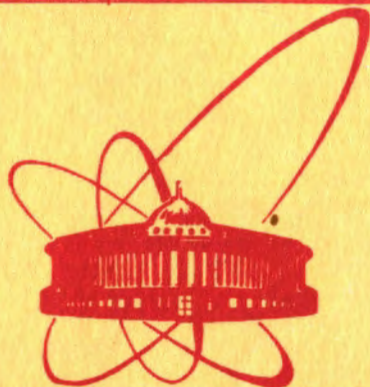


2826/2-80

23/VI-80



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P6-80-131

К.Я.Громов, Й.Звольски, В.М.Цупко-Ситников

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ,
НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
В ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*Направлено на "XXX Собрание по ядерной
спектроскопии и структуре атомного ядра"
/Ленинград, 1980 г./*

1980

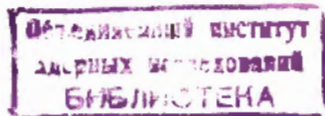
I. Введение

Начало исследований в области ядерной спектроскопии в ЛЯП ОИЯИ относится к 1955 году, когда было показано, что протонный пучок синхротронного ЛЯП (максимальная энергия протонов 680 МэВ) создает уникальные возможности для получения и исследования структуры ядер изотопов с большим недостатком нейтронов $^{1/I}$.

В период 1955–1965 гг. успешно развивались офф-лайн исследования ядер с периодами полураспада ($T_{1/2}$) от одного часа и более. В это же время было показано, что реакции с протонами с энергией 680 МэВ могут быть использованы для получения и исследования во внешнем пучке синхротрона изотопов с $T_{1/2}$ порядка минуты.

В указанный период экспериментальная база для исследований в области ядерной спектроскопии включала в себя хорошо развитую группу магнитных спектрометров и спектрографов для изучения спектров альфа-частиц, β^+ -излучения, конверсионных электронов и сцинтилляционные детекторы, позволявшие измерять спектры гамма-излучения, ставить эксперименты на совпадения, измерять время жизни возбужденных состояний ядра.

В принципиальных вопросах – по энергетическому разрешению, светосиле – магнитные приборы для измерения спектров заряженных частиц к тому времени достигли практически предельных параметров. Основные проблемы, связанные с этими приборами, заключались в повышении эффективности их использования за счет надежности и стабильности, автоматизации процессов измерения и съема информации для магнитных спектрометров с электронными методами регистрации излучения и автоматизации обработки спектрограмм, получаемых на оптических носителях для случая магнитных альфа- и бета-спектрографов.



Вследствие повышения требований к точности и большого объема информации, получаемой с этих приборов за счет насыщенности спектров линиями и высокой интенсивности исследований, была выдвинута задача автоматизации обработки спектров на базе строгого математического подхода и использования вычислительной техники.

Намного хуже обстояло дело с измерениями спектров рентгеновского и гамма-излучений. Реальное энергетическое разрешение сцинтилляционных гамма-спектрометров находилось на уровне (10-12)%, что явно не отвечало задачам изучения ядерного излучения. Это было одной из причин, сдерживавших развитие работ по изучению короткоживущих изотопов ($T_{1/2} = 1-20$ мин.). Использование для этих целей магнитных приборов и кристалл-дифракционных спектрометров связано со значительными техническими трудностями.

Положение резко изменилось после 1964 года, когда были разработаны полупроводниковые Ge (Li)-детекторы (ПЦД), позволившие создать гамма-спектрометры с энергетическим разрешением на уровне нескольких десятых долей процента.

Новые детекторы сделали доступными массовые измерения гамма-спектров с высоким энергетическим разрешением. Удельный вес гамма-измерений в ядерной спектроскопии резко возрос. Кроме того, началось быстрое внедрение ПЦД различного типа - кремниевых для альфа- и бета-спектрометрии, специальных рентгеновских детекторов для измерения мягкого гамма-излучения. Высокое разрешение ПЦД позволило поставить впервые или развить существенно на более высоком уровне целый ряд корреляционных измерений типа совпадений ($\gamma-\gamma$, $e-\gamma$) угловых корреляций ($\gamma-\gamma-\theta-(t)$, $e-\gamma-\theta$, $\beta-\gamma-\theta$) или измерений времен жизни возбужденных состояний ($\gamma-\gamma-t$), дающих ценную информацию о схемах распада радиоактивных ядер, квантовых характеристиках и природе возбужденных состояний атомных ядер.

