

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. ТАРАСА ШЕВЧЕНКО

На правах рукописи

УДК 539.1.539.121.7

Шевченко Валерий Андреевич

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДИК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

КИЕВ-1994



00778462 (Y)

Дисертацією являється
 Работа выполнена в Киев

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук

Сикора Дмитрий Ильич,

доктор физико-математических наук

Пугач Валерий Михайлович,

доктор физико-математических наук

Лакурник Валентин Тимофеевич

Ведущая организация: Институт космических исследований
 Российской академии наук, Москва.

Защита состоится " 26 " января 1996 г. в 14¹⁵

часов на заседании Специализированного совета Д 016.03.01 при

Институте ядерных исследований НАН Украины по адресу:

252028, г.Киев, проспект Науки, 47.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
 ИЯИ НАН Украины.

Автореферат разослан " 26 " декабря 1994 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета
 кандидат физ.-мат. наук

В.Д.Чеснокова

Актуальность проблемы обусловлена все более растущей потребностью международного сообщества в практическом применении результатов фундаментальных исследований, в том числе и в области ядерной физики, для решения таких сложных проблем современности, как охрана окружающей среды, борьба с наиболее опасными заболеваниями и другие. В последние два десятилетия методы ядерной физики воплотились в бесчисленные приложения в технике, энергетике, медицине, экологии и многих других областях человеческой деятельности. Среди них пожалуй наиболее впечатляющими являются вычислительная сканирующая рентгеновская томография, ионные технологии в микроэлектронике, радиозоология, освоение космического пространства.

Цель работы заключается в создании спектрометрических систем, устройств быстрой, цифровой и прецизионной ядерной электроники для исследований в области физики быстрых нейтронов, прикладной ядерной физики (экология, вычислительная сканирующая рентгеновская томография), свойства поверхности твердых тел, исследования корпускулярных потоков в космосе);

в создании необходимых устройств и методик определения энергетических потерь легких ионов в поверхностных слоях твердых тел методом спектрометрии Резерфордского обратного рассеяния (FOR);

в измерении распределения атомов по глубине и состава тонких поверхностных слоев твердых тел;

в создании прецизионных преобразователей аналог-код для вычислительной рентгеновской томографии и других приложений;

в разработке измерительных систем для исследования свойств полупроводниковых детекторов (ПД) заряженных частиц, изучения их функции отклика при облучении легкими ионами низких энергий.

Научная новизна. Созданные уникальные спектрометрические комплексы, устройства быстрой, прецизионной, цифровой электроники позволили ученым лаборатории ядерной физики Киевского университета в течение более пятнадцати лет выполнять многочисленные исследования ядерных реакций, инициируемых DD и TD нейтронами. В

частности, были выполнены приоритетные исследования γ -излучения реакции $(n, n' \gamma)$ на ядрах редкоземельных элементов, изучены угловые распределения нейтронов и γ -квантов, возникающих в реакциях с нейтронами энергии 14 Мэв.

Одним из наиболее впечатляющих достижений прикладной ядерной физики является создание вычислительных сканирующих рентгеновских томографов (BCPT), в основе которых лежит механизм взаимодействия низкоэнергетических γ -квантов с веществом. Специально для BCPT была разработана серия прецизионных преобразователей ток-код. Лучший из них имеет $2 \cdot 10^6$ эквивалентных уровней квантования при времени преобразования $1.5 \cdot 10^{-3}$ с. Эти преобразователи защищены тремя авторскими свидетельствами. Они использовались в разработках отечественных BCPT и в автоматической системе для измерения фазовых характеристик пучков ускорителей.

За последние полтора десятилетия существенно обострились экологические проблемы. Для систем использующих ядерно-физические методы анализа загрязнений атмосферы были созданы патентно чистые специализированные устройства для обработки в реальном времени спектрометрической информации.

Еще одно направление исследований связано с бурно развивающимся применением ядерно-физических методов для изучения физических явлений в поверхностных слоях твердых тел. В рамках этого направления созданы спектрометрические системы для анализа резерфордского обратного рассеяния (RO⁺) ионов, для изучения свойств и функции отклика ПЦД; разработана прецизионная, управляемая от ЭВМ, система стабилизации магнитного поля анализирующего магнита для низковольтного ускорителя ионов.

Методом спектрометрии POP изучены энергетические потери низкоэнергетических протонов в области максимума на Fe, Cd, Si, Au и высокотемпературном сверхпроводнике $Y_1Ba_2Cu_3O_x$; параметры тонких пленок золота на кремнии и алюминия на титане.

В прямых потоках легких ионов низких энергий изучены свойства новых типов ПЦД. Получен обширный материал по амплитудному дефекту и статистическим свойствам функции отклика для различных энергий и масс ионов. Для выполнения этих измерений были разработаны методы ускорения одиночных ионов с $A = 1 - 15$ с энергией 20 - 500 кэВ на единицу заряда в каскадном ускорителе ионов.

Апробация работы и публикации

Результаты работы опубликованы в научной печати, докладывались на всесоюзных и международных Сессиях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на всесоюзных нейтронных конференциях, международных конференциях (ФРГ, 1992; США, 1994), сессиях прикладного характера; экспонировались на выставках, представлены в отчетах по НИР.

В итоге, результаты выполненных работ отражены в 76 публикациях: 22 статьи, 36 докладов (тезисы опубликованы), 11 отчетов о НИР по хозяйственным и государственному темам, 4 авторских свидетельства на изобретения и один патент Украины.

Личное участие автора в получении результатов диссертации.

При личном участии автора выполнены все этапы исследований, которые включены в диссертацию. Автор принимал активное участие в постановке задач, в разработке и создании аппаратурных комплексов, проведении измерений, разработке необходимого программного обеспечения, обработке результатов измерений и подготовке текстов публикаций. Выступал с докладами на семинарах и конференциях.

Практическая ценность работ состоит в возможности использования разработанных методик и полученных результатов в различных областях приложений (экология, вычислительная рентгеновская томография, свойства поверхности твердых тел, космические исследования). Созданные экспериментальные установки и методики использовались для решения некоторых научных и прикладных задач, предусмотренных протоколами о научном сотрудничестве и хозяйственными соглашениями Киевским университетом с различными организациями стран СНГ, а также в рамках международных космических программ "Интерпол", "Марс-94", "Марс-96", "Реликт", "Предупреждение".

Созданные устройства и полученные результаты использовались в экспериментальных исследованиях следующими организациями:

1. ВНИИАП, Киев, (Измерительные системы для экологических исследований и контроля окружающей среды).
2. Институт гока, Москва, (полупроводниковые детекторы, томография).
3. ВНИИСП, Лаборатория томографии, Москва, (полупроводниковые детек-

торы (ПЦД), томография).

4. ИКИ РАН, Москва, (полупроводниковые детекторы, спектрометры заряженных частиц для космических аппаратов, исследования корпускулярных потоков в космосе).

5. ИОХБ, Прага, (разработка ПЦД).

6. Институт космических исследований, Греция, (калибровка ПЦД).

7. СКГБ "ФИЗИКА-СОЛНЦЕ", Ташкент, (разработка ПЦД).

8. Лаборатория радиационной физики, КНУ, Киев, (воздействие радиации на сплавы металлов).

Некоторые результаты диссертации включены в курсы лекций для студентов кафедры ядерной физики, используются на практических занятиях и спецпрактикумах в Киевском университете имени Т. Шевченко. Пятнадцать студентов кафедры ядерной физики выполняли у автора дипломные работы.

Под научным руководством автора прошли обучение два аспиранта, один из них защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (тема: "Ядерное обратное рассеяние низкоэнергетических протонов и ионов гелия на поверхностных структурах твердых тел", Киев, 1991 г.).

О б ъ е м и с т р у к т у р а д и с с е р т а ц и и.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 411 названий. Полный текст диссертации в объеме 335 машинописных страниц включает в себя 18 таблиц, 115 рисунков на 58 страницах.

С О Д Е Р Ж А Н И Е Д И С С Е Р Т А Ц И И

Во В в е д е н и и сформулированы актуальность темы и цель работы, новизна научных результатов, их научная и практическая ценность. Рассмотрены основные задачи по каждой из глав и научные положения, выносимые на защиту.

В п е р в о й г л а в е описаны методические разработки и содеянные на их основе сплаватурные комплексы, устройства быстрой, прецизионной и цифровой электроники для изучения взаимодействия быстрых нейтронов с атомными ядрами, которое является мощным средством исследования как структуры конкретных ядер, так и механизмов

протекания ядерных реакций. Одним из наиболее плодотворных направлений нейтронных исследований является изучение γ -лучей, возникающих при неупругом рассеянии нейтронов атомными ядрами в реакциях (n, n', γ) . Основная проблема при исследовании реакций с нейтронами заключается в том, что нейтроны создают очень высокий уровень фона. Для выделения полезной информации мы использовали метод электронного коллимирования нейтронов, генерируемых в $D(d, n)^3\text{He}$ реакции, что позволило выполнить серию экспериментов по изучению γ -квантов реакции (n, n', γ) на чистых изотопах редких земель с весом образцов 3-5 грамм.

