

18-83-469

ЧЕРНЕНКО
Сергей Павлович

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
НА ОСНОВЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР
ДЛЯ РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОГО
И РАДИОИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА

Специальность: 01.04.01 — экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор технических наук
старший научный сотрудник

Юрий Вацлавович
ЗАНЕВСКИЙ

кандидат физико-математических наук

Владимир Дмитриевич
ПШЕХОНОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Юрий Константинович
АКИМОВ

кандидат физико-математических наук

Эмиль Львович
ЛУБЕ

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова АН СССР.

Защита диссертации состоится "___" _____ 198 г. в _____ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1983 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета

Л.И. Чагар

М.Ф. ЛИХАЧЕВ

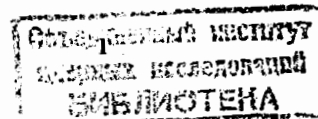
Актуальность. Методические достижения экспериментальной физики играют важную роль в развитии смежных областей науки. В настоящее время следует выделить применение широко используемых в экспериментах на ускорителях многопроволочных пропорциональных камер (МПК) для решения медико-биологических проблем. Эта тенденция обусловлена как дальнейшим развитием методики МПК, так и прогрессом в области ядерной электроники и вычислительной техники. Одним из наиболее успешных применений данной методики за пределами экспериментальной физики высоких энергий являются рентгеноструктурные исследования монокристаллов белков. Многообещающие результаты получены при использовании базирующихся на МПК детекторов в молекулярной биологии для цифровой автордиографии тонкослойных радиохромограмм, содержащих β^- -излучающие изотопы, и в ряде других случаев.

Характерные для исследуемых объектов радиационная нестойкость, относительно низкая интенсивность полезного излучения в присутствии сильного фона, большой объем регистрируемой информации выдвигают на первый план задачу сокращения времени экспозиции и дозы. Традиционные детекторы, такие как рентгеновская пленка и одноканальные счетчики, не позволяют в силу собственных им ограничений осуществлять регистрацию данных с большой исследуемой площади при требуемой чувствительности. Детектирующие установки на основе МПК обеспечивают двухкоординатную регистрацию ионизирующего излучения с высокими эффективностью и быстродействием, обладают большим числом элементов пространственного разрешения и способностью дискриминировать внешний фон, имеют малые шумы. Вследствие указанных особенностей подобные устройства дают возможность не только сократить продолжительность эксперимента, но и одновременно уменьшить дозу, поднять уровень автоматизации и точность исследований. Поэтому задача разработки и внедрения в медико-биологические исследования координатных детекторов, созданных на основе МПК, является, несомненно, актуальной.

Цель работ, составивших диссертацию, заключалась в совершенствовании методики и разработке высокопроизводительных автоматизированных координатных детекторов, созданных на базе МПК, а также внедрении их в рентгеноструктурные и радиоизотопные исследования с тем, чтобы радикально решить проблему сокращения времени экспозиции.

Научная новизна. Выявлены современные тенденции и обоснованы преимущества применения методики пропорциональных камер для решения прикладных задач. В соответствии с предложенной структурной схемой проанализированы параметры базирующихся на МПК координатных детекторов.

Для разработанных детектирующих установок сформулированы требо-



вания к главным параметрам, непосредственно определяющим длительность времени экспозиции, получаемую объектом дозу и точность измерений.

Найдены рациональные схемные и архитектурные решения, использование которых позволило создать не имеющий прямых аналогов комплекс аппаратуры регистрации и обработки данных с МПК с линиями задержки (ЛЗ), превосходящий по совокупности характеристик известные разработки подобного назначения.

При создании рентгеновского детектора АРД-I предложены новые методические и технические решения, состоящие в оптимизации характеристик и оригинальности исполнения МПК и аппаратуры регистрации, реализация которых дала возможность получить наивысшую по сравнению с аналогичными устройствами производительность. Впервые достигнуто сокращение времени рентгеноструктурного эксперимента с монокристаллами белков более чем в 50 раз при соответствующем уменьшении дозы облучения.

Предложена и исследована новая, созданная на базе оригинального устройства (а.с. № 624162), высокочувствительная методика автоматизированного неразрушающего анализа β^- -активных тонкослойных радиохроматограмм (цифровая автордиография). Предложен способ повышения точности локализации радиоактивных зон, изотропно излучающих длиннопробежные β^- -частицы. Получено сокращение требуемого времени экспозиции почти на 2 порядка.

Практическая ценность работы заключается в успешном внедрении современных достижений экспериментальных методов физики высоких энергий в смежные области научных исследований.

