

П - 318



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13-86-97

УДК 539.1.074

ПЕШЕХОНОВ

Владимир Дмитриевич

**ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ
КООРДИНАТНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук**

Дубна 1986

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор	ДОЛГОШЕИН Борис Анатольевич,
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник	РЫКАЛИН Владимир Иванович,
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник	ГОВОРКОВ Борис Борисович.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1986 года 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 "_____" _____ 1986 г.

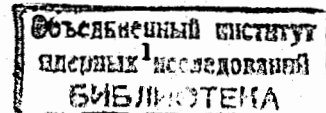
Ученый секретарь
Специализированного совета *М.Ф. Лихачев* М.Ф. ЛИХАЧЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Развитие методов исследования свойств элементарных частиц является важной задачей экспериментальной ядерной физики. Среди широкого набора различных детекторов частиц в последние годы наиболее интенсивно разрабатываются и применяются в экспериментах на ускорителях многопроволочные газонаполненные координатные детекторы. Высокое быстродействие и координатная точность, относительно легкая возможность создания детекторов оригинальных конструкций с учетом особенностей конкретного эксперимента, наличие разработанной электронной регистрирующей аппаратуры - все это позволяет создавать крупные автоматизированные детектирующие системы как широкого профиля, так и узкоцелевого назначения.

Наиболее важным достоинством многопроволочных координатных детекторов является возможность осуществления эффективного отбора событий заданного вида, а также способность регистрировать многочастичные ядерные взаимодействия. Этим объясняется то, что сегодня многопроволочные пропорциональные камеры (МПК) в качестве координатных детекторов входят в состав большинства экспериментальных установок на ускорителях. По виду съема информации детекторы могут быть цифровыми или аналоговыми. В первом случае координатная информация определяется регистрацией сигналов с каждого дискретного элемента детектора с помощью отдельного электронного устройства. Примером многопроволочных газонаполненных координатных аналоговых детекторов могут служить, например, дрейфовые камеры (ДК), а также МПК, информация в которых считывается с помощью линий задержки. В настоящее время разрабатываются и исследуются многоступенчатые лавинные камеры, для идентификации частиц все более широкое применение находят время-проекционные детекторы различных модификаций.

Разработка оригинальных детекторов для решения конкретных задач экспериментальной ядерной физики позволяет оптимизировать стои-



мость исследований с учетом требований, предъявляемых пространственно-временными параметрами исследуемых процессов, что является крайне актуальной задачей.

Наличие относительно дешевых электронно-вычислительных устройств, снабженных быстродействующей памятью достаточной емкости, наряду с развитием методов катодного считывания с МПК и ДК, позволивших получать двухкоординатную информацию при регистрации гамма-квантов и нейтронов, открыло возможность использования этих детекторов в качестве так называемого электронного аналога рентгеновской пленки. Работы в этом направлении были начаты в середине 70-х годов и ведутся во многих физических центрах, главным образом по применению подобных электронных детекторов для рентгеноструктурных исследований и медицинской диагностики. Замена традиционных детекторов электронными позволяет:

- относительно просто использовать современные средства приема и хранения информации, выполнять математическую обработку различной сложности, представлять результаты в привычном для исследователя виде;

- увеличить чувствительность за счет повышения эффективности регистрации излучения и значительного снижения уровня фона, тем самым снижая нагрузку на исследуемый объект (часто радиационно нестойкий) и уменьшая время исследований в десятки и сотни раз.

Разработанная для экспериментов на ускорителях и тщательно отлаженная там методика регистрации ионизирующего излучения, таким образом может быть успешно применена для исследований в других областях науки и техники. Разработка специализированных детекторов и создание методики высокоавтоматизированных исследований в прикладных областях науки и техники (в том числе в медицине и в биологии) ядерно-физическими методами является актуальной проблемой, имеющей важное значение для интенсивного развития этих наук.

Цель работы состояла в совершенствовании и развитии методов регистрации ионизирующего излучения путем разработки и создания новых модификаций газонаполненных координатных детекторов, применении их в ряде физических исследований, проводимых на синхрофазотроне ОИЯИ и ускорителе ИФВЭ, а также в создании методики проведения автоматизированных исследований ядерно-физическими методами на основе многопроволочных координатных детекторов в смежных областях науки и техники.

Автор защищает настоящей работой:

I. Решение некоторых общих вопросов регистрации ионизирующего излучения газонаполненными координатными детекторами различных моди-

фикаций, работающих в широком диапазоне давления газового наполнителя.

2. Разработку и внедрение в практику физического эксперимента на ускорителе ряда новых систем проволочных координатных детекторов, давших качественно новые возможности экспериментальным установкам.

3. Метод цифровой радиографии объектов многопроволочными газонаполненными координатными детекторами и применение этих детекторов для исследований в прикладных областях науки и техники ядерно-физическими методами.

4. Методы и детектирующие устройства, предназначенные для неразрушающего высокочувствительного двумерного экспресс-анализа смесей меченых соединений на плоских носителях.

5. Методику применения МПК с плоскими дрейфовыми промежутками и быстрыми линиями задержки для высокоскоростных рентгеноструктурных исследований белковых монокристаллов.

6. Метод и детектирующее устройство (гамма-камера) для диагностических обследований в ядерной медицине при энергии γ -квантов до 100 кэВ.

7. Возможность проведения низкодозной радиографии ускоренными пучками многозарядных ионов синхрофазотрона ОИЯИ путем измерения остаточного пробега методикой газонаполненных многопроволочных детекторов, проверенную предложенным и выполненным опытом на выведенном пучке ионов гелия.

Научная новизна и практическая ценность работы заключаются в предложении и реализации ряда методических решений и создании на их основе уникальных детектирующих систем, позволяющих получать новые данные при исследованиях, проводимых ядерно-физическими методами.

Разработаны и исследованы некоторые модификации многопроволочных газонаполненных координатных детекторов в диапазоне давления газового наполнителя от сотен Па до сотен кПа.

Впервые в ОИЯИ на синхрофазотроне проведено методическое исследование системы дрейфовых камер, работающих на линии с ЭВМ.

Впервые в стране применена система МПК для выборочного запуска экспериментальной установки на ускорителе (ИФВЭ, Серпухов), что в эксперименте по упругому πp -рассеянию на малле угли повысило скорость набора статистики более, чем на порядок.