На этом этапе возникло несколько задач:

а) создание электроники: от чувствительных малошумящих усилителей до многоканальных анализаторов, позволяющей реализовать высокое энергетическое разрешение ПЦД. Эта задача актуальна и до настоящего времени в связи с отсутствием или дефицитом ряда блоков промышленного производства;

б) создание централизованной системы накопления и обработки спектрометрической информации как единственной возможности

обеспечить на высоком уровне массовые измерения и массовую обработку данных;

в) разработка специализированных устройств для корреляционных измерений, представляющих собой системы многомерного анализа с регистрацией большого объема информации;

г) разработка специализированных автоматических устройств для снятия распределений поверхностной активности и обработки большого объема информации на оптических носителях (обработка спектрограмм, получаемых на ядерных пластинках в магнитных альфа- и бета-спектрографах, обработка радиограмм);

д) разработка аппаратуры, методов и программ анализа большого объема спектрометрической информации с использованием ЭВМ различного класса.

Реализация этой программы была начата в 1965-1966 годах и привела к созданию развитой многоуровневой системы накопления и обработки спектрометрической информации, используемой в ЛЯП ОИЯИ как для исследований в области ядерной спектроскопии, так и для ряда других задач.

Описываемая система базируется на оборудовании спектрометрического измерительного комплекса ЛЯП ^{1/2/} и вычислительного центра ОИЯИ (в ЛВТА). В её создании принимали участие специалисты ЛЯП, ЛФФ, ЛВТА ОИЯИ.

2. Структура систем

Блок-схема системы накопления и обработки информации в исследованиях по ядерной спектроскопии, ведущихся на базе синхротрона ЛЯП (программа ЯСНАПП-1/60*) представлена на рисунке.

Эти исследования имеют два взаимодополняющих направления: исследования долгоживущих изотопов (ДЖИ) ($T_{1/2} > 20$ мин.) и исследования короткоживущих изотопов (КЖИ) ($T_{1/2} \sim 1-20$ мин.).

Мишени для получения ДЖИ облучаются на внутреннем пучке синхротрона, для чего используется автоматизированный щуп - пробник, вводимый в камеру ускорителя без нарушения вакуума. После извлечения из камеры облученная мишень доставляется в полуто-

* ЯСНАПП-1 - ядерная спектроскопия на пучке протонов в офф-лайн и полу-он-лайн режимах.

рять радиохимическую лабораторию, где проходит специальную обработку. Образовавшиеся в мишени химические элементы отделяются от вещества мишени и разделяются по группам – химически чистым фракциям, представляющим собой смесь радиоактивных изотопов данного элемента /3/.

Затем фракция поступает в масс-сепаратор /4/, где происходит её разделение. Далее изотопные источники исследуются на аппаратуре комплекса для изучения ДДИ. Территориально этот комплекс вместе с радиохимической лабораторией и масс-сепаратором офф-лайн удален на 700 м от ускорителя и представляет собой лабораторию, располагающую измерительной и регистрирующей аппаратурой, связанной в систему на базе ЭВМ "Минск-2" и "Минск-22" /2/.

Исследования короткоживущих изотопов (КЖИ) в полу-он-лайн режиме ведутся по следующей схеме /60/: мишень облучается внешним протонным пучком ускорителя, автоматически сбрасывается в приемник пневмопочты и доставляется за 5+10с к масс-сепаратору /5/, расположенному в 70 м от ускорителя. Перед разделением на сепараторе возможна экспрессная химическая обработка /6/ мишени.

Приемные устройства сепаратора двух типов: а) ленточное /7/ (время переноса в вакууме 4+5 с) и б) шлюзовое (время извлечения из вакуума одна минута) – позволяют быстро доставлять сепарированные источники к детекторам измерительной аппаратуры. Регистрирующей аппаратурой этого комплекса являются многоканальные анализаторы и ЭВМ измерительного центра Лаборатории при синхротроне /2/.

Аппаратура всей системы имеет четыре уровня.

Первый уровень – детекторная аппаратура. Сюда относятся физические приборы, детекторы излучения и связанная с ними электроника преобразования и отбора аналоговых сигналов.

Второй уровень – аппаратура прямой регистрации и накопления спектрометрической информации – представлен многоканальными анализаторами разных типов и классов общим числом до 18 единиц. Большая часть многоканальных анализаторов (почти все анализаторы на 4096 каналов) имеет прямой выход на ЭВМ: "Минск-2", "Минск-22" и HP2116C, на которых осуществляется сбор, хранение, первичная и, в значительной степени, полная обработка спектрометрической информации.