Детектор АРД-I является базовым элементом разрабатываемых координатных дифрактометров, предназначенных для рентгеноструктурных исследований макромолекул. В Институте кристаллографии АН СССР на дифрактометре КАРД-3, созданном на основе данного детектора, завершены съемки 13 белковых монокристаллов, в том числе радиационно нестойких и с максимальным периодом решетки $\sim 120 \text{ \AA}$ ^{18,9/}.

Созданная установка УРАН-2, осуществляющая неразрушающий высокочувствительный анализ радиохроматограмм, используется для исследований в Институте молекулярной биологии АН СССР /11,15/.

Разработанная аппаратура, методика ее создания и исследования, а также накопленный опыт эксплуатации применимы для решения широкого круга фундаментальных и прикладных задач.

Апробация работы. Результаты проведенной работы докладывались на III Международном совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978), IV Совещании по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач

(Дубна, 1981), Конференции по проволочным камерам (Вена, 1980), XI Всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ (Новосибирск, 1981).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем - 133 страницы машинописного текста (включая 6 таблиц), 60 рисунков и библиографический список литературы, содержащий 158 наименований.

Автор защищает:

1. Разработку методики создания и исследования аппаратурной базы высокопроизводительных детектирующих установок на основе МПК с ЛЗ. Оригинальные методические и технические решения, реализованные при создании и внедрении автоматизированных координатных детекторов.

2. Разработку и результаты исследования рентгеновского детектора АРД-I, предназначенного для рентгеноструктурного анализа монокристаллов макромолекул; достижение на основе применения данного устройства 50-кратного сокращения времени эксперимента при соответствующем уменьшении дозы.

3. Исследование и практическую реализацию новой высокочувствительной методики неразрушающего анализа β^- -активных тонкослойных радиохроматограмм. Создание и исследование установки УРАН-2 и осуществление с ее помощью сокращения времени обработки радиохроматограмм, содержащих изотопы ^3H , ^{14}C , ^{32}P , на 2 порядка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность внедрения методики МПК в рентгеноструктурные и радиоизотопные исследования биологических объектов. Сформулирована цель работы, отмечена ее новизна и практическая ценность, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава, обзорная, посвящена анализу тенденций применения методики МПК для рентгеноструктурных и радиоизотопных исследований в медицине и биологии. Рассмотрены преимущества использования детекторов на основе пропорциональных камер в рентгеновской дифрактометрии, рентгенодиагностике, ядерной медицине, радиохроматографии. Основное внимание обращено на факторы, обеспечивающие принципиальные возможности одновременного существенного сокращения времени экспозиции и дозы облучения. Сформулированы главные требования к детекторам и отмечены преимущества МПК по сравнению с традиционными методиками. Обсуждены различные типы конструкций детектирующих устройств, методы считывания информации и особенности математического обеспечения.

Систематизированы основные характеристики применяемых систем сбора и обработки данных. Кратко рассмотрены перспективы дальнейшего применения методики МПК в микто-биологических исследованиях.

Вторая глава посвящена теоретическому анализу параметров рассматриваемых детектирующих устройств. Исследования проведены на базе обобщенной структурной схемы автоматизированного координатного детектора, предложенной на основании материалов главы I. В качестве главных узлов выделены: (1) МПК, аппаратура (2) регистрации и (3) обработки данных, (4) запоминающее устройство, (5) графический дисплей, (6) управляющая малая ЭВМ. Кратко рассмотрены физические принципы работы МПК - базового элемента детектирующего устройства.

Дан анализ чувствительности, пространственного разрешения и скорости действия - важнейших параметров, определяющих способность детектора измерять пространственно-временные характеристики потоков ионизирующего излучения и непосредственно влияющих на длительность времени экспозиции и величину получаемой объектом изучения радиационной дозы. При оценке параметров учтены следующие факторы: процессы детектирования ионизирующего излучения в веществе камеры, эффективность и шум МПК, геометрия эксперимента, внешний фон, временное и пространственное разрешения, присущие используемому методу считывания данных, мертвое время аппаратуры кодирования и предельная скорость записи информации в запоминающее устройство.

Далее рассмотрены возможности применения ЭВМ для повышения полноты извлечения информации из накопленных данных посредством цифровой обработки изображений. Характерной и общей особенностью двумерных детекторов на основе МПК является большое число элементов пространственного разрешения, а значит, и требуемых элементов дискретизации. В связи с этим проведена классификация методов цифровой обработки, в основу которой положена оценка необходимых времени вычисления и памяти ЭВМ. Отмечена целесообразность применения ряда процедур реставрации и улучшения интерпретации изображения.