Создана и применена для настройки и контроля магнитооптического канала формирования и транспортировки в/ч сепарированного пучка антинейтронов с импульсом 12,2 ГэВ/с (ИФВЭ, Серпухов) система высокоточных МПК ^{1/5}. Система успешно работала более 5 лет, что позволило

осуществить широкую программу физических исследований на пучке анти-дейтронов *.

Предложен и разработан новый метод идентификации и спектрометрии медленных частиц время-проекционным детектором на основе МПК с широкоазорным дрейфовым промежутком. В опыте на ускорителе с помощью этого детектора получено надежное идентифицирование изотопов водорода и гелия.

Создана методика высокоточного считывания координатной информации с МПК при помощи электромагнитных линий задержки. Предложена и показана возможность применения газонаполненных координатных детекторов для цифровой радиографии объектов в потоке γ -квантов или нейтронов. В результате проведенного анализа ядерно-физических методов исследований в различных областях науки и техники обоснована целесообразность и показана возможность применения газонаполненных проволочных координатных детекторов для исследований в прикладных областях науки и техники, в том числе в медицине и в биологии.

Впервые предложена и реализована методика экспресс-анализа β - и γ -активных плоских радиохромограмм и электрофореграмм на основе оригинального детектирующего устройства (авт. свидет. № 624162 /22/). Разработаны ядерно-физические методы неразрушающего экспресс-анализа меченых смесей белков на плоских носителях, созданы оригинальные детекторы установок УРАН-1,2. Время анализа при этом сокращается в сотни раз, исследуемое вещество сохраняется для дальнейших исследований. Установки используются в ИМБ АН СССР /25/ и в МГУ /26/.

Найдены новые методические решения рентгеновского детектора для рентгеноструктурных исследований (авт. свид. СССР № 927051 /27/ и № 1004834 **). Разработка МПК с плоскими дрейфовыми промежутками и быстрыми линиями задержки и методики ее применения для рентгеноструктурных исследований позволила создать дифрактометр КАРД-3, обладающий рекордной производительностью по сравнению с аналогичными системами /32/. Известны первые применения МПК для рентгеноструктурных исследований, предложенные Ксуонгом ***. В нашей стране впервые рентгеновский детектор на основе МПК с цифровым считыванием информации был создан в ИЯФ СО АН СССР (Новосибирск) ****. По сравнению с одноканальным дифрактометром на КАРД-3 экспозиция сокращена в 50 раз при таком

* Васильев В.В. и др. Препринт ИФВЭ 80-66, Серпухов, 1980.

** Хейкер Д.М., Попов А.Н., Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д. и др.

Авт. свид. СССР № 1004834. Бюллет. изобр., 1983, № 10, с. 183.

*** Cock S. et al. J. Appl. Crystallography, 1974, v.7, N 3, p. 319.

**** Бару С.Е. и др. Докл. АН СССР, 1976, т. 227, № 1, с. 82.

же уменьшении лучевой нагрузки на образец. В ИК АН СССР на КАРД-3 завершены съемки около 40 белковых монокристаллов, в том числе радиационно нестойких и с большим молекулярным весом *.

Предложена и показана возможность применения МПК с давлением газового наполнителя в несколько атмосфер для диагностических целей ядерной медицины при энергии гамма-квантов до 100 кэВ.

Предложен и проведен на синхротроне ОИЯИ эксперимент, впервые в стране показавший возможность использования ускоренных пучков многозарядных ионов для радиографии. В результате выполненного опыта показана высокая чувствительность ионной радиографии и проверена возможность использования выведенных пучков многозарядных ионов синхротрона для диагностических целей.

Таким образом, осуществлено широкое применение МПК и других модификаций газонаполненных проволочных координатных детекторов в фундаментальной и прикладные исследования в физике элементарных частиц, биологии и медицине, что позволило решать качественно новые задачи, либо ускорить набор статистики в десятки и сотни раз по сравнению с традиционными методами.

На основе положительного опыта использования газонаполненных координатных детекторов интенсивно ведутся разработки новых установок для прикладных исследований.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на 3 Международном совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978), 3 и 4 совещаниях по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач (Дубна, 1978 и 1981 г.г.), Конференциях по проволочным камерам (Вена, 1980 и 1983 г.г.), XI всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований на основе применения ЭВМ (Новосибирск, 1981), 3 Международном симпозиуме по тонкослойной хроматографии (Вирцбург, ФРГ, 1985), опубликованы в отечественных и зарубежных журналах, в сообщениях ОИЯИ, защищены авторскими свидетельствами.

Публикации. Представляемая диссертация основана на материалах исследований и разработок /1-38/, выполненных автором в основном в 1975-1984 г.г.

Объем диссертации. Диссертация состоит из 6 глав, содержит введение и заключение и изложена на 204 страницах машинописного текста, включая 94 рисунка, 9 таблиц и список цитируемой литературы из 163 наименований.

* Андрианова М.Е. и др. В кн.: Краткие сообщения ОИЯИ, № 13 - 85, Дубна, 1985, с. 41.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава носит обзорный характер. В ней рассмотрены вопросы, являющиеся общими для последующих разделов диссертации.

Проведено систематизированное рассмотрение процессов, сопровождающих взаимодействие различных видов ионизирующего излучения с веществом детекторов и определяющих их основные параметры. Выполнены расчеты и представлен графический материал, необходимый для оптимального выбора детекторов, предназначенных для решения конкретных экспериментальных задач. Приведены основные параметры наиболее широко используемых газов. Качественно рассмотрен механизм сбора заряда в газовых детекторах в зависимости от напряженности электрического поля с учетом современного состояния методики газонаполненных детекторов.

Вторая глава открывается классификацией электронных координатных детекторов ионизирующего излучения и определением их параметров. Проводится сравнение характеристик электронных координатных детекторов различных типов.

Наиболее значимыми из многопроволочных координатных газонаполненных детекторов являются МПК. Рассмотрение их начато с анализа принципа действия и особенностей катодного считывания информации, позволяющего получать двумерную информацию с обычной трехэлектродной камеры, что особенно важно при регистрации гамма-квантов и нейтронов. Наиболее удобным и дешевым методом катодного считывания является съем информации с помощью линий задержки (ЛЗ) с распределенными параметрами L_n и C_n , гальванически соединенной с дискретными катодными элементами МПК. Полная задержка линии определяется выражением:

$$T = \rho (L_n C_n)^{-1/2}, \quad (1)$$

где ρ – линейный размер детектора. Разработаны и широко применяются оригинальные проволочные ЛЗ с высокой однородностью параметров при величине погонной задержки в диапазоне 1-5 нс/мм. Координатная информация считывается с двух концов ЛЗ, что приводит к удвоению масштабного коэффициента. Сигналы с объединенных обычно анодных проволочек используются, как правило, для амплитудного отбора событий и запуска регистрирующей аппаратуры.