Одним из первых был создан комплекс аппаратуры для исследования реакции (n, n', γ) на основе однокристалльного спектрометра полного поглощения с колодцем (рис.1). Для фиксации направления и момента вылета нейтрона из реакции $D(d, n)^3\text{He}$ служит поверхностно-барьерный Si-детектор, на который сопутствующие $^3\text{He}_2$ частицы попадают через систему диафрагм и тонкую пленку Al для защиты от рассеянных нейтронов и света мишени генератора нейтронов. Сигналы Si-детектора усиливаются быстрым предусилителем тока, усилителем и поступают на быстрый дифференциальный дискриминатор для отделения импульсов $^3\text{He}_2$ от импульсов протонов и ^4He из конкурирующей реакции $D(d, p)\text{T}$. Конвертор T-A (собственное разрешение $80 \cdot 10^{-12}$ сек) и медленный дифференциальный дискриминатор отбирают события, соответствующие реакции (n, n', γ) на образце. Мониторирование числа нейтронов, прошедших через образец производится подсчетом импульсов от $^3\text{He}_2$ и регистрируются амплитудным анализатором. Светосила описанной установки возросла в 10 раз по сравнению с предыдущими. На этом комплексе были изучены спектры γ -лучей из реакции (n, n', γ) на ядрах Fe, ^{64}V , ^{115}In и ^9Be . Для изучения углового распределения γ -лучей (n, n', γ) -реакции на изотопах весом в несколько граммов разработан комплекс для многомерного анализа. Он содержит ^3He -канал для выделения "рабочих" нейтронов по методу электронной коллимации, шесть γ -каналов, по которым поступает спектроскопическая и временная информация о γ -квантах, вышедших из образца под шестью углами. В угловом интервале 90° они обеспечивают получение дифференциальных спектров с энергетическим разрешением 3.6 - 9,1% по ^{137}Cs . На этой установке измерены энергетические и угловые распределения γ -лучей из (n, n', γ) -реакции на ^{144}Pr и ^{140}Ce . Методы, развитые в эти

разработках использовались при создании аппаратуры с германиевым детектором для прецизионного изучения реакции ($n, n'\gamma$) на разделенных изотопах редких земель и комплекса для изучения (n, p) реакции.

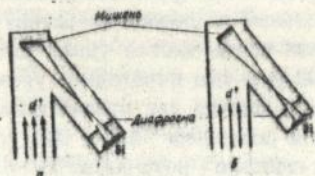
Для экспериментов с нейтронами нами разработаны простые и высоконадежные преобразователи время-амплитуда на интегральных (ТТЛ) логических элементах. Электрическое решающее время $2\Delta t = 80$ пс. Центр тяжести смещается на 40 пс, и кривая совпадений уширяется до 120 пс при увеличении загрузки до 10^6 импульсов/с. Интегральная и дифференциальная нелинейности не превышают $\delta = 5\%$. Для работы в миллисекундном диапазоне был разработан преобразователь время-цифровой код, работающий по принципу "чтение на ходу" в старт-стопном режиме. Создана система стабилизации наклона характеристики преобразования и положения нуля шкалы амплитудного анализатора импульсов. Стабильность энергетической шкалы возросла до 0,03%, дополнительное уширение пиков при работе стабилизации не превышало 20%.

Для более рационального использования анализатора АИ-4096 был разработан блок приоритетов, позволяющий обслуживать сразу до 8-ми экспериментальных групп (анализ типа номер датчика-амплитуда) с независимым управлением ресурсами.

Слабое взаимодействие быстрых нейтронов с веществом, невозможность точного учета вклада нейтронов, рассеянных от стен помещения, отсутствие точной калибровки нейтронных счетчиков приводит к тому, что при непосредственном измерении интенсивности нейтронного потока удается определить только порядок его величины. Однако, используя в качестве источника нейтронов ускоритель и одну из экзотергетических реакций с вылетом нейтрона эту трудность можно обойти, регистрируя не нейтроны, а сопутствующие им заряженные частицы. Этот метод был развит в данной работе при мониторинговании нейтронов из TD- и DD-реакций.

Связь числа зарегистрированных в единицу времени сопутствующих частиц N с интенсивностью нейтронного потока J в предположении, что угловое распределение ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ в соответствующих реакциях сферически симметрично и интенсивность дейтронного пучка равномерно распределена по пятну на мишени, для двух вариантов расположения мишени (рис.2) имеет вид:

$$J_{\alpha} = \frac{4KN}{R^2} \left[\frac{\sin^2\theta}{z_0^2} + \frac{1}{\alpha^2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \alpha^2 \mu^2 / (\alpha^2 + z_0^2)}} - 1 \right) \right]^{-1}, \quad (I)$$



Расположение мишеней по отношению к пучку дейтронов

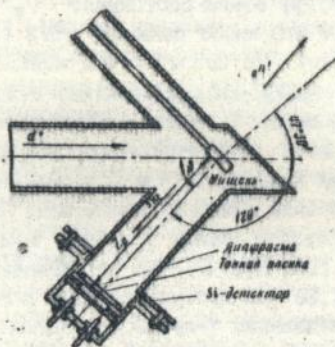


Рис. 2. Геометрия мишенной камеры генератора нейтронов.

$$J_b = \frac{4KN}{R^2} \left[\frac{1}{z_0^2} - \frac{a^2 + b^2}{z_0^4} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где z_0 - расстояние между центрами мишени и диафрагмы, a и b - полуоси эллипсоидального пятна от гучка на мишени, ϕ - угол между плоскостью мишени и направлением на диафрагму ($\mu = \cos\phi$), K - коэффициент анизотропии, $K=0,78$ для DD-реакции и 1 для DT. На достаточно большом удалении детектора от мишени $z_0 \gg a$ формулы упрощаются

$$J = 4\pi KN / \omega, \quad (3)$$

где ω - телесный угол, под которым диафрагма "видна" из мишени.

Коэффициент анизотропии K определяется из формулы

$$K = \sigma \left[4\pi \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\phi_n} \right]^{-1} \quad (4)$$

где σ - сечение соответствующей реакции, $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\phi_n}$ - дифференциальное сечение реакции под углом вылета нейтронов. Точность мониторинга не хуже 3%. Следует отметить, что при мониторинге DD-нейтронов толщина фольги должна быть малой (~220 мкг/см²), к тому же она весьма критична. Это связано с низкоэнергетичностью сопутствующих ²He частиц (~400 кев).

Комплексы аппаратуры и блоки электроники описанные выше позволили выполнить множество экспериментов по изучению состояний атомных ядер, возбуждаемых в реакциях с быстрыми нейтронами.

Например, были исследованы энергетические спектры γ -лучей из реакции $(n, n'\gamma)$ ($E_n = 2,7$ МэВ) на изотопах ⁹⁰Ze, ⁹¹V, ⁹⁴Fe, ⁹⁶Fe и ¹²⁰In с использованием комплекса аппаратуры на основе однокристалльного спектрометра полного поглощения с колодцем.

Измерены дифференциальные сечения и угловые распределения гамма лучей реакции $(n, n'\gamma)$ на ¹²⁴Pg и ¹²⁶No. Их анализ дал информацию о спинах возбужденных состояний ядер. Нейтроны с энергией 2,7 МэВ получались из реакции $D(d, n)He^3$, осуществляемой на низковольтном ускорителе. Образцы цилиндрической формы, спрессованные из оксидов ¹²⁴Pg и ¹²⁶No (вес 4-9 г), располагались на оси "конуса" коллимированных нейтронов. Анализ угловых распределений γ -лучей проведен на основе статистической модели Хаузера - Фешбаха с использованием формализма Сечлера. Статистически выделены принадлежащие ¹²⁴Pg переходы с энергиями γ -лучей $0,64 \pm 0,01$; $0,88 \pm 0,01$; $0,96 \pm 0,015$; $1,12 \pm 0,01$; $1,30 \pm 0,015$; $1,47 \pm 0,015$; $1,82 \pm 0,015$ МэВ. Большинство обнаруженных γ -переходов вписываются в систематику, предложенную на ос-

повании изучения функции возбуждения (n, n', γ)-реакции на ^{144}Pr .