Рассмотрены факторы, определяющие предельную информативность телевизионных графических дисплеев; отмечены преимущества использования цветовой шкалы.

Результаты проведенного анализа использованы при разработке и исследовании электронной аппаратуры и автоматизированных детекторов, описываемых в последующих главах.

В третьей главе изложены вопросы разработки электронной аппаратуры, предназначенной для регистрации и обработки информации с МПК с ЛЗ, и приведено описание стенда для исследования двухкоординатных детекторов.

Главным преимуществом метода считывания информации с помощью ЛЗ

является минимизация числа регистрирующих каналов^{1/}. Для весьма широкого круга задач основная проблема состоит при этом в обеспечении желаемого компромисса между требуемыми пространственным разрешением (~ 1 мм) и скоростью набора данных (сотни кГц).

Стремление достичь высокого быстродействия обусловило применение в созданных координатных детекторах разработанной быстрой электромагнитной спиральной ЛЗ с погонной задержкой $\tau \approx (1,5 + 2) \text{нс} \cdot \text{мм}^{-1}$. Сигналы снимались с ЛЗ с помощью относительно простых усилителей и дискриминаторов, производящих "привязку" координатной информации к вершине индуцированных на катодных плоскостях импульсов^{2/}. Для получения высокого пространственного разрешения данные считывались с двух концов ЛЗ. Спектр длительностей измеряемых интервалов при этом увеличивается в два раза, что требует принятия специальных мер по устранению просчетов вследствие возрастания времени кодирования времяцифровых преобразователей.

Разработанная система электронных блоков содержит: 1) временной процессор, осуществляющий параллельно с кодированием отбор событий, для которых в каждом регистрирующем тракте за время разрешения детектора регистрировался один и только один импульс, и производящий при больших нагрузках переключение сигналов с ЛЗ на один из двух свободных кодировщиков; 2) времяцифровой преобразователь, работающий по принципу интерполяции периода опорной частоты с шагом 2 нс; 3) генератор сфазированной со стартовым импульсом тактовой серии 125 МГц; 4) быструю разравнивающую память; 5) арифметическо-логическое устройство с временем выполнения инструкции 0,2 мкс^{2/}.

Следующие особенности системы обусловили эффективность ее применения: а) ориентация на съем сигналов с двух концов ЛЗ; б) использование полностью цифрового способа кодирования; в) наличие скоростной магистрали передачи информации и сигнала быстрого сброса; г) совмещение во времени различных этапов обработки нескольких событий.

Основные характеристики системы: точность измерения интервалов времени 1 нс, предельная скорость обработки данных до 1 МГц, мертвое время системы практически равно нулю, неоднородность ширины канала дискретизации $\approx 1\%$, интегральная нелинейность отсутствует.

Указанная система блоков послужила базой для создания ряда автоматизированных координатных детекторов для прикладных исследований.

Завершающей стадией разработки детектирующего устройства является комплексное изучение его характеристик. Рассмотрены вопросы реализации аппаратных и программных средств созданного на базе мини-ЭВМ ЕС-1010 стенда для исследований параметров двухкоординатных детекто-

^{2/} Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, I3-80-414, Дубна, 1980.

ров. Накопленная и обработанная информация выводится на экран телевизионного графического дисплея, позволяющего отобразить 512×512 точек и 2^8 цветов.

Четвертая глава диссертации посвящена вопросам разработки, исследования и внедрения в эксперимент автоматизированного детектора АРД-I, предназначенного для регистрации двумерной рентгеновской дифракционной картины. Основная цель работы – решение проблемы резкого сокращения времени эксперимента и дозы облучения при структурных исследованиях монокристаллов макромолекул с максимальным периодом решетки $100+200 \text{ \AA}^{3/4}$. Только в этом случае задача точного измерения интенсивности чрезвычайно большого числа отражений становится практически осуществимой. Принципиальная возможность решения проблемы заключается в параллельной регистрации множества дифрагированных пучков, возникающих в каждом положении кристалла, в связи с чем весьма успешным оказывается применение методики МПК. В детекторе АРД-I использована плоская МПК с катодными ЛЗ^{4/}. Главное достоинство такого подхода – возможность совместить высокую производительность устройства с надежностью и гибкостью изменения показателей съемки*. Однако при этом потребовалось оптимизировать характеристики детектора и по-новому решить ряд вопросов.