Далее проведено систематизированное сравнение характеристик МПК с цифровым анодным и аналоговым катодным считыванием информации. За-

метим, что при съеме информации с помощью ЛЗ следует различать временное разрешение МПК по анодным и катодным сигналам. В первом случае оно около 50 нс, во втором – временное разрешение и мертвое время детектора (равные произведению $\rho \tau_n$) совпадают и равны обычно 0,5-1 мкс. Шаг намотки анода определяет величину неопределенности истинного значения координат при считывании с анода или с катода, проволоки которого параллельны анодным. При считывании с катода, проволоки которого расположены ортогонально анодным, величина пространственного разрешения ограничивается обычно собственным разрешением электроники. Для получения высокого разрешения необходимо в тракте регистрации обеспечивать достаточно большое отношение сигнал/шум (около 50). При координатном считывании с помощью ЛЗ достигнуто пространственное разрешение $\delta = 40 \text{ мкм}^{1/2}$.

Начиная с некоторой величины газового усиления M_K , на энергетическое разрешение МПК оказывает влияние пространственный заряд положительных ионов, способный исказить электрическое поле у анодной проволоки. От величины ионизационных потерь E , приходящихся на единицу длины дискретного элемента анода, M_K зависит следующим образом:

$$M_K = Q_K \cdot E^{-1}. \quad (2)$$

Коэффициент Q_K , определяющий начало режима ограниченной пропорциональности детектора, для МПК составляет величину $3 \cdot 10^7 \text{ эВ}^{1/2}$. Влияние положительного заряда возрастает с ростом интенсивности падающего на МПК потока частиц. Рассмотрено энергетическое разрешение и загрузочная способность МПК с аналоговым и цифровым считыванием, указаны возможности повышения быстродействия детекторов.

В работе * впервые была показана работоспособность МПК, заполненной газообразными углеводородами при давлении в несколько Тор **. При этом временное разрешение детектора может достигать долей нс. Исследования МПК низкого давления показали возможность создания сильного однородного электрического поля в объеме камеры с величиной $E/\rho > 100 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{Тор}^{-1}$. При этом газовое усиление происходит не только у анодных проволочек, но и в однородном электрическом поле. Как следует из рис. I, в МПК низкого давления с дополнительным дрейфовым промежутком, являющимся по существу промежутком предварительного усиления (с коэффициентом M_c), при давлении паров изобутана

* Binon F. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1971, v. 94, p. 27.

** I Тор составляет 133 Па.

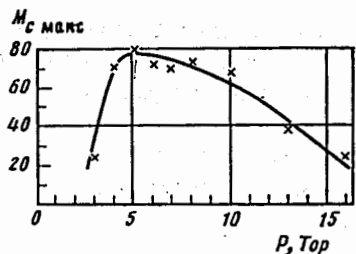


Рис.1. Зависимость максимального значения коэффициента дополнительного усиления в однородном электрическом поле промежутка величиной 4 мм от давления паров изобутана.

около 5 Тор газовое усиление детектора можно увеличить почти на два порядка, что существенно повышает чувствительность при сохранении высокого временного разрешения ^{/3/}.

Рассмотрение МПК заканчивается анализом первого в стране применения их для быстрого отбора событий по углу рассеяния ^{/4/} и описанием системы МПК с расстоянием между анодными проволоками 1 мм, предназначенной для настройки и оперативного контроля в/ч сепарированного пучка антинейтронов ^{/5/}. Обе системы камер работали на ускорителе ИФВЭ (Серпухов).

Часть главы, посвященная дрейфовым камерам, начинается с анализа исследования на синхрофазотроне системы ДК, работающей на линии с ЭВМ в реальном масштабе времени, проведенного впервые в ОИЯИ ^{/6/}. Завершается эта часть краткими результатами систематизированных исследований ДК низкого давления ^{/7/}.

Время-проекционный детектор представляет собой МПК с расположенным над ней широкоазорным дрейфовым промежутком. На рис.2 показана схема макета детектора. Результаты его исследования показали возмож-

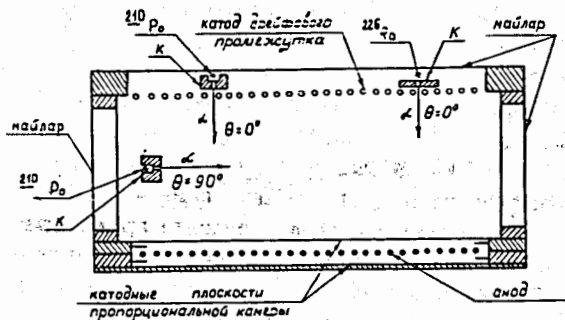


Рис.2. Схематическое изображение макета время-проекционного детектора. К-коллиматор, ²²⁶Pa и ²¹⁰Po - источники α -частиц, позволяющие проводить исследование для различного угла входа частиц в детектор.

ность: измерения ионизации вдоль трека частиц при высоком энергетическом разрешении ($\Delta E/E = 3\%$ для α -частиц с энергией 5,2 МэВ) ^{/2/}; определения X-координаты точек остановки частиц; определения Y-координаты траектории частиц, путем измерения времени дрейфа электронов; определения Z-координаты (совпадающей с направлением анодных

проволок) точек на треке одним из аналоговых методов считывания. Для идентификации медленных ядерных фрагментов в широком диапазоне их масс и зарядов был разработан аналогичный детектор с чувствительным объемом 1000 x 400 x 120 мм ^{/8,9/}. Сигнальные проволоки служили для определения X-координаты и измерения ионизационных потерь. Часть анодных проволок (резистивные нити) имели сопротивление 2 кОм/м и измеряли Z-координату методом деления заряда:

$$Z = L \cdot A_1 \cdot (A_1 + A_2)^{-1} \quad (3)$$

где L - длина нити, A₁ и A₂ - амплитуды сигналов, регистрируемые с различных ее концов. Координата Y определялась измерением времени дрейфа электронов от места ионизации до резистивных нитей. В зависимости от величины подаваемого на них корректирующего потенциала пространственное разрешение составляло $\sigma'_y = (0,15 \pm 0,3)$ мм и $\sigma'_z = (3 \pm 10)$ мм. При остановки частиц в объеме детектора возможно определение их масс и зарядов. Методом математического моделирования показана возможность идентификации медленных частиц (с энергией до 10 МэВ/нуклон) вплоть до ионов железа ^{/10/}. При исследовании детектора на ускорителе вторичные частицы попадали в детектор после прохождения МПК, служащей для определения скорости дрейфа. По величинам потерь энергии ΔE и полной энергии E вычислялся параметр идентификации:

$$PI = c[(E + \Delta E)^B - E^B] \sim m z^2; \quad B = 1,76. \quad (4)$$

На рис.3 показано полученное массовое распределение изотопов водорода и гелия. Разрешающая способность по массе (МШВ) равна 10% для протонов и 6% для ядер гелия.