Из угловых распределений и дифференциальных сечений γ -лучей реакции $^{144}\text{Pr}(n, n', \gamma)$ на основании формализма Сачлера определены спины восьми возбужденных состояний ^{144}Pr . Спин уровня 0,996 МэВ из ранних работ $J^{\pi} = 3/2, 3/2_{+}$. В приближении Нильссона этот уровень имеет одночастичную прототипу с набором асимптотических квантовых чисел [413]. Расчеты Соловьева в рамках сверхтекучей модели ядра определяют этот уровень как почти чистое (98%) одноквазичастичное состояние [413]₁. Мы наблюдали два перехода с уровня 0,998 МэВ с энергиями 0,56 и 0,63 МэВ на первые два уровня ротационной полосы, основанной на одночастичном состоянии 0,361 МэВ $3/2_{+}$, [411]. Разрядка уровня 0,99 МэВ в основное состояние $3/2_{-}$ [523] затруднено правилами отбора по асимптотическим квантовым числам. Наши данные подтверждают значение спина $3/2_{-}$ уровня 0,99 МэВ. Уровень 0,717 МэВ изучался в β -распаде. Наше значение спина составляет $3/2_{-} - 7/2_{-}$. Сверхтекучая модель ядра с учетом взаимодействия квазичастиц с фононами дает сложную структуру этого состояния: $7/2_{-} + [404]_{1} - 94\%$, $[402]_{1} + Q_{1}(22) - 4\%$. 1,14 МэВ имеет величину 5/2 (в предшествующих работах не определялся). По сверхтекучей модели этот уровень имеет сложную структуру: $[402]_{1}^{\dagger} - 2\%$, $[411]_{1} + Q(22) - 97\%$. Спин уровня 1,186 МэВ ранее не определялся. В нашем эксперименте этот уровень проявился в двух фотопиках, соответствующих переходам 1,186-0; 1,186-0,21 МэВ с энергиями квантов 1,18 и 0,98 МэВ. Угловые распределения позволяют предположить величину спина 9/2. Переходы 0,78 и 1,78 МэВ хорошо укладываются в схему уровней, если предположить существование состояния 1,78 МэВ в ^{144}Pr со спином 9/2. Угловое распределение перехода 1,98 МэВ изотропно (спин 3/2-5/2). Большая асимметрия углового распределения γ -лучей с энергией 1,6 МэВ соответствует теоретическим кривым для перехода 2,29 + 0,68 МэВ. Тот факт, что другие варианты дают значительно меньшую асимметрию, подтверждает существование уровня 2,29 МэВ со спином 11/2. Учитывая то, что ^{144}Pr является типичным сильно деформированным нечетным ядром лантаноидной области деформаций, было осуществлено сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами, выполненными в рамках модели парных корреляций. При этом мы надеялись, с одной стороны, проверить правильность предсказания теорией положения энергетических уровней, а с другой - попытались определить

четность идентифицированных таким образом состояний. Кроме того, рассчитанные приведенные вероятности электромагнитных переходов привлекались для объяснения относительных интенсивностей обнаруженных в реакции $(n, n'\gamma)$ переходов. При расчете неротационных состояний ^{165}Ho по модели парных корреляций учтено по 43 протонных и нейтронных уровня среднего поля по схемам, матричные операторы мультипольных моментов рассчитаны с волновыми функциями Нильссона. Величины $\alpha^{(2)}$ и $\alpha^{(4)}$ мультиполь-мультипольного взаимодействия варьировались в пределах 6,0-6,3 и 0,6-0,63, при этом получены совпадающие с опытом первые фононные возбуждения ^{165}Gd . При расчете состояний ^{165}Ho учитывались вклады первых и вторых ($1 = 1, 2$) фононов с $\lambda_1 = 20, 22, 30, 31, 32$, а также эффект блокировки при расчете возбуждений D_2 и H_0 . Для сравнения с имеющимися данными по ^{165}Ho были рассчитаны все неротационные состояния с K^π от $1/2^+$ до $11/2^+$ для энергий до 2000 кэВ, а также приведенные вероятности электрических переходов $B(E_{\lambda_1})$ в одночастичных единицах в основном и на другие состояния. Модель позволяет сравнивать различные $B(E_{\lambda_1})$ и предсказать наиболее вероятные переходы в предположении, что заселенность возбужденных состояний является плавной функцией их энергии. Анализ экспериментальных результатов по ^{165}Ho , имеющему большое число коллективных (ротационных) и квазичастичных состояний, говорит о том, что интенсивности переходов между последними часто по крайней мере не уступают интенсивностям переходов между коллективными состояниями как в радиоактивном распаде, так и в ядерных реакциях. С появлением $\text{Ge}(\text{Li})$ детекторов открылись новые возможности в исследованиях с нейтронами. В нашей лаборатории проведены исследования реакций $(n, n'\gamma)$ на обогащенных изотопах $^{144,150}\text{Nd}$. Обнаружено существование значительных особенностей взаимодействия "низкоэнергетических" ($KR \approx 1$) нейтронов с ядрами Nd , обладающих статической деформацией. Измерены дифференциальные сечения для шести γ -переходов ядра ^{144}Nd . Используя формализм Сатчлера-Шелдона для расчетов угловых распределений, мы впервые нашли квантовые характеристики состояний 2072,3 кэВ (2^+) и 2111,0 кэВ (4^+). Теоретическое значение 2.51 бн интегрального сечения образования составного ядра хорошо согласуется с суммарным экспериментальным значением сечения (2.50 ± 0.18) бн возбуждения восьми уровней ^{144}Nd . Однако экспериментальные сечения отдельных уровней сильно отлича-

ются от предсказанных статистической моделью, причем самое большое расхождение наблюдается для 1-го 2^+ и 2-го 4^+ уровней. Вклад прямого процесса в интегральное сечение возбуждения этих состояний (по методу связанных каналов) также не в состоянии устранить разногласия:

$$\left\{ (\sigma_{\text{хф}}(2^+) = 440, \text{ мб}) + (\sigma_{\text{прям}}(2^+) = 120 \text{ мб}) \right\} < \sigma_{\text{эксп}}(2^+) = 760 \pm 90 \text{ мб} \quad (5)$$

$$\left\{ (\sigma_{\text{хф}}(4^+) = 270 \text{ мб}) + (\sigma_{\text{прям}}(4^+) = 20 \text{ мб}) \right\} < \sigma_{\text{эксп}}(4^+) = 470 \pm 50 \text{ мб} \quad (6)$$

У ^{150}Nd введено два новых состояния (804,0 кэВ; $J^{\pi}_K = 1^-0$ и 1758,4; $J^{\pi}_K = 2^-2$), существования и положение которых предсказывалось моделью парных корреляций сверхпроводящего типа. Предсказания этой же модели использовались и для получения дополнительной информации о квантовых состояниях нечетного деформированного ядра ^{150}Nd .

Во второй главе рассмотрены некоторые приложения методов ядерной физики в экологии и медицинской технике.

Задача экспресс-анализа химического состава загрязнений воздуха, решаемая с использованием ядерных реакций типа (p, γ) , $(p, \alpha \gamma)$ т.д., требует комплексного исследования возбужденного γ -излучения в широкой области энергий от сотен электронвольт до десятков миллионов электронвольт. Эффективное исследование γ -лучей определенных энергетических интервалов возможно лишь с применением соответствующих γ -датчиков (Si(Li), NaJ(Tl), Ge(Li)), а минимизация времени экспозиции приводит к необходимости одновременного измерения энергий γ -лучей тремя - четырьмя γ -датчиками разных типов. Высокая точность и минимальное время анализа могут быть обеспечены при достижении максимальной скорости регистрации полезной информации измерительной системой. Аналитически полезная информация в энергетических спектрах γ -лучей содержится в небольшом количестве пиков. Такая ситуация встречается при многомерном анализе информации типа номер датчика-амплитуда. Так как информативной оказывается только малая часть (~10%) каналов анализатора, возникает задача отбора и сжатия информации, для уменьшения объема дорогостоящей анализирующей аппаратуры и уменьшения времени регистрации. Анализ существующих методов отбора сжатия спектрометрической информации показал, что аналоговый отбор обладает недопустимо малой точностью и недоста-

точной стабильностью, а существующие цифровые методы, как правило, значительно увеличивают время регистрации. Нами был предложен патентно чистый метод отбора и сжатия цифровой информации в процессе работы АЦП. На его основе разработаны устройства цифрового отбора и сжатия информации γ -спектрометров и много мерный преобразователь номер датчика - код с отбором и сжатием информации, которые не увеличивают мертвое время системы анализа-регистрации.