Теоретически проанализированы параметры детекторов рассматриваемого типа. Особое внимание уделено оценкам эффективности регистрации и числу элементов пространственного разрешения – характеристикам, определяющим степень одновременного уменьшения и времени экспозиции, и дозы. Получены выражения, связывающие предельно доступные для исследования параметры кристаллов с пространственными характеристиками детектора. Отмечено, что предельная скорость счета, влияющая только на длительность времени эксперимента, должна, с одной стороны, не ограничивать мощности используемого источника излучения, с другой – соответствовать быстродействию запоминающего устройства. Рассмотрены также факторы, влияющие на точность измерения интенсивности пучков и стабильность параметров аппаратуры. На основании результатов анализа сделан вывод, что для успешного решения проблемы основные усилия должны быть направлены на достижение большого числа элементов пространственного разрешения при условии обеспечения высокой эффективности регистрации и оптимального быстродействия.

Далее рассматриваются вопросы разработки узлов детектора АРД-I, блок-схема которого представлена на рис. 1^{5/}. Установка состоит из

* Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Черненко С.П. Автоматизированные координатные детекторы рентгеновского излучения на основе пропорциональных камер (обзор). ОИЯИ, РГ4-82-591, Дубна, 1982.

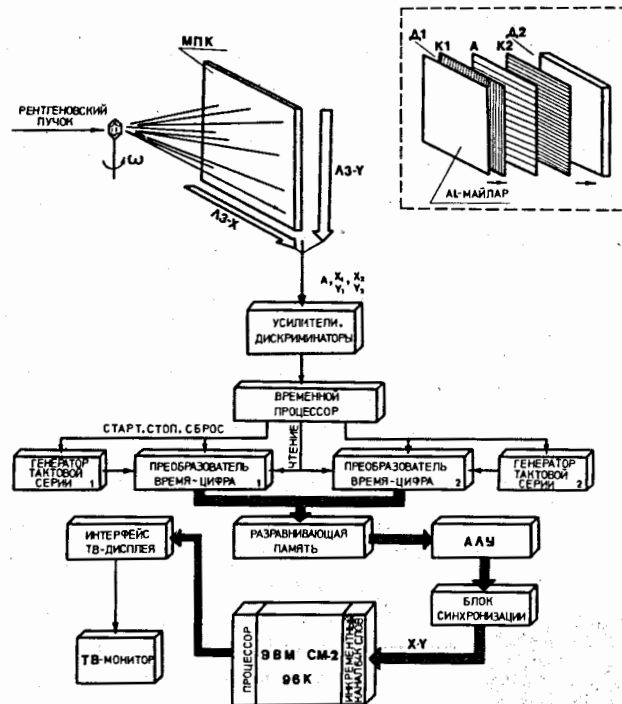


Рис. 1. Блок-схема автоматизированного рентгеновского детектора АРД-I. А – анодная плоскость; К1, К2 – катодные плоскости; Д1, Д2 – дрейфовые промежутки (стрелками указано направление дрейфа электронов первичной ионизации); АЛУ – арифметическо-логическое устройство.

продуваемой ксеноновой смесью МПК, электронной аппаратуры регистрации и обработки данных, телевизионного дисплея и устройств сопряжения с ЭВМ СМ-2 по программному и инкрементному каналам. В основе МПК лежит хорошо отработанная плоская трехэлектродная конструкция: межэлектродные расстояния – 4 мм, анодные проволочки имеют шаг 2 мм и диаметр 20 мкм, шаг катодных проволочек – 1 мм. При этом специально принятые меры позволили существенно улучшить характеристики детектора: а) введение плоского дрейфового промежутка (2 мм) между входным окном и катодной плоскостью в сочетании с малым диаметром (50 мкм) катодных проволочек обеспечивает высокую и однородную эффективность регистрации узких дифрагированных пучков, б) относительно большие поперечные размеры МПК ($350 \times 350 \text{ мм}^2$) по сравнению с толщиной кон-

версионного промежутка (10 мм) ослабляют деградацию пространственно-го разрешения для наклонных пучков^{6/}.

