛ), а также их взаимная связь затрудняют аналитическое решение задачи о нахождении функции разрешения спектрографа (т.е. ФКЛ). Поэтому практически во всех случаях при обработке e^- -спектров конверсионные линии аппроксимируются какой-либо подходящей функцией с набором варьируемых параметров, точное значение которых находится в процессе решения задачи методом наименьших квадратов. В данной работе выбрана функция, обладающая хорошей параметризацией и гибкостью в изменении формы^{/16/}. Для участка спектра, содержащего n линий, она имеет вид:

$$F(N) = 4 \sum_{i=1}^n F_{0i} \left\{ \exp \left[- \frac{N - N_{0i}}{s_i (1 + \alpha_i)} \right] + \exp \left[\frac{N - N_{0i}}{s_i (1 - \alpha_i)} \right] \right\}^{-2} \quad (1)$$

где N_0 — положение максимума пика; F_0 — значение функции в точке N_0 ; $s = \frac{\sigma}{1,76}$, σ — ширина линии на половине высоты;

α — коэффициент асимметрии ($0 \leq \alpha < 1$), при $\alpha = 0$ функция симметрична; N — текущий номер канала.

Таким образом, для описания ФКЛ используются четыре параметра, причем s_i и α_i для отдельных участков могут быть общими. Фон аппроксимируется прямой $A + BN$.

Анализируются способы устранения затруднений, возникающих в процессе счёта, таких как сильная корреляция параметров, выбор начальных условий, оценка однозначности расположения и др.

Результаты разложения используются для получения следующей информации: 1) вычисляются отдельные компоненты сложного участка спектра (в выражение (1) подставляются найденные значения параметров и вычисляются F для всех N и соответствующих i ; фон предварительно вычитается); 2) вы-

числяется площадь каждой компоненты и осуществляется переход к интенсивности; 3) осуществляется переход от N_0 к энергии E_i .

Большинство известных методов вычисления энергии конверсионных электронов предполагает наличие на спектрограмме большого числа линий с известной энергией, а также постоянство магнитного поля, расстояния между источником и входной щелью, расстояния от середины входной щели до репера в течение нескольких циклов измерений. Обязательность этих требований представляет большие неудобства как на стадии постановки опыта, так и при обработке его результатов.

В работе приведено описание метода вычисления энергии^{/17/}, свободного от перечисленных недостатков. Результаты вычислений данным методом сравниваются с аналогичными данными, полученными на кристаллических спектрометрах.

Глава III.

Прецизионные входные устройства амплитудных анализаторов. Предварительная и полная обработка гамма-спектров

В настоящее время достигнуты большие успехи в создании полупроводниковых детекторов и разработке схем детекторной электроники. В спектрометрах с $Ge(Li)$ — детекторами при использовании предусилителей на полевых транзисторах может быть получено разрешение порядка $1,5 \cdot 10^2$ кэВ в области низких энергий. Соответственно повышаются требования к характеристикам входных устройств амплитудных анализаторов.

Задача создания входных устройств амплитудных анализаторов на большое число каналов актуальна как для исследования спектров γ -лучей из ядерных реакций (например, изучение реакций $\alpha - \gamma$ на ИБРе ЛНФ), так и для классической ядерной спектроскопии.

В работах/4,19-23/ автором совместно с В.Г.Тишиным были рассмотрены основные методы повышения точности, линейности, стабильности и быстродействия входных устройств амплитудных анализаторов, предназначенных для работы с полупроводниковыми детекторами. Проведенный в этих работах анализ схем аналого-цифровых преобразователей и систем стабилизации "нуля" и коэффициента усиления показал, что имеется принципиальная возможность дальнейшего повышения точности входных устройств.

Наряду с прямым увеличением числа каналов при измерении спектров в широком диапазоне энергий может быть использован более простой путь. Поскольку энергетическое разрешение в полупроводниковых спектрометрах ухудшается с увеличением энергии регистрируемой частицы, диапазон измерений может быть разбит на несколько участков, на каждом из которых выбирается различная ширина канала (с ростом энергии пропорционально увеличивается ширина канала).