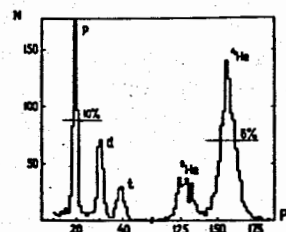


Рис.3. Распределение событий по параметру идентификации (массовое распределение изотопов водорода и гелия).

С целью применения в прикладных исследованиях были разработаны многоступенчатые лавинные камеры - МСЛК ^{/11,12/}. Под научным руководством и при непосредственном участии автора было проведено систематизированное исследование многоступенчатых лавинных камер

нормального давления * и низкого давления **. На основе этого дан краткий анализ особенностей этих детекторов и рассмотрены некоторые возможности их применения.

Завершается глава рассмотрением возможности использования проволочных координатных детекторов для цифровой радиографии /13-16/.

Третья глава посвящена методике неразрушающего экспресс-анализа меченых соединений, разделенных на компоненты способом хроматографии или электрофореза в тонком слое. При анализе необходимо локализовать на исследуемом образце меченые компоненты, определить процентное соотношение радионуклида в локализованных зонах и измерить его абсолютное количество в них. В отличие от конвенциональных методов, характеризующихся или низкой чувствительностью и большими затратами времени (авторадиография), или большой трудоемкостью (обсчет с помощью жидкостных сцинтилляционных счетчиков), современные ядерно-физические методы регистрации излучения позволяют проводить эти исследования методом цифровой радиографии с сохранением биохимического материала для последующей работы с ним.

В начале главы определены основные требования к детектирующему устройству: одновременный неразрушающий анализ всей площади образца; регистрация излучения в большом линейном динамическом диапазоне; высокие чувствительность и пространственное разрешение; оперативная обработка данных; высокая воспроизводимость результатов анализа. Необходимость регистрации β -излучения в широком диапазоне энергии приводит к определенным трудностям. Эффективность анализа характеризуется отношением числа регистрируемых событий с единицы площади образца в секунду (N) к введенной в соответствующий его объем активности (A):

$$\epsilon = N \cdot A^{-1} \quad (5)$$

При регистрации излучения ^{32}P ($E_{\beta} < 1,7 \text{ МэВ}$) основная сложность заключается в обеспечении удовлетворительного пространственного разрешения. В случае ^3H ($E_{\beta} < 18 \text{ кэВ}$) ограничивается величина ϵ :

$$\epsilon < R \cdot (2h)^{-1}, \quad (6)$$

где R - максимальная величина пробега электронов в исследуемом образце толщиной h . Очевидно, что в этом случае образец должен размещаться в чувствительном объеме детектора.

* Abdushukurov D.A. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1985, v. A238, p.119.

** Заневский Ю.В. и др. ПТЭ, 1985, № 6, стр. 54.

Возможность качественного и количественного анализа плоских β -активных радиохроматограмм с помощью МПК была впервые показана в работе /17/. Дальнейшим развитием этого явилось создание установок типа УРАН /18-21/ на основе оригинального детектора β -излучения /22,23/, представляющего собой единый модуль из трех МПК с набором дрейфовых промежутков и фильтров, отсекающих низкоэнергетичные части β -спектров ^{14}C и ^{32}P . Схема детектора показана на рис.4. Анализируемая радиохроматограмма вводится в чувствительный объем детектора через щель в герметичном боксе. Сигналы с анодов МПК используются для отбора событий, координатная информация снимается линиями задержки с катодов первых двух МПК. В установке УРАН-1 использована аналоговая память, отсутствует координатный съем со второй МПК. Усовершенствованная установка УРАН-2 работает на линии с ЭВМ СМ-4, в реальном масштабе времени осуществляется: идентификация излучения по виду изотопов ^3H , ^{14}C , ^{32}P ; исключение шумов и внешнего фона; экстраполяция треков в точку вылета из образца для длиннопробежных частиц, многократное рассеяние которых не столь существенно. Последняя процедура позволяет повысить пространственное разрешение для ^{32}P до 4 мм. Для ^{14}C и ^3H оно составляет 3 мм и 1 мм соответственно.

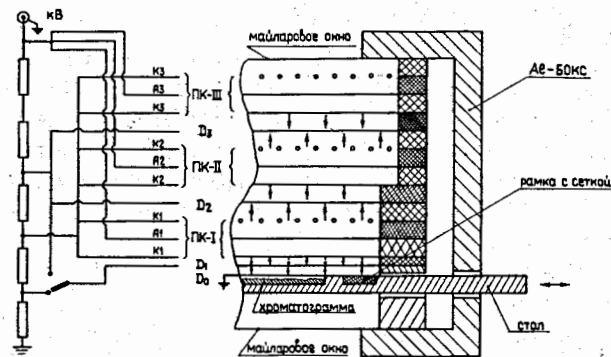


Рис.4. Схематическое изображение детектора, предназначенного для анализа тонкослойных радиохроматограмм, содержащих изотопы ^3H , ^{14}C , ^{32}P .

Исследование МСЛК, регистрирующих координаты точек входа частиц в детектор, показало возможность существенного повышения пространственного разрешения для ^{14}C и ^{32}P /24/. Созданные под научным руководством и при непосредственном участии автора детектирующие модернизированные системы позволили обеспечить пространственное разрешение около 1 мм для всех применяемых изотопов. Низкий уровень фоновых шумов обеспечивает очень высокую чувствительность анализа: для ^{14}C , например, чувствительность составляет $0,5 \text{ пКи/мм}^2$, время анализа в среднем около 10 минут.

Возможность экспресс-анализа подпированных (^{125}I) смесей белков, показанная впервые в работе /25/, расширила область применения установок, используемых для биохимических исследований в МГУ и ИМБ АН СССР /25,26/. Результаты экспресс-анализа одной из исследуемых радиохроматограмм иллюстрирует рис.5.