Реализованные в процессе создания электронной системы детектора гибкие и оптимальные решения комплекса вопросов, связанных с совмещением хорошей координатной точности и быстродействия, требуемого для работы с мощными рентгеновскими трубками, позволили добиться высокой производительности и надежности устройства. Решающее значение для достижения поставленной цели имело применение: а) способа съема сигналов с двух концов ЛЗ, имеющих малую погонную задержку $\tau \approx 1,5 \text{ нс} \cdot \text{мм}^{-1}$, и б) быстродействующей системы электронных блоков, описанных в главе III. Использование двух переключаемых время-цифровых преобразователей и разравнивающей памяти большой емкости минимизировало потери событий, которые в АРД-I определяются только временным разрешением $\approx 0,5 \text{ мкс}$. Для улучшения точности измерения интенсивностей отражений в тракт анодного сигнала включен дифференциальный дискриминатор, осуществляющий отсеку фоновое излучение. Высокопроизводительное арифметическо-логическое устройство^{7/2/} позволяет эффективно осуществлять различные режимы набора информации. Использование разработанного телевизионного дисплея, способного оперативно отображать накопленную дифракционную картину, существенно облегчает процедуру юстирования кристалла.



Рис. 2. Дифракционная картина, полученная от монокристалла белка леггемоглобина с помощью детектора АРД-I. Снимок с экрана телевизионного монитора.

Максимальный размер изображения 256x256 точек, число градаций яркости - 8 (рис. 2).

Важным вопросом создания рентгеновского детектора является разработка устройства для накопления двумерной дифракционной картины. В установке АРД-I задача решена путем создания инкрементного канала с предельной скоростью работы 250 кГц в буфере ОЗУ ЭВМ СМ-2 емкостью 64К 16-разрядных слов^{7/7/}. Указанные характеристики позволяют реализовать такие достоинства детектора, как высокое разрешение и широкий динамический диапазон скоростей счета, согласуются с его быстродействием и удовлетворяют требованиям эксперимента.

В заключение приведены результаты комплексных исследований параметров детектора АРД-I, основные из которых указаны в таблице^{5,8/}. Хорошая ста-

бильность характеристик устройства исключила необходимость в регулировке и введении поправок. Способность установки

Таблица. Основные параметры детектора АРД-I

| № | Наименование параметра | Количественное значение |
|----|---|----------------------------------|
| 1. | Эффективность регистрации рентгеновского излучения с энергией 8 кэВ | 70 |
| | а) абсолютное значение, % | ± 1 * |
| | б) неоднородность по площади МПК, % | ± 1 ** |
| 2. | Используемая чувствительная площадь, мм ² | 346 (x) x 320 (y) |
| 3. | Емкость запоминающего устройства, 16-разрядные слова | 64 К |
| 4. | Число элементов пространственного разрешения | 50000 *** |
| 5. | Неоднородность ширины элемента дискретизации, % | $\delta_x = 2, \delta_y = 4$ *** |
| 6. | Временное разрешение, мкс | 0,5 |
| 7. | Предельная скорость счета, кГц | 250 (при потерях счета 25%) |
| 8. | Энергетическая дискриминация событий, кэВ | 8 ± 3 |
| 9. | Предельные параметры исследуемых монокристаллов макромолекул | |
| | а) максимальный период решетки, Å, при | 90 + 180 |
| | б) разрешении съемки, Å, соответственно | 1,6 + 3,6 |

* Для пучков с диаметром сечения $> 0,5 \text{ мм}$.

** Для перпендикулярных к плоскости МПК пучков.

*** Относительное среднеквадратичное отклонение.

одновременно регистрировать большое число отражений характеризуется коэффициентом $M = a_{max} \cdot d_{min}^{-1} = 50$, где a_{max} - максимальный период решетки кристалла, d_{min}^{-1} - разрешение съемки. В совокупности с высокой эффективностью регистрации и требуемым быстродействием указанное обстоятельство позволило реализовать наивысшую среди аналогичных устройств производительность.

В последнем разделе главы дано краткое описание процедуры набора экспериментальных данных в координатном дифрактометре АРД-3^{9/}, созданном на базе детектора АРД-I. Измерение интегральных интенсивностей производится по методу "квазистационарных электронных картин", позволяющему максимально использовать преимущества разработанной аппаратуры и реализовать математическое обеспечение на малой ЭВМ (СМ-2). Исследования 13 белковых монокристаллов, в том числе радиационно-нестойких и имеющих $a_{max} \approx 120 \text{ Å}$, подтвердили высокую произво-

длительность детектора. Измерения проводились с 50-кратным ускорением съемки при соответствующем уменьшении дозы.

Пятая глава посвящена созданию и исследованию характеристик работающей на линии с ЭВМ высокочувствительной установки УРАН-2, предназначенной для анализа тонкослойных радиохроматограмм, содержащих β^- -излучающие изотопы. Практическое решение задачи, состоящей в локализации радиохроматографических зон и измерении в них количества радиоактивного вещества, осложняется малой активностью и близостью границ исследуемых областей.