В комплексе по изучению ДДИ этот уровень неоднороден по составу анализаторов, и их связи с ЭВМ "Минск-2" осуществлены по радиальному принципу через два внешних канала машины /8,9/. В комплексе по изучению КЖИ второй уровень представлен анализаторами типа АИ-4096, дополненными прецизионными АЦП на 4096 каналов /10/, которые соединены в систему /2/. Через буферное накопительное устройство АИ-4096 "периферийные" анализаторы имеют выход на ЭВМ HP-2116C, "Минск-2", "Минск-22" и накопитель с узкой магнитной лентой /11/.

Функции аппаратуры этого уровня достаточно однородны: с помощью нее в сочетании с полупроводниковыми или сцинтилляционными трактами (или их комбинациями в случае корреляционных измерений) формируются одномерные или многомерные энергетические и временные спектры. Кроме того, эти приборы в ряде случаев используются в мультискелерных режимах при работе с магнитными спектрометрами или сканирующими автоматами.

Опыт многолетней работы с анализаторами типа "TRIDAK" показал, что полезной является промежуточная запись спектров на ленту кассетного магнитофона /9/. Это позволяет равномерно загружать и более эффективно использовать аппаратуру третьего уровня – ЭВМ. Загруженность аппаратуры третьего уровня затрудняет частые сбросы информации с анализаторов, так как сброс во избежание потери или искажения информации всегда контролируется визуально через дисплей, что требует дополнительного времени.

Третий уровень представлен ЭВМ: "Минск-2", "Минск-22" и HP-2116C. Это машины разных поколений и возможностей. Однако добавление новых режимов, внешних устройств, связей и разработка специального программного обеспечения позволили в течение многих лет весьма эффективно использовать старые машины "Минск-2" и "Минск-22" как базу накопления и обработки спектрометрической информации.

Аппаратура этого уровня выполняет разнообразные функции:

1. Сбор и хранение информации, принимаемой от первичных накопителей – многоканальных анализаторов (АИ-4096, ICA-70, TRIDAK –С и др.).

2. Работа в линию с детекторной аппаратурой – прямое накопление экспериментальной информации в многомерных корреляционных измерениях ($Y-Y$, $Y-Y-\theta$, $Y-Y-t$, $e-Y$ и т.д.).

3. Работа в линии с автоматическими приборами.

4. Предварительная обработка спектрометрической информации с использованием осциллографа со световым карандашом (ОСК) и комплекса специальных программ.

5. Экспрессная автоматическая обработка информации.

6. Полная обработка сложных спектров (разложение мультиплетов, калибровка по энергии и интенсивности).

7. Передача данных на мощные ЭВМ (четвертый уровень) для полной обработки спектров и дальнейшего физического анализа информации.

Реализация функций 1, 2 и 3 обеспечивается связями с многоканальными анализаторами /8, 9, 12/, а также специальным математическим обеспечением /13/. В двух последних случаях созданы как специализированные устройства связи /8, 14/, обеспечивающие прием цифровой информации от групп АПП /10/, так и универсальные устройства в стандарте КАМАК /15/. Обязательным условием для выполнения этих функций является наличие графического дисплея у ЭВМ, позволяющего контролировать работу системы.

Выполнение задач 4, 5 и 6 обеспечивается наличием на машинах осциллографов со световым карандашом (ОСК) /16, 17/, осуществляющих наиболее оперативный контакт экспериментатора с ЭВМ при простейшей обработке спектров и разметке их для дальнейшей машинной обработки; комплекса дисплейных программ /13/, программ экспрессного автоматического анализа спектров /18/; программ обработки сложных участков спектров /19/; программ обработки информации многомерных измерений /20/, калибровочных программ /21/.

Передача данных на машины более высокого уровня из комплекса изучения ДЖИ осуществляется по линии связи "Минск-2" ("Минск-22") - БЭСМ-6 /22, 23/ или из комплекса изучения КЖИ - переносом магнитных лент с ЭВМ HP-2116С.

Четвертый уровень - машины, используемые для полной обработки спектрометрической информации и анализа полученных данных. Сюда входят БЭСМ-6 и СРС-6500 (ЛВТА ОИЯИ) и ЭВМ ICL-72/4 (измерительного центра пражских университетов). На БЭСМ-6 спектры и данные предварительной обработки передаются по линии связи или переносятся с помощью магнитной ленты. На СРС-6500 и ICL-72/4 информация переносится только посредством магнитной ленты.