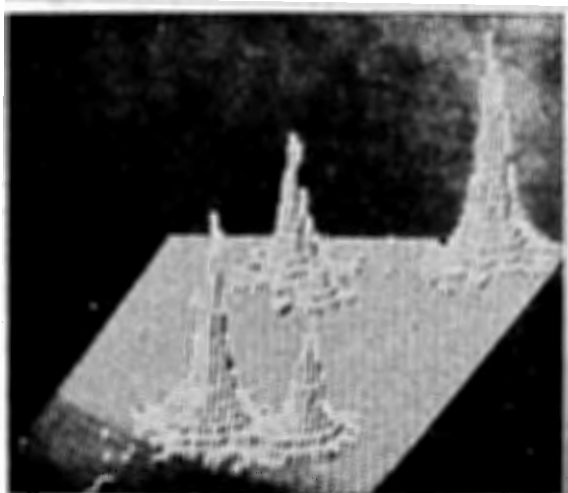


Рис.5. Распределение активности ^{125}I в рабочей радиохроматограмме (снимок с экрана дисплея).

при анализе исследователь получает информацию об относительной активности зон, координаты центра их тяжести, координаты и значение максимума в зоне, гистограммы представляющих интерес сечений распределения изотопа. Количественные измерения распределения изотопа по зонам осуществляются статистической обработкой выделенных исследователем на экране монитора интересующих его участков.

Заканчивается глава рассмотрением некоторых применений установок для исследований в молекулярной биологии и медицине.

Четвертая глава посвящена использованию МПК в качестве электронного аналога рентгеновской пленки при исследованиях белковых монокристаллов. Основные требования к параметрам рентгеновского детектора, регистрирующего двумерную дифракционную картину, следующие: одновременная регистрация большого числа отражений, достаточное угловое разрешение для раздельной регистрации рефлексов от кристаллов с большим периодом решетки, высокая и однородная по площади эффективность регистрации излучения, высокое быстродействие, удовлетворительное энергетическое разрешение для исключения фонового излучения, низкий уровень собственного фона детектора, относительная простота и приемлемая стоимость. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет

МПК с плоскими дрейфовыми промежутками и быстрыми линиями задержки /27/.

Геометрическая схема съемки монокристаллов плоским детектором приведена на рис.6. Оптимизация геометрии съемки позволяет обеспечить максимальное разрешение, съемки при фиксированном угловом разрешении, а также минимальное отклонение регистрируемых гамма-квантов от нормали к поверхности МПК, что крайне важно из-за относительно большой ее толщины. Анализ параметров детектора для рентгеноструктурных исследований показал, что степень ускорения съемки определяется, главным образом, эффективностью регистрации и числом элементов пространственного разрешения детектора.

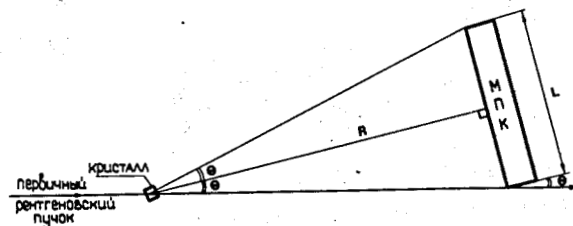


Рис. 6. Геометрическая схема съемки монокристаллов МПК с плоским дрейфовым промежутком, θ - брегговский угол.

Далее рассматривается разработанный для рентгеновского двухкоординатного дифрактометра КАРД-3 детектор на основе плоской трехэлектродной МПК. Для повышения эффективности и однородности регистрации излучения по площади введен плоский дрейфовый промежуток (2 мм) между тонкопленочным (из алюминизированного майлара) входным окном и первым катодом МПК. Малость диаметра катодных проволок относительно шага их намотки и реальных размеров узких дифрагированных пучков обеспечивает высокую однородность их регистрации. Большие линейные размеры МПК (350 x 350 мм) по сравнению с ее толщиной (конверсионный промежуток - 10 мм) обеспечивают высокую производительность, несмотря на некоторое ухудшение пространственного разрешения для наклонных дифрагированных пучков. Камера работает на смеси Хе с 20% CH_4 .

В ходе разработки создана методика экспериментального определения параметров рентгеновского детектора для структурных исследований белковых монокристаллов /21,28-31/, рассмотренная в главе достаточно

подробно. Заканчивается глава кратким рассмотрением созданной с участием автора установки (таблица I), вошедшей в состав дифрактометра КАРД-3 /32/.

Таблица I. Основные параметры установки АРД-I.

№	Параметр	Значение
1.	Эффективный объем камеры	346 x 320 x 10 мм
2.	Квантовая эффективность (CuK_{α})	70%
3.	Неоднородность эффективности по площади	$\pm 1\%$
4.	Емкость запоминающего устройства	64 К
5.	Число элементов пространственного разрешения (для перпендикулярных к плоскости МПК пучков)	50 000
6.	Неоднородность ширины элементов дискретизации по $\frac{\lambda}{\Delta}$	$\frac{2\%}{4\%}$
7.	Временное разрешение	0,5 мкс
8.	Предельная скорость счета при потерях 25%	$2,5 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$
9.	Предельные параметры исследуемых монокристаллов	
	а) максимальный период решетки, нм	9+18
	б) разрешение съемки, нм соответственно	0,16+0,36

На дифрактометре КАРД-3 осуществлен набор данных с 40 белковых монокристаллов, детектором зарегистрировано более $3 \cdot 10^6$ рефлексов. Эксперименты проводятся с ускорением съемки в 50 раз по сравнению с конвенциональными методами при соответствующем уменьшении радиационной нагрузки на белковые кристаллы. Это позволяет проводить прецизионные исследования пространственной атомной структуры белков с большим молекулярным весом, нестабильных белковых комплексов, уменьшить число необходимых для исследования образцов, их величину.

В пятой главе рассмотрена методика применения МПК высокого давления для функциональной диагностики в ядерной медицине. Одно из пер-

спективных направлений развития ядерной медицины - изучение динамических процессов с применением радиофармацевтических препаратов, меченных коротко- и ультракороткоживущими радионуклидами, что требует разработки гамма-камер с хорошими параметрами для излучения с энергией до 100 кэВ и обладающих высоким быстродействием. Основные требования к детектору гамма-квантов следующие: 1) достаточно высокая эффективность регистрации излучения и высокая однородность эффективности по площади; 2) большое эффективное поле зрения, т.е. формирование изображения на большой площади; 3) хорошее собственное пространственное разрешение; 4) хорошее энергетическое разрешение; 5) высокое энергетическое разрешение; 6) стабильность параметров, высокие эксплуатационные качества. Детекторы на основе МПК высокого давления удовлетворяют этим требованиям в значительной степени.