Сформулированы следующие основные требования к детектирующему устройству: неразрушающий анализ одновременно всей площади радиохроматограммы, высокие чувствительность и пространственное разрешение, оперативная обработка данных, надежность и простота в эксплуатации. Обоснована целесообразность применения для этой цели МПК. Указано на необходимость решения возникающих при этом двух основных проблем: обеспечения требуемых а) эффективности регистрации для низкоэнергетичных и б) точности локализации для высокоэнергетичных β^- -частиц.

Экспериментальные исследования МПК с ЛЗ/10/ подтвердили перспективность такого подхода. Показано, однако, что удовлетворительные результаты могут быть получены только для ^3H ($E_{\beta^-} < 19$ кэВ) при внесении образца в чувствительный объем камеры и для ^{14}C ($E_{\beta^-} < 156$ кэВ) при сведении до минимума толщины слоя поглощающего вещества. В случае ^{32}P ($E_{\beta^-} < 1,7$ МэВ) непосредственное применение МПК дает крайне плохую точность локализации вследствие больших пробегов β^- -частиц высокоэнергетичной части спектра. Дополнительные трудности создают шумы МПК и внешний фон.

Преимущества предложенной методики полностью используются в разработанной и внедренной в эксперимент установке УРАН-2/11/, блок-схема которой приведена на рис. 3. Позиционно-чувствительный детектор установки, созданный на основе предложенного оригинального устройства/12,13/, состоит из трех взаимно параллельных МПК с дрейфовыми промежутками и Al -фильтром высокоэнергетичных ($E_{\beta^-} > 0,5$ МэВ) β^- -частиц. Радиохроматограмма размером до 200 x 200 мм² размещается в газовом чувствительном объеме детектора. Электронной аппаратурой регистрируются сигналы с анодов МПК и координатная информация с ПК-1 и ПК-2, снимаемая с помощью катодных ЛЗ.

Данная установка является усовершенствованной модификацией созданной ранее автономной установки УРАН-1/14/, в которой использовалась аналоговая память и отсутствовали съем координатной информации со второй МПК и вычислительные средства. Эти обстоятельства, хотя и упрощали установку, затрудняли проведение количественных измерений и, главное, не позволяли решить вопрос использования ^{32}P .

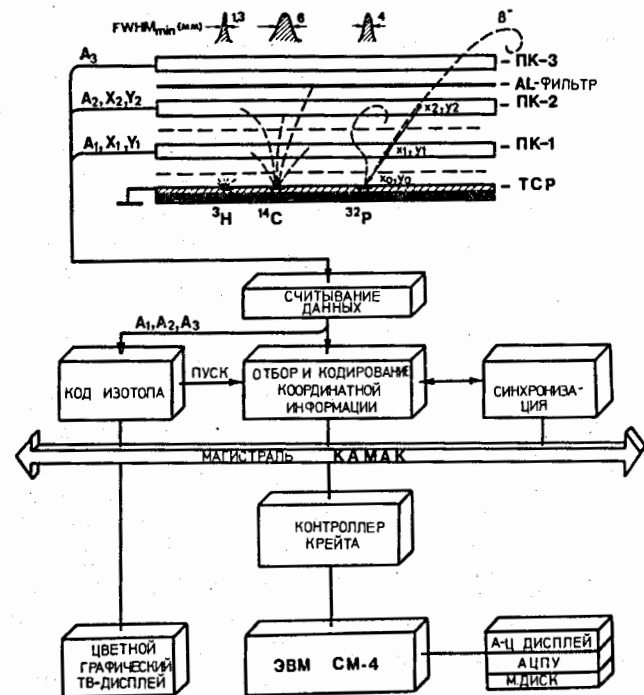


Рис.3. Блок-схема установки УРАН-2, предназначенной для анализа тонкослойных радиохроматограмм (ТСП), содержащих изотопы ^3H , ^{14}C , ^{32}P .

В установке УРАН-2 предварительно отобранная по различным критериям информация поступает в ЭВМ, обрабатывается и выводится на экран цветного графического телевизионного дисплея. Анализ зарегистрированных комбинаций совпадений анодных сигналов позволяет: а) идентифицировать излучение изотопов ^3H , ^{14}C , ^{32}P , б) дискриминировать шумы и внешний фон, в) выделить β^- -частицы, траектории которых несущественно отклонились от прямой линии вследствие многократного рассеяния. В последнем случае экстраполяция трека частицы в точку вылета позволяет значительно улучшить точность локализации зон, содержащих $^{32}\text{P}/15/$.