Использование АЦП с кусочно-линейной шкалой (КЛШ) позволяет либо сократить число каналов, требуемых для измерения спектра в определенном диапазоне энергий, либо при том же числе каналов существенно расширить энергетический диапазон. Следствием этого является возможность значительного сокращения объема памяти (особенно в многомерных измерениях) и уменьшения длительности эксперимента.

В третьей главе приведено описание разработанных автором входного устройства амплитудного анализатора на 8192 канала/24/; системы стабилизации "нуля" и коэффициента усиления; режимов работы с кусочно-линейной шкалой и уменьшенным мертвым временем, а также приведены измерительные характеристики всего устройства в целом. Наиболее существенные элементы данной разработки состоят в следующем:

1. Интегральная нелинейность - 0,05% в рабочем диапазоне амплитуд входных сигналов 0,1 + 8 в.

2. Дифференциальная нелинейность - +1% при частоте генератора цуга, равной 12 мгц, и +2% при $f = 25$ мгц в диапазоне 0,1 + 8 в.

3. Число каналов - 8192. Имеется возможность выбора групп каналов с минимальным шагом 512 каналов для работы с запоминающими устройствами малой емкости.

4. Предусмотрен режим работы ВУ с нормально открытым и нормально закрытым входом.

5. В схеме согласования ВУ с детекторной аппаратурой цепи интегрирования и второго дифференцирования вынесены на вход преобразователя, что при работе с длинными кабельными линиями связи между детекторной аппаратурой и анализатором позволяет, с одной стороны, существенно уменьшить высокочастотные наводки на кабель и, с другой стороны, осуществить запуск логики неинтегрированными сигналами.

6. В зарядное устройство введена дополнительная следящая схема, в которой точно фиксируется момент достижения максимума напряжения на запоминающей емкости. Выходной импульс из этой схемы поступает на запирающие линейные "ворота".

7. В данном устройстве применена система стабилизации релейного типа/21,24/. В качестве реперов используются электрические импульсы от стабильного генератора или пики исследуемого спектра.

8. Осуществлен режим работы ВУ с кусочно-линейной шкалой/18/. В этом режиме шкала ВУ разбивается на несколько участков, на каждом из которых может быть выбрана любая ширина канала. Переход с одного участка шкалы на другой осуществляется путем переключения тока разряда запоминающей емкости при подаче управляющих потенциалов с триггеров адресного счётчика. Решены вопросы стабилизации коэффициента усиления при работе в режиме с КЛШ.

9. Проанализированы вопросы уменьшения мертвого времени АЦП. Показано, что одним из наиболее эффективных методов уменьшения времени преобразования является метод двухступенчатого кодирования. В данном методе разряд запоминающего конденсатора происходит так же, как и в режиме с кусочно-линейной шкалой: - с переключением тока разряда. Но в отличие от режима с КЛШ в этом случае разряд всегда является двухступенчатым и, кроме того, одинаковым для импульсов любой амплитуды. На первой ступени конденсатор разряжается большим током (из расчёта $U_{\text{макс.}} = 8$ в на 64 канала), а остаток ($U_{\text{ост.}} \leq 1$ канала = $\frac{8 \text{ в}}{64} = 128$ мВ) - малым током (на 128 каналов). Общее эквивалентное число уровней квантования составляет $64 \times 128 = 8192$ канала. Мертвое время складывается из времени кодирования сигнала на обеих ступенях и равно ~ 20 мксек при частоте цуга 10 мгц.

10. Входное устройство может быть связано с ЭВМ либо непосредственно в анализаторном режиме^{/7/}, либо через канал связи.

В гамма-спектрах энергия моноэнергетической группы γ -квантов определяется по положению пика полного поглощения или пиков вылета аннигиляционного излучения, интенсивность - из площади под линией, с учётом эффективности детектора. Именно в определении этих данных и состоит задача обработки γ -спектров. Решению этой задачи посвящена заключительная часть III главы.