Далее рассмотрены конструкция, особенности работы и характеристики детектора, показанного на рис. 7 /33,34/.

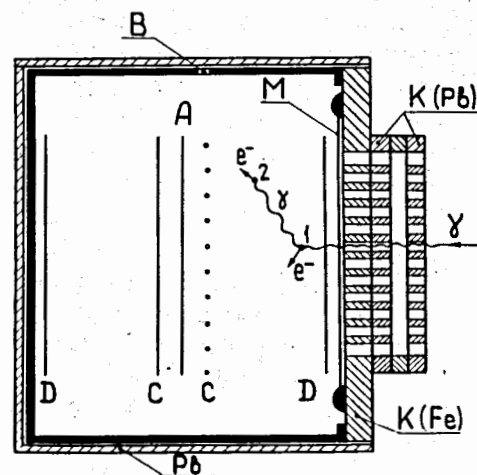


Рис.7. Схематическое изображение детектора. Анод - А, бокс - В, свинцовая защита - Pb, стальной фланец, поддерживающий входное окно - К (Fe), свинцовый коллиматор - К (Pb), тонкое входное окно - М. В точке I происходит конверсия первичного γ -кванта, в точке 2 возможна конверсия флуоресцентного кванта.

Детектор, представляющий собой МПК с дрейфовыми промежутками величиной 34 мм, размещен в герметичном боксе, позволяющем работать при избыточном давлении в 5 атмосфер. Коллиматор, определяющий поле зрения детектора, имеет гексагональную структуру, отверстия ϕ 2 мм расположены с шагом 2,5 мм по площади 270 x 270 мм. Детектор работает на газовой смеси ксенона с 10% метана.

При фотоэффекте на атомах ксенона возможен выход флуоресцентного кванта с энергией 30,4 кэВ и средней длиной свободного пробега около 3,4 см. Флуоресцентный квант может выйти за пределы детектора или, в результате взаимодействия, в свою очередь вызвать второй (фоновый) сигнал. Во времени эти два сигнала разделены за счет разного пути дрейфа фотоэлектронов и могут идентифицироваться амплитудным анализом импульсов с анода детектора.

Исследовался детектор с помощью γ -источников ^{241}Am и ^{109}Cd в соответствии с существующими стандартами для гамма-камер. Показана хорошая линейность и однородность по всей площади детектора, пространственное разрешение для ^{241}Am составило величину около 1,5 мм. Эффективность регистрации прошедшего через коллиматор излучения в зависимости от энергии показана на рис. 8 (кривая 1). Отбраковка части событий быстрым временным процессором приводит к снижению реальной эффективности примерно в 1,5 раза (кривая 2), улучшая контрастность изображения. Для квантов с энергией 60 кэВ реальная эффективность — 42%. Заканчивается глава рассмотрением результатов предварительных исследований разработанной системы в сравнении с обычной сцинтилляционной гамма-камерой. На рис. 9 показано изображение почек, полученное гамма-камерой на основе МПК высокого давления, работающей на линии с мини-ЭВМ /34/.

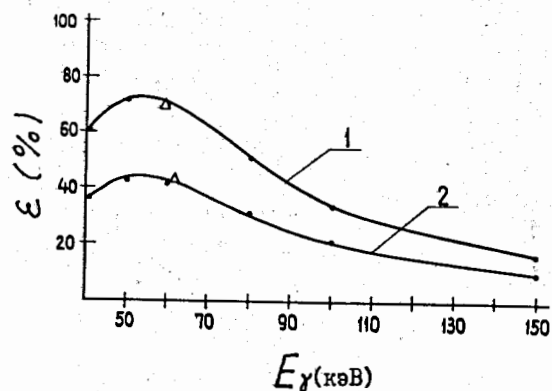


Рис. 8. Эффективность регистрации излучения, прошедшего в детектор через коллиматор, в зависимости от энергии гамма-квантов.

Гамма-камеры на основе МПК высокого давления могут быть использованы при функциональной диагностике с применением препаратов, меченных изотопами с энергией излучения до 100 кэВ. Такие гамма-камеры могут иметь большое прямоугольное поле зрения при относительно низкой их стоимости. При применении быстрой регистрирующей электронной аппаратуры возможно обеспечить быстродействие до $2,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1} / 31/$.

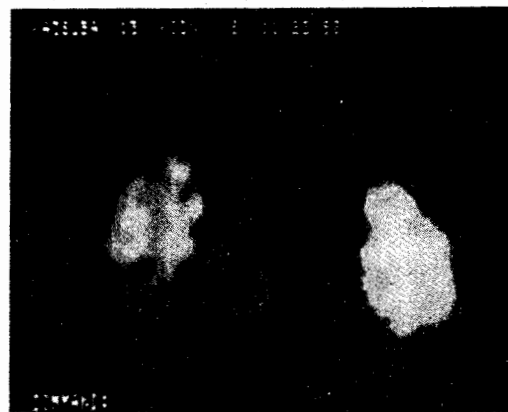


Рис. 9. Результаты обследования с помощью гамма-камеры на основе МПК высокого давления. Неогидрин — ^{197}Hg . На снимке с дисплея видно очаговое поражение почек /34/.

Шестая глава посвящена экспериментальному исследованию возможностей радиографии в пучке ионов гелия и решению методических проблем постановки эксперимента. Рассмотрены кратко основные положения ионной радиографии /35/, сделаны оценки ее чувствительности для различных тяжелых заряженных частиц.

Вывод пучков ядер средних энергий (до сотен МэВ/нуклон) открывает дополнительные возможности медико-биологических исследований на синхрофазотроне ОИЯИ. Для подтверждения этого была создана установка с целью проведения опыта по ионной радиографии путем измерения остаточного пробега частиц методикой проволочных газонаполненных детекторов. Установка содержала: 1) сцинтилляционные счетчики и двухкоординатные МПК со считыванием информации линиями задержки, служащие для ее запуска и определения координат пучковых частиц; 2) детектор остановки (ДО), служащий для прецизионного измерения остаточных пробегов частиц, прошедших через исследуемый объект; 3) электронную систему съема информации, предназначенной для приема сигналов, выработки триггерных импульсов, отбора событий по заданным критериям, организации связи с ЭВМ HP-2116 В. Схема расположения аппаратуры на канале показана на рис. 10. Пучок ядер гелия с энергией 200 МэВ/нуклон был создан специально для данного опыта, его характеристики исследовались с помощью созданной установки. Размеры пучка — 80 x 120 мм, угловая расходимость — менее 10 мрадиан, изменение интенсивности по площади не превышало 10%. Особенностью установки являлась передача большого объема данных за время сброса пучка (более 24 кслов за 250 мс), что ограничивало требования к интенсивности.