На основании экспериментальных исследований характеристик установки доказана ее способность локализовать радиоактивные зоны тонкослойных радиохроматограмм с точностью $(FWHM) \approx 1,5$ мм (рис. 4), 5 + 6 мм, 4 мм и измерять минимальные активности (с относительной среднеквадратичной погрешностью не хуже 10%) 10 пКи, 5 пКи, 20+30 пКи

для ^3H , ^{14}C и ^{32}P соответственно. Время экспозиции сокращается с дней и недель до ~ 1 часа.

В заключении сформулированы основные итоги проделанной работы.

1. Проведен анализ современных тенденций применения методики пропорциональных камер для решения медико-биологических задач. Рассмотрены особенности конструкций МПК, методов считывания координатной информации, организации систем сбора и обработки данных. Проведены теоретические оценки характеристик базирующихся на МПК автоматизированных детектирующих устройств.

Обоснованы преимущества и выявлены особенности использования МПК для рентгеноструктурных исследований монокристаллов макромолекул и обработки тонкослойных радиохроматограмм; сформулированы требования к параметрам детектирующих устройств.

2. Создана не имеющая прямых аналогов и превосходящая по совокупности характеристик известные разработки подобного назначения система блоков регистрации и обработ-

ки данных с МПК с линиями задержки. Рациональные схемные и архитектурные решения обеспечивают высокую точность измерений координат частиц (1 нс) при скорости обработки до 10^6 с^{-1} , отсутствие интегральной нелинейности и просчетов событий, хорошую стабильность параметров. Разработанная аппаратура явилась основой регистрирующих систем созданных детекторов.

3. Создан стенд для исследований параметров двухкоординатных детекторов на линии с ЭМ ЕС-1010. Разработаны аппаратные и программные средства накопления, обработки и отображения данных. Оперативный анализ информации осуществляется с помощью цветного графического дисплея высокого разрешения.

4. Разработан, исследован и внедрен в структурные исследования монокристаллов макромолекул автоматизированный рентгеновский детектор АРД-1. Получены расчетные соотношения, связывающие значения характе-

ристик детектирующих устройств и показателей дифрактометрического эксперимента. Исследована предложенная специально для регистрации мягкого рентгеновского излучения МПК с плоским дрейфовым промежутком. Разработана и создана электронная система установки.

В детекторе АРД-1 реализованы высокие (70%) эффективность регистрации и точность ($\pm 1\%$) измерения интенсивностей дифрагированных пучков, большое число (50000) элементов пространственного разрешения, минимизированы потери событий и, как следствие, получена наибольшая среди аналогичных устройств производительность. Достигнуто по сравнению с одноканальными дифрактометрами 50-кратное сокращение времени экспозиции при соответствующем уменьшении дозы. Параметры детектора позволяют исследовать монокристаллы макромолекул с периодом решетки ($90 + 180$) Å при разрешении съемки ($1/1,6 + 1/3,6$) Å соответственно.

Установка АРД-1 является основой координатного рентгеновского дифрактометра, на котором ведутся структурные исследования белковых монокристаллов. Для получения двумерной дифракционной картины в ОЗУ ЭМ СМ-2 создан инкрементный канал, параметры которого – емкость буфера 64К слов и быстродействие 250 кГц – позволяют реализовать преимущества разработанного детектора.

5. Разработана и внедрена в экспериментальные исследования в области молекулярной биологии базирующаяся на МПК новая высокочувствительная методика автоматизированного неразрушающего количественного анализа тонкослойных β^- -активных радиохроматограмм. Реализован способ улучшения точности локализации зон, содержащих ^{32}P .

На основе предложенного оригинального устройства (а.с. № 624162) создана и исследована работающая на линии с ЭМ высокопроизводительная установка УРАН-2, позволяющая сократить время анализа радиохроматограмм на 2 порядка.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Анисимов Ю.С.,..., Черненко С.П. и др. Электронная аппаратура для визуализации информации с пропорциональных камер в радиографическом исследовании объектов. ОИЯИ, И8-И1348, Дубна, 1978.
2. Chernenko S.P., Škvařil J., Zanevsky Yu.V. The High-Speed ALU for Wire Chambers. (Быстродействующее арифметическо-логическое устройство для проволочных камер). Nucl. Instr. and Methods, 1981, v.186, p. 545.
3. Заневский Ю.В.,..., Черненко С.П. и др. Разработка двумерного детектора для рентгеновской дифрактометрии на основе пропорциональной камеры. В кн.: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам, Дубна, 1978. ОИЯИ, Д13-И1807, Дубна, 1978, с. 249.