Процесс обработки разбивается на два этапа: предварительный и окончательный. Операции предварительной обработки γ -спектров подготавливают информацию для дальнейшей обработки по определенным программам и дают некоторое количественное представление о характере обрабатываемого спектра. К числу наиболее типичных подпрограмм этого класса относятся^{x/ /13,14/}.

^{x/} Все подпрограммы рассчитаны на совместную работу ЭВМ и осциллографа со световым карандашом^{/8/}.

1) исправление выпавших точек; 2) сглаживание; 3) определение координат любой помеченной точки (номер канала, число отсчётов, энергия); 4) определение энергетического разрешения и калибровка; 5) отыскание максимума (минимума) на определенном участке спектра; 6) отбор полезной информации; 7) переход к энергетической шкале; 8) формирование дополнительной информации для дальнейшей обработки (например, определение начальных условий для обработки по МНК, в некоторых случаях вычитание фона).

В это список могут быть включены при необходимости операции поканальной сортировки событий, подпрограммы коррекции и преобразования информации, различного рода нормировки^{/25,26/} и т.д.

В работе рассмотрены методики разложения сложных γ -спектров. Показано, что наиболее часто применяемый при анализе сцинтилляционных γ -спектров метод разложения, известный под названием "stripping", не может быть распространён на γ -спектры, полученные на полупроводниковых спектрометрах, при их обработке на малых и средних ЭВМ (типа БЭСМ-4, Минск-2). Основной причиной является невозможность индивидуального учёта комптоновских распределений из-за их большой протяженности (до нескольких тысяч точек).

В реферируемой работе используется метод прямой аппроксимации^{/16/}. В данном методе все отсчёты, не принадлежащие фотопикам и пикам одиночного и двойного вылетов, приписываются "фону", который аппроксимируется на обрабатываемом участке какой-либо функцией (полином, сумма экспонент и т.д.). Для аппроксимации формы пиков используется более строгое параметрическое описание, учитывающее изменение ширины и асимметрии пиков с увеличением энергии регистрируемых γ -квантов. Как было отмечено выше (гл. II), в нашей программе используется функция (1). При этом разложение может быть выполнено двумя способами: 1) с использованием метода наимень-

ших квадратов/15,16/ и 2) с помощью графических построений на экране осциллографа со световым карандашом/14/.

Рассмотрены методы амплитудной и энергетической калибровки (частично в приложении II), введение поправок на эффективность и сделаны некоторые замечания о физической интерпретации полученных данных/27/.

Основные результаты работ, вошедших в диссертацию, состоят в следующем:

1. Рассмотрены основные методы накопления и обработки многомерной информации. Сформулированы технические требования и предложена организационная структура комплекса устройств для автоматизированной обработки многомерной информации с регистраторов на магнитной ленте измерительного центра ЛНФ.

2. Разработан комплекс устройств для поканальной сортировки многомерных спектров, записанных на магнитной ленте.

3. На ЭВМ "Минск-2" введен новый режим, позволяющий использовать машину как быстродействующий двумерный анализатор с возможностью предварительного отбора информации методом цифровых "окон".

4. Создан быстродействующий автоматический микрофотометр, предназначенный для цифровой интерпретации спектров конверсионных электронов, полученных в магнитных β -спектрографах. Время сканирования одной спектрограммы (40000 точек) составляет 10-20 мин. Вывод результатов фотометрирования осуществляется непосредственно в ЭВМ "Минск-2".

5. Разработаны методика и программы предварительной и полной обработки спектров конверсионных электронов.

6. Впервые разработано входное устройство амплитудного анализатора на 8192 канала с системой стабилизации "нуля" и коэффициента усиления. В данном устройстве предусмотрены следующие режимы работы:

а) с линейной шкалой;

б) с кусочно-линейной шкалой;

в) с уменьшенным мертвым временем.

7. Проанализированы основные методики обработки гамма-спектров, а также обсуждена возможность их реализации на малых и средних ЭВМ. На основе проведенных исследований создан комплекс программ для предварительной и полной обработки гамма-спектров.