3. Комплекс исследования долгоживущих изотопов (КДИИ)

Комплекс располагает следующими установками:

Группа магнитных приборов. Магнитный бета-спектрометр с двойной фокусировкой ($2\pi\sqrt{2}$), используемый как высокочувствительный бесфоновый прибор для прецизионных измерений спектров электронов конверсии и β^+ -излучения /24/. Прибор автоматизирован /25/. Поток информации небольшой, и данные выводятся на печать и перфоленту для последующей обработки на ЭВМ.

Три магнитных бета-спектрографа /26/ с постоянным магнитным полем и полукруговой фокусировкой. Используются для исследования спектров конверсионных электронов в диапазоне энергий (10-3300) кэВ. Информация регистрируется на пластинках с ядерной фотоэмульсией и представляет собой линейчатые спектры, получаемые с высоким энергетическим разрешением - до $0,02 + 0,04\%$. Благодаря этому, а также широкому энергетическому диапазону, отдельные спектрограммы содержат информацию, соответствующую 8+24 тысячам каналов. Для эффективного использования спектрографов разработан автоматический микрофотометр (АМФ), работающий на линии с ЭВМ /27, 28/. Это позволило сократить время обработки одной пластинки с десятков часов при ручном анализе до нескольких минут.

Прецизионный магнитный альфа-спектрограф /29/, используемый для изучения альфа-спектров. Бесфоновый высокочувствительный прибор, позволивший открыть тонкую структуру α -линий в области редкоземельных элементов. Альфа-частицы регистрируются на пластинках с ядерной эмульсией, располагаемых в фокальной плоскости прибора. Обработка пластин - подсчет под микроскопом альфа-треков одной экспозиции на четырех пластинках размером $9 \times 12 \text{ см}^2$ - трудоемкий и утомительный процесс. Для его автоматизации разработан автоматический телевизионный счетчик треков альфа-частиц (АТСАЧ) /30/. В приборе использовано аналоговое распознавание треков альфа-частиц в поле микроскопа путем анализа видеосигнала телевизионной системы, сопряженной с микроскопом. Вывод информации на цифровую печать и перфоленту.

Тороидальный безжелезный магнитный бета-спектрометр типа "Апельсин" (СТ-2) /31/. Используется для изучения спектров конверсионных электронов и сплошных β^+ -спектров распада ядер. На приборе осуществлен режим $e-\gamma$ совпадений, являющийся высокоэффективным методом исследования схем распада ядер. Информация

регистрируется на многоканальном анализаторе ICA-70, имеющем прямую связь с ЭВМ /32/.

Спектрометрия ядерного излучения на базе спектрометров с полупроводниковыми детекторами /33/. Из-за огромного объема информации, которую необходимо обрабатывать, спектрометрия с ПЦД может быть успешной лишь при максимальной автоматизации процессов переноса данных и всех этапов обработки. С этой целью многоканальные анализаторы, применяемые для массовых измерений с ПЦД, имеют прямую связь с ЭВМ "Минск-2", которая используется для сбора информации и её хранения на магнитных лентах, экспрессной обработки спектров, предварительной и полной обработки ЭВМ спектрометрической информации. В свою очередь эта машина имеет прямую связь с ЭВМ БЭСМ-6 ИЦ ОИЯИ /22/, на которой осуществляется по результатам предварительной обработки на "Минск-2" полная обработка спектров с использованием развитых программных систем /34/ или обработка переданных спектров полностью автоматизированными программами /35/.

Прецизионная спектрометрия с использованием ПЦД базируется на многоканальных анализаторах типа DIDAK и TRIDAK. Предварительное накопление информации (сброс спектров после измерения) осуществляется на базе кассетных магнитофонов этих анализаторов. Затем вся информация передается на "Минск-2", где переписывается на магнитные ленты для длительного хранения и обработки. Анализ спектров осуществляется системой ЭВМ "Минск-2" - "Минск-22". Подробно вопросы прецизионной спектрометрии освещены в обзоре Вилова и др. /36/.

Значительный объем измерений с ПЦД обусловлен радиохимическими исследованиями. Особенностью этих измерений, связанных с обработкой радиохимической методики обработки ускорительных мишеней с целью выделения нужных групп химически чистых радиоактивных элементов, является снятие последовательных серий гамма-спектров с интервалами от одной до десятков минут. В отдельных опытах серии состоят из многих десятков спектров, которые затем должны быть проанализированы количественно для определения состава и динамики радиоактивных компонент измеряемых источников. Эти измерения базируются на анализаторе АИ-4096 с АЦП, разработанным в ОИЯИ /37/.