Высокая точность и минимальное время анализа могут быть обеспечены при достижении максимальной скорости регистрации информации анализирующей аппаратурой. Однако, при работе в условиях повышенных импульсных нагрузок в спектрах появляются специфические искажения, обусловленные наложением сигналов. Поэтому применяются специальные устройства режекции наложенных сигналов, которые анализируют каждое событие и, в случае наложения импульсов, исключают их. Анализ существующих методов режекции показал, что практически все описанные в литературе режекторы содержат блоки линейного пропускания и одновибраторы для задержки выходного сигнала. Существовавший уровень технологии не позволял выполнить эти блоки с параметрами, обеспечивающими возможность их применения в спектрометрах с высоким энергетическим разрешением. Поэтому нами было разработано устройство режекции наложений, не содержащее вышеупомянутых блоков в явном виде.

Разработки для медицинской томографии. Вычислительная сканирующая рентгеновская томография (ВСРТ) - это восстановление с помощью ЭВМ томографической плоскости объекта (среза). Оно выполняется исходя из множества измерений поглощения рентгеновских лучей, сделанных при сканировании объекта. Точность изображения будет зависеть от природы источника рентгеновских лучей и детекторов, числа и скорости произведенных измерений, деталей техники восстановления и интерпретации данных.

Результатом измерения в стандартной схеме рентгеновской томографии является двумерный массив данных $I(l, \theta)$, характеризующих интенсивность прошедшего через объект излучения для каждого угла θ и прицельного расстояния l . Если закон поглощения имеет стандартный вид $dl/d\xi = -\alpha\xi$, то

$$I(l, \theta) = I_0 \exp \left[- \int_0^l \int_G f(x, y) \delta(l-x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \right], \quad (7)$$

где $f(x, y)$ - искомый коэффициент поглощения плоскости сканирования, G - локальный носитель функции f , δ - дельта-функция. Используя обозначения $p(l, \theta) = -\ln(I(l, \theta)/I_0)$, переходят к линейному уравнению

$$Tf = \int_{L(l, \theta)} f(x, y) dx = p(l, \theta), \quad (8)$$

которое исследовано достаточно полно, существуют даже явные формулы для его решения. Однако применение этих формул при приближенно заданной информации связано с преодолением существенных трудностей в силу некорректности задачи. Традиционно полагают, что оператор T действует из $L_2(\mathbb{R}_2)$ в $L_2(\mathbb{R}_2)$. Оператор T имеет сопряженный:

$$T^*p = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} p(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta = u(x, y). \quad (9)$$

Можно показать, что

$$T^*Tf = \iint \frac{f(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} = u(x, y) \quad (10)$$

Применяя преобразование Фурье, получим уравнение, связывающее преобразование Фурье элементов f и u :

$$\tilde{u}(\omega_1, \omega_2) = \frac{1}{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}} \hat{f}(\omega_1, \omega_2). \quad (11)$$

Это уравнение рассматривают как уравнение из $L_2(\mathbb{E}_2)$ в $L_2(\mathbb{E}_2)$ с оператором умножения на $1/\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}$, который очевидно неограничен из $L_2(\mathbb{E}_2)$ в $L_2(\mathbb{E}_2)$, причем неограниченным является и обратный к нему оператор. В силу унитарности преобразования Фурье неограничен оператор T^*T , а, стало быть, и операторы T и T^* .

Для устойчивого решения таких уравнений используют соответствующие регуляризующие схемы с неограниченным оператором. В силу простой структуры оператора T^*T достаточно легко производить

построение таких схем. В частности тихоновская схема аппроксимации имеет вид

$$f_{\alpha}(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} e^{-(\omega_1 x + \omega_2 y)}}{1 + \alpha \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}} d\omega_1 d\omega_2$$

$$x \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(\omega_1 x' + \omega_2 y')} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} p_{\delta}(x' \cos \theta + y' \sin \theta, \theta) d\theta dx' dy' \quad (12)$$

Компактная запись этой формулы выглядит следующим образом:

$$f_{\alpha} = (T^* T + \alpha E)^{-1} T^* p_{\delta} \quad (13)$$

Остается стандартным образом согласовать параметр регуляризации с точностью задания входной информации δ .

В настоящее время томографические исследования все более вторгаются в медицину, биологию, микроэлектронику.

В сканирующих рентгеновских томографах измеряемыми величинами являются токи детекторов рентгеновского излучения, преобразуемые в цифровой код для передачи на ЭВМ. Характеристики преобразователей - чувствительность, точность, диапазон и время измерения - определяются конкретными физическими свойствами объекта анализа, необходимой точностью представления данных для решения системы интегральных уравнений

В первых медицинских томографах применяли источник рентгеновского с коллиматором, формировавшим "игольчатый" луч и один детектор. Требование минимума облучения пациента привело к созданию многодетекторных систем (от десятков и сотен в ВРТ второго поколения до тысячи в ВСРТ третьего). В этом случае коллиматор формирует "верный" луч толщиной 0.1-0.5 мм.

Дифференциальная плотность объекта анализа в томографе третьего поколения (для всего тела) может изменяться в широком диапазоне (плотная черепная ткань - легкие ткани), создавая перепады

интенсивности $\sim 10^6$. При этом для решения системы интегральных уравнений с приемлемой точностью, необходимо различать не менее 2^{11} градаций интенсивности для прошедших через тело рентгеновских лучей. Кроме того, доза облучения изучаемого объекта не должна превышать 5 бэр, а максимальный ток обычно применяемых детекторов не превышает 10 мкА. Исходя из этих величин были сформулированы требования к измерительной системе и рассчитаны необходимые ее характеристики: диапазон измеряемых величин, равный 10^6 в относительных единицах и от 10^{-8} до 10^{-5} А по току; точность преобразования - 0,05%, постоянная во всем диапазоне измеряемых величин; время преобразования 1,5 мс; чувствительность 0,1 нА; эквивалентное число уровней квантования АЦП $2 \cdot 10^6$.

В бывшем СССР разработка ВРТ для медицинских целей началась в середине семидесятых сначала в Институте токов АИ СССР, и, затем, продолжена во ВНИИДИ (Москва). Часть работ, связанная с исследованием детекторов рентгеновского и γ -излучения и разработкой прецизионных систем измерения их сигналов, выполнялась в ЛЯФ КГУ. Нами была разработана серия прецизионных интеграторов, преобразователей ток-код, измерительные комплексы. Лучший из наших АЦП имеет $2 \cdot 10^6$ эквивалентных уровней квантования при времени преобразования менее $1,5 \cdot 10^{-3}$ с. Эти преобразователи защищены тремя авторскими свидетельствами. Они используются в разработках отечественных ВСРТ и сопутствующих научных исследованиях, а также в автоматической системе для измерения фазовых характеристик пучков ускорителей.

Третья глава посвящена исследованию тормозных потерь легких ионов в веществе методом спектрометрии реэферфордского обратного рассеяния (ROR), измерению распределения атомов по глубине и составу тонких поверхностных слоев твердых тел.

Достижения физики поверхности в значительной степени определяются и появлением новых методов исследования поверхностей и границ раздела. Особенно важно исследовать интегральное содержание примесей в образце и находить профили концентраций определяемых элементов в поверхностных слоях, кардинально влияющих на свойства материалов. Поэтому особое значение приобретают методы исследования поверхностей и профилей распределения примесей. Среди этих методов видное место занимают методы локального анализа состава

и структуры материалов, основанные на использовании пучков заряженных частиц. Наиболее распространенные в настоящее время методы измерения глубинного распределения примесей требуют послойного травления, то есть, являются методами разрушающего контроля.

В связи с этим повышенный интерес вызывают быстро прогрессирующие неразрушающие методы анализа, основанные на использовании моноэнергетических пучков ускоренных ионов с энергией до нескольких мегаэлектронвольт. К ним относятся метод POP, метод возбужденных атомов с регистрацией характеристического рентгеновского излучения, метод ядерных реакций и ядер отдачи и другие.

В ЛЯФ КГУ была разработана методика и выполнен цикл работ по определению энергетических потерь легких ионов из спектров POP, измерению распределения атомов по глубине и составу тонких поверхностных слоев твердых тел. Проведен анализ факторов, искажающих форму спектра POP и методов учета влияния геометрического фактора, многократного рассеяния, качества поверхности, страгглинга и сложного состава.

Форма спектра определяется в основном двумя факторами: энергетической зависимостью сечения рассеяния и тормозной способностью, она зависит также от соотношения масс налетающей и рассеивающей частиц и геометрии эксперимента:

$$N_0(\theta, E_0, kE_0) = N_0 n_0(E_0, \theta) \frac{\sigma}{S(kE_0) \cdot (g + kS(E_0) / S(kE_0))} \quad (14)$$

С помощью энергетических спектров определяется распределение элементов по глубине и элементарный состав образца. Основная задача анализа энергетических спектров - определение числа рассеивающих центров и распределение их по глубине, исходя из данных о числе рассеянных частиц, зарегистрированных с определенной энергией.