Проведенные исследования и разработанные устройства находят практическое применение в экспериментальных работах, проводимых на ИБРе ЛНФ и других физических установках лабораторий ОИЯИ.

Основная часть материалов диссертации докладывалась и обсуждалась на VII всесоюзной конференции по ядерной радиоэлектронике в Москве (1967 г.); на международных симпозиумах в Дрездене (1965 г.), Праге (1966 г.) и Алуште (1968 г.) и опубликованы в работах автора/1,4,5,10,13-18,23-26/.

Л и т е р а т у р а

1. А.А.Жаринов, Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, К.Р.Константинов, В.И.Приходько и др. Препринт ОИЯИ, БЗ-13-3818, 1968.
2. А.И.Барановский, В.А.Владимиров, Г.П.Жуков, Б.Е.Журавлев, В.И.Приходько и др. Материалы IV Симпозиума по ядерной радиоэлектронике. Прага октябрь 1966, 33.
3. Г.П.Жуков. Диссертация, ОИЯИ, Дубна, 1966.
4. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.
5. Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, В.И.Приходько. Препринт ОИЯИ 10-3780, Дубна, 1968.
6. Б.Е.Журавлев, Г.И.Забякин. ПТЭ, №2, 1966, 81.
7. В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Г.И.Забякин, З.В.Лысенко, В.И.Приходько и др. Препринт ОИЯИ, 10-3272, Дубна 1967.

8. З.В.Лысенко, Й.Томик, В.Р.Трубников. Препринт ОИЯИ, 10-3331, Дубна, 1967.
9. А.И.Барановский, В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, З.В.Лысенко, В.И.Приходько и др. Препринт ОИЯИ, 3406, Дубна, 1967.
10. Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, И.Звольски, З.В.Лысенко, В.И.Приходько. Препринт ОИЯИ, 10-4236, Дубна, 1968.
11. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, И.Звольски, З.В.Лысенко, В.И.Приходько и др. Препринт ОИЯИ, 13-4273, Дубна, 1969.
12. Н.Зайцева, И.Звольски, В.Приходько, З.Стахура, Я.Стычень, З.Шегловски. Доклад на XIX ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ереван, январь 1969.
13. Г.И.Забиякин, И.Звольски, В.И.Приходько, Й.Томик, В.Р.Трубников, В.И.Фоминных. Известия АН СССР, физ.серия, XXXI №20, 1601.
14. В.И.Приходько, Й.Томик, В.Р.Трубников, М.И.Фоминных. Материалы рабочего совещания по применению ЭВМ для автоматизации обработки экспериментальных данных, Дубна, октябрь 1967.
15. И.Звольски, Ю.М.Останевич, В.И.Приходько. Препринт ОИЯИ, 10-4220, Дубна, 1968.
16. И.Звольски, В.И.Приходько. Препринт ОИЯИ, 6-3517, Дубна, 1967.
17. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов, В.И.Приходько. Известия АН УзССР, физ.серия.
18. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Хоанг Зьонг Куан. Препринт ОИЯИ, P10-3754, Дубна, 1968.
19. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. III Symp. uber Kernelektron. ZfK-121, 5 (1966).
20. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2641, Дубна, 1968.
21. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, P-2707, Дубна, 1966.

22. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Б.В.Фефилов. Препринт ОИЯИ, P13-3246, Дубна, 1967.
23. Э.Г.Имаев, Ке Ен Сун, В.И.Приходько, А.М.Сухов, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, P13-3332, Дубна, 1967.
24. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, А.М.Сухов, В.Г.Тишин, Хоанг Зьонг Куан. Препринт ОИЯИ, P13-3911, Дубна, 1968.
25. Г.И.Забиякин, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Л.П.Челноков. Препринт ОИЯИ, P-2851, Дубна, 1966.
26. Г.И.Забиякин, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Л.П.Челноков. Материалы IV Симпозиума по ядерной радиоэлектронике, Прага, октябрь 1966, 367.
27. И.Звольски, Н.Ненов, В.И.Приходько и др. Доклад на XVIII ежегодном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Рига, январь 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 февраля 1969 года.