После накопления спектры передаются на "Минск-2". Обработка ведется с помощью экспрессной программы ЭПОС /18/, которая

автоматически находит положения и интенсивности гамма-линий. Анализ одного гамма-спектра (4096 каналов, порядка 100 пиков) занимает 1-2 мин. Благодаря экспрессности анализа измерения и обработка могут вестись одновременно.

На базе многоходового анализатора АИ-8000 /38/ с помощью полупроводниковых спектрометров ведутся систематические исследования радиоактивности внешней среды в районе ОИЯИ /39/.

Установки для корреляционных измерений

Для проведения корреляционных измерений создан ряд установок. Наиболее эффективной формой корреляционных измерений является многомерный анализ, позволяющий в одном эксперименте регистрировать корреляции данного типа ($e-\gamma$, $\gamma-\gamma$, $\gamma-\gamma-t$, $\gamma-\gamma-\theta-t$) для всех возможных значений каждого из параметров. Однако постановка таких измерений в полном объеме требует использования достаточно совершенных ЭВМ с развитым набором внешних устройств. В ряде случаев можно ограничиться только частью значений некоторых параметров и тогда требования к регистрирующей аппаратуре могут быть существенно снижены. На базе ЭВМ "Минск-2" была развита система многомерного анализа /40,41/ с использованием методов выборочной регистрации (цифровые окна) /42/ и сжатия информации /43/. В ряде случаев корреляционные установки по измерению $\beta-\gamma$ и $\gamma-\gamma$ возмущенных угловых корреляций /44/ из-за недостатка времени на ЭВМ работают в более ограниченном режиме с регистрацией информации на многоканальных анализаторах. К таким установкам относятся также двойной магнитно-линзовый бета-спектрометр для измерения времен жизни возбужденных состояний ядер /45/ и установка $e-\gamma$ задержанных совпадений на базе магнитно-линзового спектрометра и $Ge(Li)$ -детектора /46/.

К корреляционным системам относится и установка "СПИН", на которой исследуется угловое распределение излучения радиоактивных ядер, ориентированных в магнитном поле при сверхнизких температурах ($\sim 10\text{мК}$) /47/. Установка включает криогенную систему и измерительный модуль, состоящий из ПЦД (под углами 0 и 90° к направлению поля), спектрометрической электроники и многоканальных анализаторов типа ICA-70, связанных 300-метровой линией с ЭВМ "Минск-2" /32/, на которую передается большой объем информации (200-300 спектров за эксперимент).

В процессе эксперимента эта информация выборочно обрабатывается (контроль, термометрия) на ЭВМ. Для полной обработки данные по линии связи передаются на БЭСМ-6, около 40% информации на магнитных лентах переносится для обработки на ЭВМ ICL -72/4 в Прагу. На БЭСМ-6 и ICL -72/4 имеется идентичная система программ обработки серий спектров и последующего анализа данных /34,48/.

В ряде задач, в частности, при поиске сверхплотных ядер по возможности для них аномальному дефекту массы, необходимо знать распределение по массам продуктов сепарации мишеней, облученных на ускорителях высоких энергий. Поскольку поиск должен вестись в широком диапазоне масс (несколько десятков массовых единиц), подходящим методом является снятие распределения бета-активности продуктов разделения на ленте приемного устройства масс-сепаратора. Для решения этой задачи были разработаны две системы: одноканальный последовательный сканер ("ОСИР - β -акт." - на блок-схеме) на базе автоматического микрофотометра /27/, в котором лента с активностью перемещается относительно заколдированного бета-счетчика /49/, и многоканальная система с параллельным просмотром всей ленты 120 счетчиками ("МИР - β -акт." - на блок-схеме) /50/. Последовательный сканер является универсальным автоматом для снятия распределения бета-активности на поверхности (рабочее поле $400 \times 100 \text{ мм}^2$), однако имеет определенные ограничения при работе с короткоживущими изотопами, так как является одноканальным прибором. Многоканальная система, являясь специализированной, имеет существенно более высокую чувствительность за счет расположения счетчиков вплотную к измеряемой поверхности и лучшее пространственное разрешение благодаря оригинальному конструктивному решению узла приемника изотопов масс-сепаратора /50/.

4. Комплекс исследования короткоживущих изотопов (КИКЖИ)

Особенностью изучения короткоживущих изотопов является необходимость соблюдения правила: три величины - время жизни ($T_{1/2}$) изотопа, время облучения мишени (T_0) и время измерения ($T_{из}$) - должны быть одного порядка. Если $T_0 \gg T_{1/2}$, то это не дает выигрыша в накоплении нужной активности из-за распада, но увеличивает фон от долгоживущих изотопов. Измерения в течение $T_{из} \gg T_{1/2}$ не дают увеличения статистики.