Экспериментальная часть работы была выполнена на ускорителе ионов $E = 50-300$ кэВ на заряд. Блок-схема установки показана на рис. 3. Поверхностно-барьерный детектор имел площадь активной поверхности 6 мм^2 , энергетическое разрешение 16 кэВ и мертвую зону $1,6$ кэВ для протонов с энергией 200 кэВ. Сигналы детектора усиливались зарядово-чувствительным предусилителем ПУ-21 (собственный шум ~ 5 кэВ) и, далее, спектрометрическим усилителем БУС-2-96.

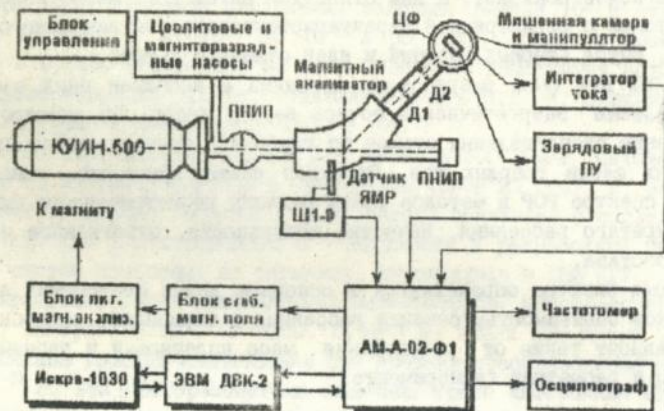


Рис. 3. Измерительный комплекс.

Дальнейшая обработка и накопление информации осуществлялась амплитудным анализатором, реализованном в стандарте ВЕКТОР под управлением ЭВМ Электроника-60. Для ведения эксперимента и управления анализатором специально разработан комплекс программ. В крайте был расположен блок стабилизации магнитного поля сепаратора ионов. Программирование системы стабилизации осуществлялось через магистраль ВЕКТОР. Для визуального контроля за ходом эксперимента использовались цифровые интенсиметры и осциллограф. Мониторингование осуществлялось с помощью циклического интегратора тока и счетчика (БлС4) подключенного к магистрали ВЕКТОР.

В настоящей работе были выполнены измерения dE/dx в диапазоне энергий (протонов) 50 + 250 кэВ для ряда чистых веществ Fe, Cd, Si, Au и вещества сложного состава - высокотемпературного сверхпроводника $YBaCuO$.

Так как ускоритель позволял получать токи от 10^{-10} А до 10^{-9} А, то мы имели уникальную возможность выполнить энергетическую калибровку шкалы спектрометра непосредственно, помещая детектор в прямой пучок ускорителя с интенсивностью протонов $10^9 + 10^4$ сек⁻¹.

Детектор имел площадь чувствительной поверхности $S = 6$ мм². Диаметр пучка ионов на рассеивателе выбран 0,5 мм. Телесный угол в данной геометрии был равен $0,021 \pm 0,0007$ стерадиан.

Для извлечения информации о dE/dx из энергетических спектров FOP мы использовали поверхностное приближение. Ионы, имеющие массу M_1 , атомный номер Z_1 с начальной энергией E_0 и с энергетическим разбросом $\Delta E_0 \ll \Delta E_1$ - энергетической ширины канала анализатора, поступают на поверхность твердого тела, состоящего из атомов массой M_2 , имеющих атомный номер Z_2 . Налетающие ионы тормозятся в образце и могут, с некоторой вероятностью рассеиваться на угол θ . Исходя из условия, что ионы, рассеянные на атомах слоя $(X_n - X_{n-1})$ образца будут иметь такие энергии, что попадут в один канал анализатора с номером $n = N_{max} - n$, где N_{max} соответствует верхней граничной энергии kE_0 . Легко найти X_n . Если атомная плотность вещества рассеивателя ρ (атом/см³), I_0 - число ионов пучка, падающих на мишень в единицу времени, то легко рассчитать форму идеального спектра обратно рассеянных ионов. Число отсчетов в канале будет равно:

$$I = I_0 \rho \sigma(E_1) \Delta E_1 / \epsilon \left[k - \frac{1}{\cos \theta} \right] \quad (15)$$

где ΔE_1 - энергетическая ширина канала анализатора, $\epsilon = dE/dx$ - потери энергии, Ω - телесный угол, $\sigma(E_1^n)$ - сечение рассеяния.

Для интервала энергий $kE_0 - \Delta E_1$:

$$I(kE_0) = I_0 \rho \sigma(kE_0) \Omega \Delta E_1 / \epsilon \left(k - \frac{1}{\cos \theta} \right) \quad (16)$$

соответствует числу отсчетов идеального спектра (в максимальном канале) соответствующих рассеянию ионов на внешнем слое X_1 вещества рассеивателя. В последнем выражении все величины кроме ϵ , могут быть либо найдены в эксперименте, либо рассчитаны с достаточной точностью, т.е., если мы найдем число отсчетов в канале, соответствующем $kE_0 - \Delta E_1$ идеального спектра, то можем вычислить $\epsilon = dE/dx$ в приближении ее постоянства в интервале энергий ΔE_1 :

$$\epsilon = \frac{I_0}{I(kE_0)} \rho \sigma(kE_0) \Omega \Delta E_1 / \left(k - \frac{1}{\cos \theta} \right) \quad (17)$$

Как известно, реальный спектр можно представить сверткой идеального спектра и функции отклика спектрометра и описать интегральным уравнением вида:

$$N_n = \int_0^{kE_0} I_n(E) R(E, n) dE_1, \quad (18)$$

Здесь $R(E, n)$ - локальный носитель ядра (функция отклика спектрометра), т.е. задача нахождения $I(kE_0)$ является обратной, некорректно поставленной задачей. Как известно не существует универсального метода решения подобных задач. Мы использовали методику расчетов, подобную описанной Ли и Хартом. Идеальный спектр с максимальной граничной энергией kE_0 в некотором приближении можно описать уравнением:

$$I_n(E) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot E^{i-1}, \quad E \leq kE_0, \quad (19)$$

$$I_n(E) = 0, \quad E > kE_0.$$

dE/dx , кэВ / мМ

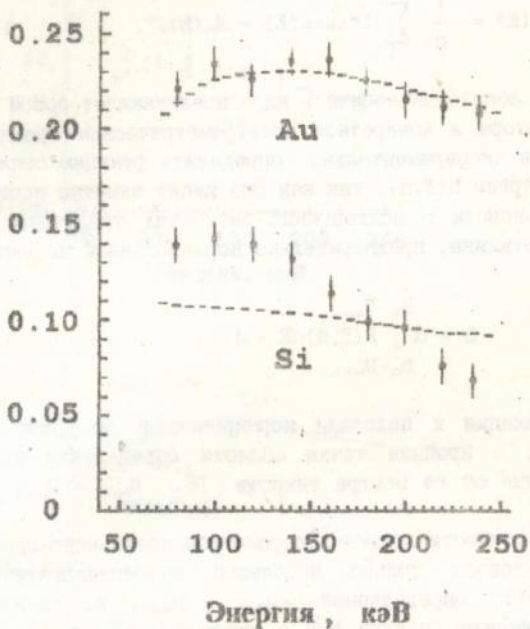


Рис. 4

Такое представление линейно относительно неизвестных параметров α и небольшие участки спектра могут быть описаны при небольших значениях n . Если обозначить экспериментальный спектр $N_{\text{экс}}(E)$, то задача нахождения оптимальных α сводится к поиску экстремали функционала:

$$M(E) = \frac{1}{n} \sum_{\gamma}^n [N_{\text{экс}}(E) - N_n(E)]^2. \quad (20)$$

В нашем случае локальный носитель ядра представляет собой функцию отклика детектора в конкретном спектрометрическом тракте. Мы имели возможность экспериментально определить функцию отклика в зависимости от энергии $R(E, n)$, так как она имеет заметно ассиметричную, мы использовали в подгонках: расчетах табличную форму реакторной функции отклика, предварительно нормированной на единицу, то есть:

$$S = \alpha \int_{D_0 - D_{\min}}^{D_0 + D_{\max}} R(E, n) dE = 1. \quad (21)$$

Из этого уравнения и находили нормировочный коэффициент α . Здесь D_{\min} и D_{\max} - крайние точки области определения функции отклика, отсчитанные от ее центра тяжести D_0 . $D_{\min} \neq D_{\max}$ ввиду ассиметрии $R(E, n)$.

Для увеличения точности подгонки параметров идеального спектра, во-первых, использовали только небольшой высокоэнергетический участок спектра POP, определяемый $D_{\min} + D_{\max}$, и, во-вторых, измеряли в эксперименте спектры POP с шагом 20 кэВ, в диапазоне энергий протонов 80 + 240 кэВ, при этом можно с уверенностью пренебречь многократными процессами. Мы выбрали $n=3$ - максимальный показатель степени в выражении (19), описывающего идеальный спектр.