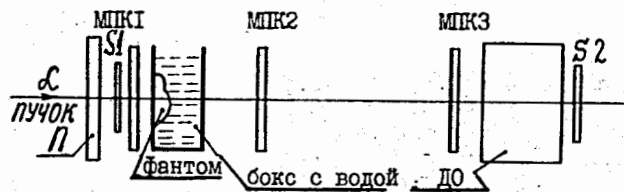


Рис. 10. Схема расположения экспериментальной аппаратуры на выведенном пучке ионов гелия, П - поглотитель, S - сцинтилляционные счетчики, ДО - детектор остановки.

Детектор остановки представляет собой систему из 12 независимых проволочных камер (каналов) с размещенными между ними поглотителями, роль которых выполняли алюминиевые катоды. Цена канала ДО составляла $0,082 \text{ г/см}^2$ тканезквивалентного вещества. Типичная гистограмма статистического распределения точек остановки частиц для гомогенного поглотителя показана на рис. 11. Распределение хорошо описывается гауссовой зависимостью, величина среднеквадратичного отклонения составляет 1,9 канала ДО, или $0,156 \text{ г/см}^2$. Исследуемый объект, помещенный в пучок ионов гелия, "проецируется" на плоскость, ортогональную оси пучка, а представляющая интерес площадь делится на равные по величине прямоугольные ячейки (100×100).

Распределение точек остановки для каждой элементарной ячейки определяет плотность части объекта, проецируемого на соответствующую ячейку. Результаты представляются с помощью цветного ТВ-монитора, заносятся в одномерные и двумерные гистограммы и таблицы.

Заканчивается глава анализом результатов исследований, которые показали возможность использования выведенных пучков ядер для целей радиографии. Чувствительность метода определения изменений плотности составляет $0,08\%$ при пространственном разрешении, лучшем, чем $2 \times 2 \text{ мм}$ и лучевой нагрузке на объект исследований, меньшей, чем 1 мрад .

Рис. 11.
 $36-38/$

В заключении сформулированы основные выводы диссертации:

1. Проведено систематическое исследование амплитудных и пространственно-временных характеристик пропорциональных и дрейфовых камер, заполненных газовыми смесями на основе инертных газов или парами углеводородов при давлении от сотен Па до сотен кПа. Показано, что при низком давлении ($0,2-1 \text{ кПа}$) имеет место механизм дополнительного усиления за счет ударной ионизации при движении электронов в однородном электрическом поле. Это позволяет в МПК с узкоазорными дрейфовыми промежутками повысить газовое усиление на два порядка. Под научным руководством автора и при его непосредственном участии впервые в стране созданы, исследованы и внедрены многоступенчатые лавинные камеры, работающие в широком диапазоне давлений.

Разработана методика широкого применения МПК и других модификаций газонаполненных координатных детекторов в фундаментальные и прикладные исследования в физике элементарных частиц, биологии и медицине, как с целью ускорения набора статистики, так и для решения качественно новых задач.

2. Впервые в стране применены МПК для организации выборочного запуска экспериментальной установки по измерению на ускорителе ИФВЭ упругого πp -рассеяния на малых углах.

3. Впервые в ОИЯИ разработана и исследована на синхрофазотроне система дрейфовых камер, работающая на линии с ЭВМ. Показано, что в камерах с большой длиной дрейфа (до 50 мм) обеспечивается определение координат треков заряженных частиц с точностью не хуже $0,2 \text{ мм}$.

4. Разработаны и введены в эксплуатацию в составе аппаратуры диагностики пучка (ИФВЭ, Серпухов) МПК с цифровым считыванием, обеспечивающие высокую координатную точность (шаг намотки анода - 1 мм). Система из 10 таких камер успешно использовалась более 5 лет для настройки сепарированного пучка антинейтронов с импульсом $12,2 \text{ ГэВ/с}$.

5. Предложен, создан и исследован время-проеctionный детектор на основе МПК с широкоазорным дрейфовым промежутком, работающий на принципе электронного проецирования трека заряженной частицы из дрейфового промежутка на анодную плоскость МПК. Показано, что детектор позволяет восстанавливать полную пространственную картину движения заряженных частиц в его объеме и измерять плотность ионизации на треке. Энергетическое разрешение при регистрации α -частиц с энергией 5 МэВ не хуже 3% . Пространственное разрешение около $0,3 \text{ мм}$ (ϕ).

Исследование детектора на синхрофазотроне ОИЯИ показало возможность разделения изотопов водорода и гелия, разрешающая способность по массе при этом (ШПВ) составила 10 и 6% соответственно. Математическим моделированием показана возможность идентификации элементов до ионов железа включительно.

6. Предложены и созданы оригинальные модификации электромагнитных линий задержки, разработана методика на их основе высокоточного катодного считывания координатной информации, что нашло широкое применение при создании специализированных установок. При регистрации α -частиц с энергией около 5 МэВ достигнуто пространственное разрешение $\delta = 40$ мкм.

7. Обоснована и экспериментально подтверждена перспективность применения проволочных газонаполненных координатных детекторов γ -квантов и нейтронов для целей радиографии. Проведено сравнение радиографических систем на основе этих детекторов и традиционных систем.

8. Предложено впервые использовать проволочные газонаполненные координатные детекторы для качественного и количественного анализа плоских радиохромограмм и электрофореграмм, меченных β -активными изотопами ^3H , ^{14}C , ^{32}P .

Впервые предложена и экспериментально показана возможность проведения анализа кодированной смеси белков (^{125}I) путем регистрации характеристического излучения с помощью таких детекторов.

Предложены и реализованы в установках для экспресс-анализа меченых соединений на плоских носителях оригинальные детекторы β - и γ -излучения. Разработана методика экспресс-анализа в практике исследований в области молекулярной биологии, проводимых ядерно-физическими методами. Разработанные методы и аппаратура успешно применяется при исследованиях биологически активных веществ, меченных радионуклидами, в МГУ /26/ и в Институте молекулярной биологии АН СССР /25/.

9. Предложена и создана оригинальная МПК с плоскими дрейфовыми промежутками и быстрыми линиями задержки, вошедшая в состав рентгеновского дифрактометра КАРД-3. Разработана методика использования координатных проволочных детекторов с быстрыми ЛЗ для дифрактометрических экспериментов с белковыми монокристаллами.