При малых сечениях образования удаленных от полосы бета-стабильности изотопов достаточную статистику можно получить, лишь накапливая информацию нескольких последовательных серий измерений, то есть многократно повторяя цикл: облучение - разделение - измерение. Большую часть магнитных спектрометров и спектрографов сложно использовать в таком режиме при $T_{1/2} \leq 20$ мин без создания для них специальных он-лайн систем на пучках ионов масс-сепаратора.

Поэтому в исследованиях КЖИ основной упор делался на полупроводниковые детекторы и комбинации ПЦД и сцинтилляционных детекторов в корреляционных измерениях.

Помимо обычных требований к ПЦД и регистрирующей аппаратуре, таких как высокая эффективность, разрешение (энергетическое и временное), стабильность, а также наличие набора детекторов для широкого энергетического диапазона: рентгеновского и гамма-излучения, а также бета- и альфа-детекторов, специальными условиями для исследований КЖИ являются следующие:

- а) высокие нагрузочные характеристики спектрометрических трактов и стабильность их работы при резко изменяющихся интенсивностях вследствие малого периода полураспада;
- б) высокий уровень автоматизации эксперимента, обеспечивающий проведение нескольких измерений одновременно, быстрая передача полученной в данной серии измерений информации на накопитель с большой емкостью памяти (магнитные ленты или диски);
- в) возможность проведения многомерных корреляционных измерений, позволяющих получать максимум информации в одном измерении;
- г) наличие автоматических экспрессных программ обработки спектров, позволяющих за десятки секунд оценить полученные данные и при необходимости внести коррективы в условия эксперимента и режимы работы аппаратуры.

Ряд вопросов, связанных с исследованием КЖИ, а также с аппаратурой первого (детекторного) уровня и обработкой информации, рассмотрен в работе /52/. В работах /53,54/ описано состояние измерительного комплекса на раннем этапе его развития. Ниже дается краткое описание аппаратуры комплекса.

Прецизионная спектрометрия сигналов от ПЦД - амплитудный и временной (в случае многомерных измерений) анализ - обеспечивается высококачественными трактами /51/ и АЦП /10,52/, разработанными в ЛЯП.

Для регистрации с помощью ПЦД α -, β -, γ - и R -спектров используется группа из 6 многоканальных анализаторов типа АИ-4096, соединенных в систему. Через входной коммутатор спектрометрические тракты могут быть подсоединены к любой из 6 анализаторных стоек. Одна из стоек — центральная — обычно используется как буфер, в который может быть сброшена информация из остальных анализаторов. Эта стойка имеет вывод информации на магнитофон с узкой (7 мм) лентой, который используется как накопитель, вывод на цифрпечать и прямую связь с ЭВМ "Минск-2", "Минск-22" и НР-2И16С.

Для задания начальных приближений при обработке спектров на ЭВМ центральная стойка группы АИ-4096 дополнена осциллографом со световым карандашом^{/55/}. На ранних этапах развития комплекса обработка информации велась на ЭВМ "Минск-2" или "Минск-22", куда спектры передавались по линии связи или, главным образом, путем переноса узкой магнитной ленты (на "Минск-2" имеется соответствующий магнитофон и канал ввода информации).

В дальнейшем с появлением ЭВМ НР-2И16С информация передается в основном на нее. С помощью этой машины осуществляется предварительная обработка спектров и частично их полная обработка. Значительная часть информации на магнитных лентах переносится на мощные машины: СРС-1600, СРС-6500 и БЭСМ-6, где обрабатывается системой развитых программ анализа сложных спектров^{/34, 40/}.

Корреляционные измерения ведутся на нескольких установках. Эффективным методом исследования схем распада являются измерения γ - γ совпадений. Установки этого типа претерпели развитие от сравнительно простых систем с аналоговыми и цифровыми окнами, основанных на регистрации информации в многоканальных анализаторах и ЭВМ^{/56, 57/}, до высокоэффективной системы трехмерного анализа типа $(\gamma-\gamma-t)$ с полной записью всей трехмерной матрицы объемом 4096x4096x4096 каналов ЭВМ НР-2И16С на магнитную ленту^{/58/}.

Последняя система базируется на ПЦД с однородными временными характеристиками сигналов и использует достижения в развитии электронной техники точной временной привязки к этим сигналам^{/51/}. В результате одна установка за одно измерение позволяет получать информацию о γ - γ совпадениях и снимать временные распределения

между γ -квантами, что дает информацию о времени жизни возбужденных состояний.