Процедура нахождения dE/dx состояла из нескольких шагов. В заданной геометрии измерялись энергетические спектры POP с шагом 20 кэВ в интервале энергий 80+240 кэВ. Далее выполнялась процедура сглаживания экспериментальных спектров. После сглаживания файлы с экспериментальными спектрами обрабатывались комплексом программ. В результате по найденным значениям $I(kE_0)$ рассчитывались соответ-

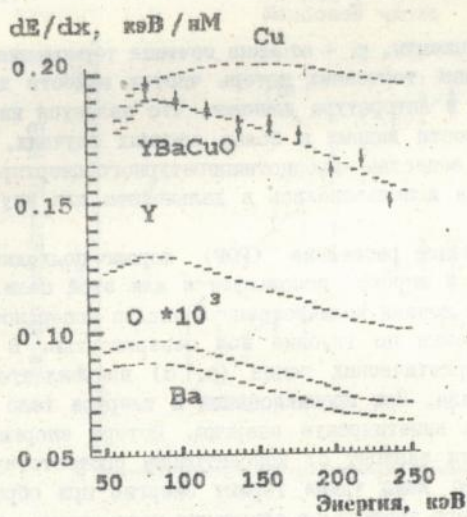
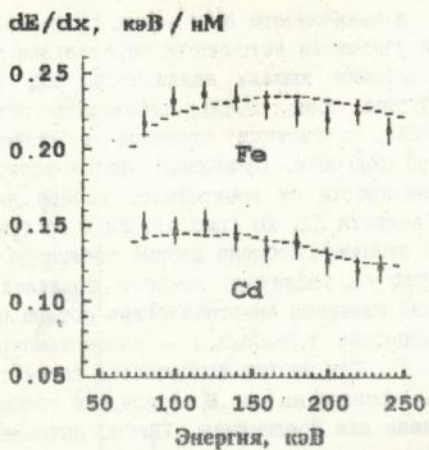


Рис. 5

ствующие значения dE/dx в зависимости от энергии протонов.

При анализе погрешностей учитывали неточности определения телесного угла (1,5%), цены деления канала анализатора ΔE_i (<1%), ошибки калибровки интегратора тока <0,5%, неточность описания эффектов экранирования <2%, статистику отсчетов в спектре и конечную точность процедуры подгонки. Суммарная ошибка колеблется в пределах $2 + 5$ % в зависимости от конкретного набора данных. Измерены dE/dx для чистых веществ Si, Au (рис.4), Fe и Cd (рис.5). На этих рисунках сплошными линиями обобщены данные таблиц Джанни. Отклонения наших результатов от табличных лежат в пределах нескольких процентов. Были также измерены энергетические потери протонов в многокомпонентном веществе $Y_1Ba_2Cu_3O_{6-7}$ - высокотемпературного сверхпроводника (рис.5). Для чистых компонентов высокотемпературного сверхпроводника кривыми на рис.5 приведены обобщенные данные таблиц Джанни. Кривая для соединения $YBaCuO$ вычислена по табличным данным на основании известного правила Брэгга:

$$\varepsilon = \sum p_i \varepsilon_i, \quad (22)$$

где p_i - весовые коэффициенты, ε_i - атомные сечения торможения.

Проведенные измерения тормозных потерь чистых веществ хорошо совпадают с описанными в литературе данными, что является известной гарантией корректности данных в более сложных случаях, как, например, для сложного вещества - высокотемпературного сверхпроводника. Данные для золота использовались в дальнейшем для изучения свойств ППД.

Резерфордское обратное рассеяние (ROR) хорошо подходит для анализа тонких пленок и широко используется для этой цели. Оно обеспечивает достаточно точный количественный анализ поверхности и зависимости состава пленки по глубине под поверхностью. В этой методике пучок моноэнергетических ионов (p , α) направляется на поверхность твердого тела. При проникновении в твердое тело ионы постепенно теряют свою кинетическую энергию. Потери энергии на единицу пройденного пути зависят от концентрации соответствующих элементов твердого тела. Ионы также теряют энергию при обратном рассеянии, здесь эти потери зависят от отношения масс атомов, ионов и угла обратного рассеяния. Для калибровки спектрометра обратного

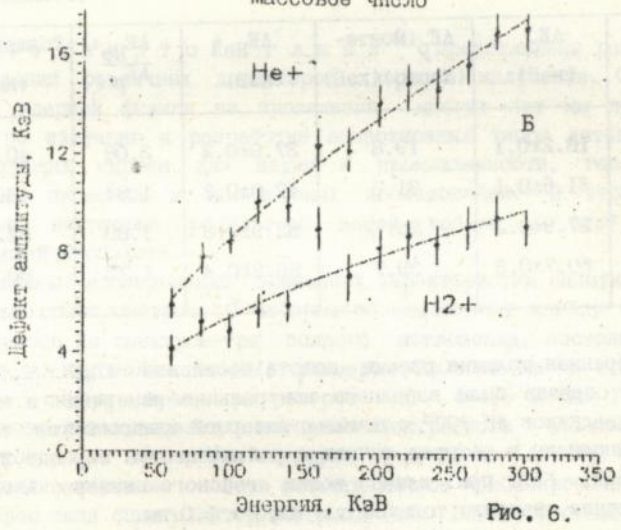
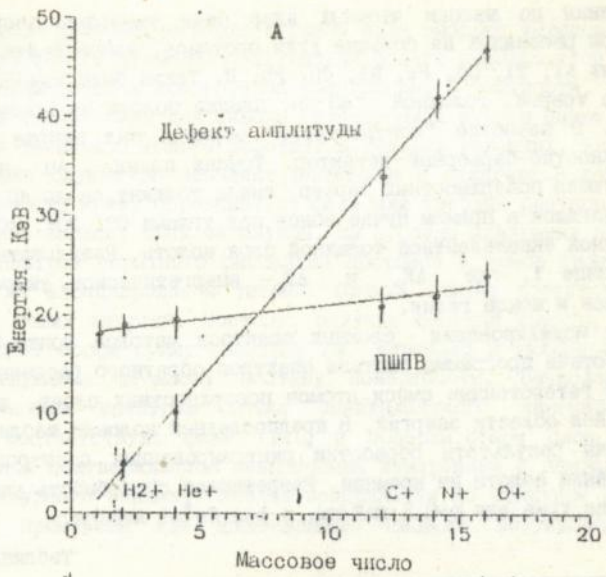


Рис. 6.

рассеяния по массам атомных ядер были измерены энергетические спектры рассеянных на большие углы протонов, ионов гелия на толстых мишенях Al, Ti, Co, Fe, Ni, Cu, Pb, W. Также были измерены спектры РОР на тонкой, толщиной ~ 40 нм, пленке золота на кремниевой подложке. В качестве "контрастного" образца был выбран кремниевый поверхностно-барьерный детектор. Тонкая пленка Au на кремнии, образующая поверхностный барьер, имела толщину около 40 нм. Образец располагался в прямом пучке ионов под углами 0° , 20° , 40° и 60° , с различной эквивалентной толщиной слоя золота. Результаты приведены в таблице 1, где ΔE_p и ΔE_α — энергетическое уширение пиков протонов и ионов гелия.

Для моделирования сложных спектров методом Монте-Карло была разработана программа синтеза спектров обратного рассеяния, учитывающая гетерогенные смеси атомов поверхностных слоев, доступных в имеющейся области энергий. В предпоследней колонке таблицы 1 представлены результаты обработки синтезированных спектров протонов для пленки золота на кремнии. Разрешающая способность установки по dE/dx не хуже для $p \approx 0,5$ кэВ/нм, а для $He^+ \approx 1$ кэВ/нм.

Таблица 1

Угол (град)	ΔE_p (кэВ)	ΔE_p (Монте- Карло) (кэВ)	ΔE_{He^+} (кэВ)	$\frac{\Delta E_{He^+}}{\Delta E_p}$	Толщина Au (нм)
0	18.2 ± 0.1	19.8	37.8 ± 0.2	2.08	40.0
20	21.6 ± 0.1	21.3	42.0 ± 0.2	1.94	42.6
40	27.9 ± 0.2	25.6	52.9 ± 0.3	1.89	52.2
60	50.7 ± 0.3	39.7	86.2 ± 0.4	1.70	80.0

Измеренная толщина пленки золота составила $41,0 \pm 1,5$ нм. На том же образце были выполнены контрольные измерения в институте полупроводников АН УССР с помощью лазерной эллисометрии. Измерения были выполнены в четырех точках в районе центра образца под углом 45° , 55° , 65° при длине волны газового лазера $\lambda = 6328 \text{ \AA}$. Средненные значения толщины $a = 42,0 \pm 1,0$ нм.