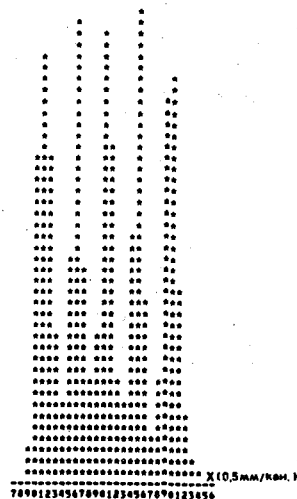


Рис.4. Гистограмма распределений зарегистрированных в ЭМ интенсивностей счета в зонах, содержащих ^3H . Расстояние между границами пикетов $\approx 1,5$ мм.

4. Анисимов Ю.С.,..., Черненко С.П. Двухкоординатная пропорциональная камера с высоким разрешением для рентгеновской дифрактометрии монокристаллов. ОИЯИ, Р14-80-264, Дубна, 1980; Nucl. Instr. and Methods, 1981, v.179, p. 503.
5. Анисимов Ю.С.,..., Черненко С.П. и др. Автоматическая быстродействующая установка АРД-1 с высоким разрешением для регистрации рентгеновской дифракционной картины. ОИЯИ, 18-80-569, Дубна, 1980. Кристаллография, 1981, т.26, вып. 6, с. 1305.
6. Заневский Ю.В., Попов А.Н., Хейкер Д.М., Черненко С.П. Пространственное разрешение координатного дифрактометра КАРД-3 с плоской пропорциональной камерой. ОИЯИ, 18-83-109, Дубна, 1983.
7. Анисимов Ю.С., Иванов А.Б., Черненко С.П., Андрианова М.Е. Организация инкрементного канала в двухпроцессорной ЭВМ СМ-2 для накопления двумерной рентгеновской дифракционной картины. ОИЯИ, 10-81-815, Дубна, 1981.
8. Заневский Ю.В., Попов А.Н., Хейкер Д.М., Черненко С.П. Основные параметры наклонного координатного рентгеновского дифрактометра, созданного на основе плоской пропорциональной камеры с быстрыми линиями задержки. ОИЯИ, Р13-83-121, Дубна, 1983.
9. Анисимов Ю.С.,..., Черненко С.П. и др. Координатный рентгеновский дифрактометр на основе двухкоординатной пропорциональной камеры и двухлучного гониометра. ОИЯИ, 18-81-426, Дубна, 1981; J.Appl. Cryst., 1982, v. 15, p. 626.
10. Заневский Ю.В.,..., Черненко С.П. и др. Применение пропорциональной камеры для количественного и качественного анализа тонкослойных радиохроматограмм. ОИЯИ, Р14-10934, Дубна, 1977; Nucl. Instr. and Methods, 1978, v. 153, p. 445.
11. Заневский Ю.В.,..., Черненко С.П. и др. Многопроволочные детекторы на линии с ЭВМ для радиоизотопных и рентгеноструктурных исследований в молекулярной биологии. В кн.: Тезисы докладов VI Всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ. Новосибирск, 1981. Институт автоматизации и электроники СО АН СССР, Новосибирск, 1981, с. 16.
12. Заневский Ю.В.,..., Черненко С.П. Устройство для анализа тонкослойных радиохроматограмм и радиоэлектрофореграмм. Авторское свидетельство СССР № 624162 от 24.01.77. Бюлл. ОИПОТЗ, 1978, № 34, с. 139.
13. Anisimov Yu.S., Chernenko S.P., Ivanov A.B. et al. Multiwire Proportional Chambers in the Devices for Molecular Biology Constructed at JINR. (Многопроволочные пропорциональные камеры в созданных в ОИЯИ устройствах для молекулярной биологии). In: Proceedings of Wire Chamber Conference, Vienna, 1980. Nucl. Instr. and Methods, 1980, v.176, p.67.
14. Анисимов Ю.С.,..., Черненко С.П. Установка на основе пропорциональных камер для анализа тонкослойных радиохроматограмм. ОИЯИ, Р14-11309, Дубна, 1978; J.Chromatogr., 1979, v.178, p. 117.
15. Балдин А.М., Заневский Ю.В.,..., Черненко С.П. Применение новых экспериментальных методов и аппаратуры для исследований в медицине, биологии, промышленности. В кн.: IV Совещание по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач, Дубна, 1981. ОИЯИ, Р18-82-117, Дубна, 1982, с. 78.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 июля 1983 года.