В процессе создания и эксплуатации этой установки были разработаны эффективные методы быстрой сортировки многомерной информации^{/20/}, без которых затраты времени на обработку намного превышали время эксперимента и существенно снижали общую эффективность системы. Успех в создании системы трехмерного анализа γ - γ совпадений, помимо высокого качества детекторов и спектрометрической электроники, в значительной степени обусловлен возможностями ЭВМ и связанных с ней внешних устройств.

Память в 32 К, наличие накопителей на магнитных дисках и лентах позволяют оптимизировать процессы накопления и сортировки информации. Алфавитно-цифровой и графический дисплей в сочетании с развитым программным обеспечением для диалогового режима работы обеспечивают удобный и надежный контроль и управление экспериментом^{/58/}.

Постановка исследований угловых корреляций ядерного излучения короткоживущих изотопов, в том числе на пучках ионов от масс-сепаратора, должна отличаться от аналогичных исследований для долгоживущих изотопов. Создаются установки с большим числом детекторов, окружающих источник ядерного излучения. Полезная информация регистрируется несколькими парами детекторов, и соответственно сокращается время, необходимое для набора статистики. Так, четырехдетекторная установка в сравнении с двухдетекторной дает выигрыш в шесть раз, а семидетекторная — в 21 раз.

При этом, однако, усложняется аппаратура отбора полезной информации и для её регистрации уже требуется вычислительная машина с достаточным объемом оперативной и внешней памяти. Осложняющим моментом является и необходимость унификации (программным путем) всех спектрометрических трактов, чтобы можно было суммировать информацию, получаемую аналогичными парами детекторов. Для эффективного использования установки подобного рода важно оптимизировать и максимально автоматизировать процессы накопления и сортировки информации.

Аналоговая часть электроники четырехдетекторной установки^{/59/} собрана из таких же стандартных блоков, как и электроника системы γ - γ - t анализа^{/58/}. Цифровая часть, включая АЦП и систему связи с ЭВМ, разработана в стандарте КАМАК. В дальнейшем предлагается развить систему до семидетекторного варианта и использовать ее на пучках ионов масс-сепаратора (программы ЯСНАПП-2).

5. Заключение

Описанная система начала создаваться и эксплуатироваться с 1965 года. Процесс развития шел по пути наращивания уровней, расширения объема оборудования на каждом из них, совершенствования связей между уровнями, развития программного обеспечения. В настоящее время ведутся работы по внедрению новой вычислительной техники.

К 1970 году сложилась система, включающая три первых уровня, которая позволила полностью перестроить весь процесс накопления и обработки спектрометрической информации. Перестройка была основана на трех факторах: возможности переноса информации с анализаторов на ЭВМ по линии связи или через магнитную ленту, подключении к ЭВМ ОСК с комплексом программ /13/, обеспечивающих оперативный контакт человек - машина, постановке на ЭВМ хорошо зарекомендовавшей себя программы "КАТОК" /19/ для разложения на компоненты сложных участков спектра.

Связи анализаторов с ЭВМ исключили необходимость вычерчивать спектры для обработки и переносить их на машину таким неэффективным способом, как пробивка перфокарт или перфоленты.

Наличие ОСК позволило автоматизировать трудоемкий процесс разметки спектров с целью задания начальных приближений и границ участков - входной информации, необходимой для работы программы декомпозиции мультиплетов спектральных линий.

Разметка спектра (4096 каналов, порядка 100 линий) с помощью ОСК перед обработкой занимает у опытного оператора несколько десятков минут. Размеченные участки автоматически формируются программой в нужном формате и записываются на магнитную ленту. После разметки запускается программа, которая последовательно выбирает участки, обрабатывает их и результаты выводит на печать и перфоленту.

Таким образом, впервые в ОИЯИ и странах-участницах был создан комплекс, обеспечивающий массовую автоматизированную обработку спектрометрической информации, начиная с процесса её накопления и сбора и кончая точным определением параметров линий сложных мультиплетов.

За восемь лет было обработано около 4000 спектров, в которых содержалось более 100000 сложных участков. Было открыто свыше 400 новых переходов, установлено около 100 уровней; по

этим данным построены десятки схем распада, проведена систематика свойств сферических и переходных ядер в области $Z \sim 40$ и $N \sim 50$ (сферические), $Z > 50$ и $N < 82$, $Z = 81$ и $N < 116$, $Z = 84+87$ и $N < 126$ /60/, а также деформированных ядер редкоземельных элементов для $150 < A < 190$ /61/.