В качестве малоконтрастного образца была выбрана титановая фольга с покрытием из алюминия. Титановая фольга используется в качестве выходных окон в ускорителях электронов. В частности, для промышленных целей окна для вывода электронных пучков имеют большие размеры и титановая фольга работает в тяжелых условиях. Для увеличения срока службы ее напыляют алюминием и отжигают. В результате на поверхности может образоваться фаза или твердый раствор от чего существенно зависит срок ее службы. Мы провели измерения энергетических спектров обратного рассеяния протонов и ионов гелия с $E = 200$ кэВ на алюминированном титане. Пленка сплава достаточно толстая для наших энергий. Поэтому, получен сложный спектр, который представляет собой сумму спектров на алюминии и титане с весами соответствующими атомному составу поверхности. Вычисленные по энергетическим спектрам точки эквивалентного кинематического фактора соответствуют фазе $TiAl_3$ в поверхностном слое фольги. Такой вывод подтверждается независимым измерением с помощью рентгеноструктурного анализа. Анализ поверхности по спектрам РОР мы в основном применяли для исследования свойств полупроводниковых детекторов.

В четвертой главе представлены результаты исследований различных детекторов ядерного излучения. В лаборатории ядерной физики на протяжении многих лет мы проводили работы по изучению и разработке всевозможных типов детекторов и детектирующих систем для науки и промышленности, геологии и медицины, экологии и космических исследований. В этой главе приведены некоторые результаты нашей работы в этой быстро развивающейся области.

Выполнены исследование временных характеристик сцинтилляционных гамма-спектрометров. С отбором по медленному каналу ($E_{\gamma} > 200$ кэВ) удалось на спектрометре полного поглощения, состоящего из ФЭУ-49 и кристалла $NaJ(Tl)$ размером 120×120 мм с поперечным колодцем, снизить временной разброс до 4-4,5 нсек. Указанный спектрометр использовался в методике электронного коллимирования DD-нейтронов для измерения спектров γ -лучей из $(n, n'\gamma)$ реакции.

Проведено изучение свойств фотоприемников комбинированных детекторов типа сцинтиллятор-фотодиод для ВСРТ. Требования к де-

текторам рентгеновского излучения для ВОРТ определяются жесткими условиями процесса измерения томограмм. Например томограф для всего тела, имеющий 600-1000 детекторов, должен при времени сканирования 1 сек иметь максимальную мощность дозы ≤ 15 р/мин. При этом максимальное ослабление рентгеновских лучей с $E_{ор} = 70$ кэВ превышает 1000, чувствительность детекторов должна быть не менее $0,05$ мкА/(см²Р/мин), а нестабильность за 1 сек $\leq 0,5\%$. В нашей лаборатории был разработан комплекс аппаратуры для работы с полупроводниковыми и комбинированными детекторами, состоящими из сцинтиллятора и фотоприемника. Проведены исследования свойств фотоприемников комбинированных детекторов рентгеновского излучения типа сцинтиллятор - кремниевый фотоприемник.

В прямых потоках легких ионов низких энергий изучены свойства новых типов ППД. Получен обширный материал по амплитудному дефекту и (см. например рис. 6) статистическим свойствам функции отклика ППД для различных энергий и масс ионов.

Основная проблема спектрометрии связана с решением интегрального уравнения. По измеренному аппаратному спектру $N(V)$ и функции отклика детектора (ФОД) $G(V, E, M, Z, t, Q)$ необходимо найти параметры излучения $F(E, M, Z, t, Q)$, падающего на детектор:

$$N(V) = \int_{E_{min}}^{E_{max}} G(V, E, M, Z, t, Q) \cdot F(E, M, Z, t, Q) dE \dots dQ. \quad (23)$$

Здесь V - напряжение на выходе детектора при регистрации частиц с энергией E , массой M , зарядом Z , в момент времени t и совокупность геометрических характеристик Q . ФОД содержит в неявном виде все основные параметры детектора: энергодисперсионность, эффективность, селективность относительно M и Z , временное и пространственное разрешение. В редких ситуациях, как правило, в узком интервале характеристик регистрируемого излучения, удается подобрать аналитическое выражение для ФОД. Как интегральная величина, ФОД включает в себя влияние мертвой зоны и ее неоднородностей, дефекта амплитуды, температуры и статистических свойств потоков частиц.

В ЛЯФ КНУ в течение длительного периода проводились всесторонние исследования и калибровка ППД, предназначенных, в основном, для работы в космическом пространстве. Были выполнены измерения пара-

метров ФОД и калибровка нескольких сотен приборов. Исследования проводились на ускорителе КЛИН-500 и комплексе аппаратуры на линии с ЭВМ. Неоднородность толщины мертвой зоны (МЗ) измерялась в прямом потоке ускоренных ионов ($I \approx 10^{-17}$ А) и методом РОР ионов на металлическом контакте ППД. Таким образом мы имели уникальную возможность видеть полную толщину МЗ и толщину металлического контакта в точках поверхности диаметром 0,2 мм. В методе РОР измерялись интегральные спектры. Они дифференцировались и по разности положений пиков дифференциального спектра определялись полные потери энергии частицы в золотом контакте ППД.

При прохождении пленки золота частицы теряют свою энергию до рассеяния и после него. Толщина пленки определялась по формуле:

$$X = \frac{\Delta E_1}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_1 + \left(\frac{dE}{dx}\right)_2 \cdot \beta} \quad (24)$$

где ΔE_1 - полные потери энергии частицы; $(dE/dx)_1$ - тормозная способность частиц в материале контакта при начальной энергии налетающих частиц; $(dE/dx)_2$ - тормозная способность частиц после рассеяния; $\beta = 1/(\cos(180^\circ - \theta))$ - геометрический фактор. Величины тормозных потерь были измерены или взяты из таблиц. Таким образом, получили толщину пленки золота в линейных единицах. Для этих измерений была изготовлена специальная измерительная камера. Точность позиционирования ППД составляла 0,01 мм. На расстоянии 35 мм от образца размещался коллиматор диаметром 0,2 мм, шаг сканирования поверхности варьировался, исходя из ожидаемой неоднородности.

Начи были прокалиброваны более трехсот ППД. При калибровке измерялись усредненные по поверхности потери энергии частиц в МЗ детектора, так как диаметр пучка ионов выбирался на ≈ 1 мм меньше диаметра рабочего окна ППД. Энергетические потери в МЗ определялись по сдвигу пика в амплитудном спектре анализатора в зависимости от угла падения частиц на поверхность ППД. Существенную роль в спектрометрии ионов низких энергий играет неравномерность толщины пленки золота и эффективной толщины входного окна по поверхности детектора $\Delta E(x, y)$. На рис. 7 и 8 приведены результаты измерения неоднородности толщины входного окна детектора. Снабжена корреляция статистических параметров функции отклика детектора и

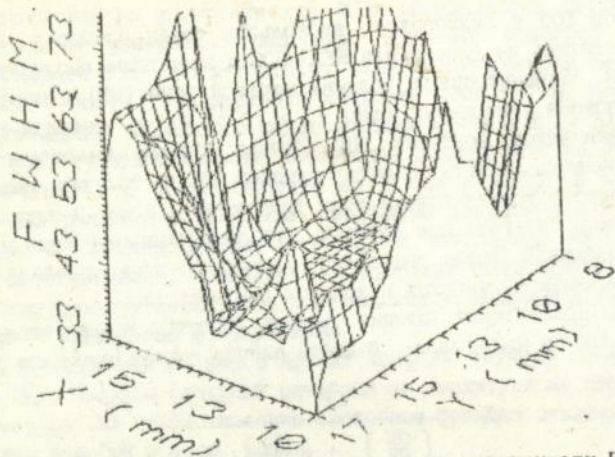


Рис. 7. Зависимость ПШВ от координаты на поверхности ПШД.

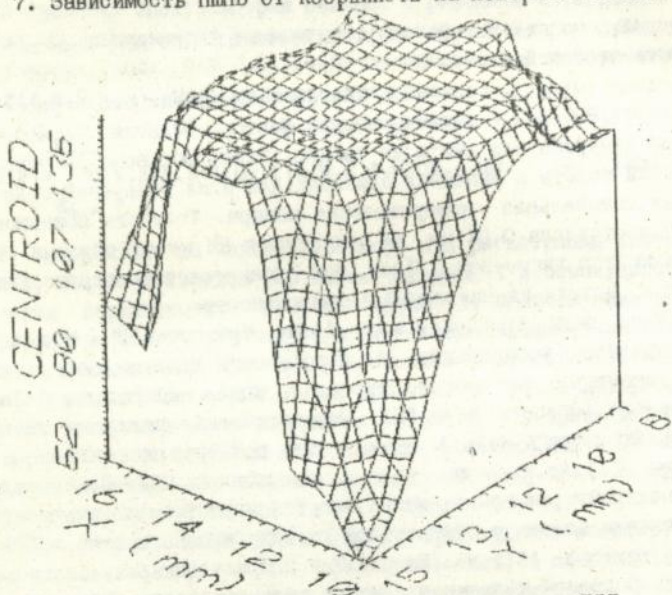


Рис. 8. Положение ЦТ ФОД в точке: на поверхности ПЛД.