МПК обеспечивает высокую эффективность регистрации $\text{CuK}\alpha$ -излучения (70%), хорошую однородность эффективности по площади ($\pm 1\%$) и около 50000 элементов пространственного разрешения дифракционной картины.

На дифрактометре КАРД-3 в ИК АН СССР исследуются кристаллы с периодом решетки 9-18 нм при разрешении съемки 0,16-0,35 нм соответственно, за короткий срок получены данные для 40 монокристаллов белков, при этом зарегистрировано около $3 \cdot 10^6$ отражений. Эксперименты по сравнению с одноканальными дифрактометрами проводятся с ускорением во времени в 50 раз при таком же уменьшении лучевой нагрузки на образец.

10. Впервые в стране предложен и создан детектор γ -квантов на

основе МПК высокого давления (гамма-камера), которая в составе диагностической установки предназначена для обследования пациентов.

Обоснована возможность применения газонаполненных координатных детекторов γ -квантов для диагностических целей ядерной медицины. Детектор с большим полем зрения имеет высокую эффективность регистрации излучения с энергией до 100 кэВ и высокое собственное пространственное разрешение. Предварительные исследования показали возможность использования гамма-камеры для ряда диагностических обследований, в настоящее время гамма-камера проходит длительные клинические испытания.

11. Предложен эксперимент по ионной радиографии, разработана и реализована экспериментальная методика опыта по ионной радиографии на синхрофазотроне ОИЯИ с целью определения чувствительности метода. Проработана схема эксперимента, оценены и исследованы параметры выведенного пучка многозарядных ионов гелия. Создана детектирующая часть экспериментальной установки. Предложены некоторые алгоритмы, используемые при обработке экспериментальной информации.

Впервые в стране экспериментально показана возможность использования ускоренных частиц для низкодозной радиографии. На пучке ионов гелия разрешение по плотности составило 0,08%, пространственное разрешение - 2×2 мм, при этом лучевая нагрузка была около 1 мрад.

12. Накоплен опыт использования газонаполненных координатных детекторов в фундаментальных и прикладных исследованиях в физике элементарных частиц, медицине и биологии.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Golovatyuk V.M., Ivanov A.B., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1977, v.145, p.437.
2. Golovatyuk V.M., Peshekhonov V.D., Zanevsky Yu.V. Nucl. Instr. and Meth., 1977, v.140, p.259.
3. Абдулукуров Д.А., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. ПТЭ, 1983, №6, с.37.
4. Adylov G.T., Ailiev F.K., ..., Peshekhonov V.D. et al. JINR, E1-7934, Dubna, 1974.
5. Головатюк В.М., Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д. ПТЭ, 1978, №6, с.30.
6. Chernenko S.P., Chvyrov A.S., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1976, v.138, p.105.
7. Заневский Ю.В., Мочука Л., ..., Пешехонов В.Д. и др. Jaderna energie, 1983, № 29, с.148.

8. Басиладзе С.Г., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 3 Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с. 216.
9. Будилов А.А., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. ПТЭ, 1985, № 2, с. 48.
10. Зломанчук Ю., Наврот А., ..., Пешехонов В.Д. и др. ПТЭ, 1982, № 5, с. 53.
11. Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Черненко С.П. ОИЯИ, Р14-82-591, Дубна, 1982.
Пленарный доклад на II Всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. ИЯФ СО АН СССР, Новосибирск, 1982.
12. Анисимов Ю.С., Абдушукуров Д.А., ..., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, 18-85-282, Дубна, 1985.
13. Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д. ПТЭ, 1978, № 2, с. 7.
14. Балдин А.М., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 4 совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-82-117, Дубна, 1982, с. 78.
15. Балдин А.М., Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Семенюшкин И.Н. ОИЯИ, 18-81-48, Дубна, 1981.
16. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. ПТЭ, 1978, № 3, с. 60.
17. Zanevsky Yu.V., Chernenko S.P., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1978, v.153, p.445.
18. Анисимов Ю.С., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 3 Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам, ОИЯИ, 13-11807, 1978, с. 245.
19. Анисимов Ю.С., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, 11-83-668, Дубна, 1983.
20. Anisimov Yu.S., Chernenko S.P., ..., Peshekhonov V.D. et al. J. of Chromatography, 1979, v.178, p.117.
21. Anisimov Yu.S., Chernenko S.P., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1980, v.176, p.67. (Wire Chamber Conf. Vienna).
22. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., ..., Пешехонов В.Д. и др. Авторское свидетельство СССР №624162. Бюллетень изобретений №34, 1978, с. 139.
23. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, Р13-11310, Дубна, 1978.
24. Abdushukurov D.A., Anisimov Yu.S., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1983, v.217, p.101.
25. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., ..., Пешехонов В.Д. и др. Биоорганическая химия, 1984, т. 10, № 6, с. 776.

26. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 4 совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-82-117, Дубна, 1982, с. 396.
27. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. Авторское свидетельство СССР №327051. Бюллетень изобретений №43, 1983, с. 260.
28. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 3 Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с. 249.
29. Заневский Ю.В., Иванов А.Б., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. Тезисы докладов 6 Всесоюзной конференции. Новосибирск, 1981, с. 16.
30. Anisimov Yu.S., Chernenko S.P., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1981, v.179, p.503.
31. Анисимов Ю.С., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. Кристаллография, 1981, т. 26, вып. 6, с. 1305.
32. Andrianova M.E., Kheiker D.M., ..., Peshekhonov V.D. et al. J. Appl. Cryst., 1982, v.15, p.626.
33. Заневский Ю.В., Калантаров К.Д., ..., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, Р13-81-298, Дубна, 1981.
34. Anisimov Yu.S., Cheremukhina G.A., ..., Peshekhonov V.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1985, A235, p.582.
35. Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Семенюшкин И.Н. и др. ОИЯИ, 14-11330, Дубна, 1978.
36. Анисимов Ю.С., Говорун Н.Н., ..., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, Р13-11872, Дубна, 1978.
37. Анисимов Ю.С., Говорун Н.Н., ..., Пешехонов В.Д. и др. В кн.: Труды 3 Совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-12147, Дубна, 1979, с. 327.
38. Анисимов Ю.С., Заневский Ю.В., ..., Пешехонов В.Д. и др. ОИЯИ, 18-80-441, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 февраля 1986 года.