На базе этой системы была развита техника прецизионной α -, β -, γ -спектрометрии с ПЩ, создана система нормалей для калибровки спектров по энергии и интенсивности /36/, подготовлен к изданию атлас спектров более 180 нуклидов.

Подключение в систему четвертого уровня позволило поставить обработку на более высокую ступень за счет создания и использования высокоэффективных программ. Только на БЭСМ-6 системой программ "SIMP" /34/ было обработано за 1974-1976 годы более 1500 спектров при исследовании высокоспиновых возбужденных состояний, возникающих при захвате отрицательных пи-мезонов ядрами /62/. Свыше тысячи спектров, полученных на установке "СПИИ", обработано на этой машине за последние два года /47/.

На корреляционных установках проведены сотни многомерных измерений, позволивших получить обширную информацию о γ - γ и e - γ совпадениях, γ - γ и e - γ угловых корреляциях и времени жизни возбужденных состояний.

Использование программы экспрессного анализа позволило провести широкие радиохимические исследования, в процессе которых было измерено и в автоматическом режиме обработано более 9000 гамма-спектров.

Автоматизация фотометрирования спектрограмм позволила в сотни раз ускорить трудоемкий процесс обработки спектров конверсионных электронов и поставить его на твердую количественную основу. За семь лет было обработано с помощью АМФ более 500 пластинок-спектрограмм, разработана методика измерений и анализа спектров, получаемых на спектрографах, получена обширная информация о конверсии для многих десятков радиоактивных изотопов.

Таким образом, благодаря комплексному подходу, включающему разработку спектрометрической электроники и автоматических устройств, созданию установок многомерного анализа, связям между аппаратурой разных уровней и разработке программного обеспечения была создана многоуровневая система накопления и обработки спектрометрической информации. Эта система, благодаря развитию

36. Вьлов И., Осипенко Б.И., Чумин В.И. ЭЧАЯ, 1977, т.9, вып.6, с.1350.
37. Приходько В.И., Тилин В.Г. ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.
38. Зайдлер Э. и др. ОИЯИ, 10-7074, Дубна, 1973.
39. Аленишвили С.И. и др. ОИЯИ, 16-10339, Дубна, 1977.
40. Вьлов И. и др. ОИЯИ, 10-7034, Дубна, 1973.
41. Аликов Б.А. и др. ПТЭ, 1977, № 3, с.57.
42. Орманджиев С.И. и др. ПТЭ, 1976, №1, с.6.
43. Громов К.Я. и др. ПТЭ, 1974, № 4, с.64; ОИЯИ, Р6-7355, Дубна, 1973.
44. Будачински М. и др. ОИЯИ, Р6-12597, Дубна, 1979.
45. Аликов Б.А. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып.7, М., Атомиздат, 1977, с.74.
46. Аликов Б.А. и др. ПТЭ, 1977, № 5, с.49.
47. Громова И.И. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия, вып.9, М., Атомиздат, 1979, с.3; ОИЯИ, Р13-11363, Дубна, 1978.
48. Аврамов С.Р. и др. В кн.: Программа и тезисы докладов XXVII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л., "Наука", 1977, с.368.
49. Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, 13-11576, Дубна, 1978.
50. Карнаухов В.А., Кузнецов В.Д., Петров Л.А. ОИЯИ, 13-12211, Дубна, 1979.
51. Akimov Yu.K. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1972, vol.104, p.581.
52. Андерт К. и др. ОИЯИ, Р6-8564, Дубна, 1975.
53. Медведь С.В. и др. ПТЭ, 1970, № 4, с.109.
54. Арльт Р. и др. ОИЯИ, Р6-3773, Дубна, 1968.
55. Медведь С.В. и др. ОИЯИ, 10-5929, Дубна, 1971.
56. Медведь С.В. и др. ОИЯИ, 10-6884, Дубна, 1973.
57. Арльт Р. и др. ОИЯИ, Р10-7723, Дубна, 1974.
58. Гонусек М. и др. ОИЯИ, 13-12422, Дубна, 1979.
59. Лизурей Г.Р. и др. Материалы Всесоюзной научно-технической конференции "Автоматизация экспериментальных исследований", Куйбышев, 1978, с.193.
60. Арльт Р. и др. ЭЧАЯ, 1974, т.5, вып.4, с.844.
61. Громов К.Я. и др. ЭЧАЯ, 1975, т.6, вып.4, с.971.
62. Avramov S.R. et al. The IV International Conference of High Energy Physics and Nucl. Structure, Santa Fe, New Mexico, 1975 (190).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 февраля 1980 года.