локальной толщины МЭ. Для получения статистически значимой количественной оценки корреляции мы провели измерения параметров формы ФОД на 25 ПБД в потоках H^+ и He^+ с энергиями 200 кэВ. По измеренным спектрам ионов вычисляли сдвиг центра тяжести - N , асимметрию $G_1 = \mu_3 / (\mu_2)^{3/2}$, эксцесс $G_2 = (\mu_4 / (\mu_2)^2) - 3$ (μ_i - статистические моменты порядка i) и коэффициенты корреляции $R(N, G_i)$:

$$R_{XY}(N, G_i) = \frac{\sum_{k=1}^N (X_k - \bar{X})(Y_k - \bar{Y})}{\left[\sum_{k=1}^N (X_k - \bar{X})^2 \right]^{1/2} * \left[\sum_{k=1}^N (Y_k - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}} \quad (25)$$

Расчеты коэффициентов корреляции (с 95% доверительным интервалом) дают $R(N, G_1-p) = 0.982$, $R(N, G_2-p) = -0.986$ (протоны); $R(N, G_1-He) = 0.987$, $R(N, G_2-He) = -0.978$ (ионы гелия). Эффект видимому носит локальный характер так как соответствующий коэффициент корреляции для всей поверхности для протонов $R(N, G_1-p) \leq 0.24$.

В заключении излагаются основные результаты работы, которые сводятся к следующему:

1. Выполнены методические разработки, на основе которых созданы спектрометрические комплексы и измерительные системы для исследований ядерных реакций, инициируемых быстрыми нейтронами, для всестороннего изучения функции отклика и характеристик детекторов ядерных излучений, применяемых в эксперименте и различных приложениях (экология, медицинская томография, космические исследования).
2. Созданы многочисленные преобразователи информации (время-амплитуда, время-код, заряд-код, номер датчика-код, ток-код) для спектрометрических систем. Некоторые из них защищены авторскими свидетельствами и патентами. Они нашли применение в исследованиях ядерных реакций с участием нейтронов, в некоторых приложениях в экологии и медицинской томографии.
3. Разработаны блоки, расширяющие функциональные возможности промышленных анализаторов импульсов, предназначенные для экспериментальных исследований в области ядерной физики и приложениях.

4. Разработаны системы стабилизации и автоматического управления для изучения реакций с нейтронами и спектрометрии РОР. В частности разработана и собрана в стандарте ВЕКТОР прецизионная цифровая система для стабилизации магнитного поля анализирующего магнита. Она использует явление ЯМР и управляется специально написанной программой от ЭВМ.

5. На базе низкоэнергетического ускорителя КУИН-500 ДЯФ КНУ создана экспериментальная установка для комплексного изучения сверхтонких поверхностных слоев твердых тел методом резерфордского обратного рассеяния и для изучения свойств функции отклика полупроводниковых детекторов заряженных частиц в прямых сверхслабых (10^{-17} А) потоках ускоренных ионов.

6. Методом резерфордского обратного рассеяния исследованы зависимости энергетических потерь протонов от энергии в районе максимума на толстых образцах железа, кадмия, кремния, золота и высокотемпературного сверхпроводника $Y_1Ba_2Cu_3O_{6+x}$; изучены также тонкие поверхностные слои твердых тел.

7. Выполнен цикл исследований сцинтилляционных, комбинированных и полупроводниковых детекторов ядерного излучения. Проведено всестороннее исследование параметров полупроводниковых детекторов заряженных частиц и свойств функции отклика. Исследовано более 400 детекторов. Проведены измерения толщины "мертвой зоны" детекторов и ее неоднородности по поверхности детекторов, статистических параметров функции отклика; дефекта амплитуды при регистрации низкоэнергетических ионов и зависимости параметров функции отклика от температуры.

8. Разработано большое количество программ для ЭВМ. Наряду с чисто расчетными написаны программы для моделирования, управления ходом эксперимента и обработки данных.

В том числе для обработки экспериментальных спектров резерфордского обратного рассеяния были разработаны программы: моделирования спектров, основанная на методе Монте-Карло; программы для подгонки идеального спектра методом хи-квадрат и решения уравнений типа свертки для таблично-заданной экспериментально исследованной функции отклика полупрозрачного детектора. Программы были написаны на языках Алгол, Фортран, Ассемблер.

9. Прикладное значение выполненных исследований сводится к тому,

что методические разработки легли в основу хозяйственных и государственных НИР выполненных для ВНИИАП (Киев), Института токов (Москва), ВНИИЭП (Москва), Института космических исследований АН СССР и Национального космического агентства Украины.

Результаты наших исследований были необходимым этапом в разработке новых типов ПЩ, создании спектрометров заряженных частиц для космических аппаратов научных программ "Интербол", "Реликт", "Предупреждение", "Марс-94", "Марс-96".

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Андреев Е.А., Ситько С.П., Шевченко В.А. Многомерный анализ дифференциальных сечений реакций $(n, n'\gamma)$ на чистых изотопах. // ПТЭ, 2, 1971, с.40-43.
2. Ситько С.П., Шевченко В.А. Изучение дифференциальных сечений γ -лучей реакции $(n, n'\gamma)$ // Вісник КДУ, 12, 1971, с.45-48.
3. Андреев Е.А., Блаженков В.В., Ситько С.П., Шевченко В.А. Прецизионное мониторирование нейтронов из TD и DD реакций // ПТЭ, 1, 1972, с.72-74.
4. Андреев Е.А., Ситько С.П., Шевченко В.А., Шривастава Б.К. Исследование временных характеристик сцинтилляционных γ -спектрометров // ПТЭ, 4, 1972, с.40-42.
5. Андреев Е.А., Ситько С.П., Шевченко В.А. Дифференциальные сечения и угловые распределения γ -лучей реакции $(n, n'\gamma)$ на Pr^{141} и Ho^{165} // Ядерная физика, т.18, вып.5, 1972, с.856-859.
6. Симоненко В.М., Ситько С.П., Шевченко В.А. О природе возбужденных состояний Ho^{165} . // Ядерная физика, т.18, вып.3, 1973, с.473-478.
7. Мельникова Н.А., Петренко П.В., Репецкий С.П., Шевченко В.А. Исследование температурной зависимости остаточного электросопротивления в сплавах никель-хром методом модельного псевдопотенциала // Физика металлов и металловед., том 42, 1, 1976, с.205-208.
8. Скопюк М.И., Шевченко В.А. Устройство цифрового отбора и сжатия информации полупроводниковых спектрометров // ПТЭ, 5, 1979, с.112-114.
9. Скопюк М.И., Шевченко В.А. О возможности применения игровых методов для исключения наложенных импульсов в γ -спектрометрии // ПТЭ, 2, 1980, стр.63-65.

10. Вобирь В.В., Бордуля А.П., Митрохин О.Е., Михницкий И.В., Шевченко В.А. Преобразователь время-код в методике измерения короткоживущих активностей запаздывающих нейтронов// в книге Нейтронная физика, М., Наука, 1980, ч.4, с.324-327.
11. Скопюк М.И., Шевченко В.А. Многомерный преобразователь номер датчика-цифровой код с отбором и сжатием информации// ПТЭ, 2, 1981, стр.106-109.
12. Дегтярев А.П., Махринский Т.В., Шевченко В.А. Старт-стопный преобразователь время-амплитуда с высокой допустимой скоростью счета//ПТЭ, 3, 1981, стр.104-106.
13. Скопюк М.И., Шевченко В.А. Генератор двойных импульсов на интегральных микросхемах//ПТЭ, 2, 1981, стр.131-133.
14. Вобирь В.В., Бордуля А.П., Митрохин О.Е., Михницкий И.В., Моисеев А.Н., Шевченко В.А. Преобразователь время-код миллисекундного диапазона/Вестник КГУ, Физика, вып.22, 1981, с.71-74.
15. Андреев Е.А., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Двухтактный интегратор тока для рентгеновского томографа// ПТЭ, 6, 1982, стр.89-91. ●
16. Андреев Е.А., Басенко В.К., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Аналоговый интегратор для томографа// ПТЭ, 1, 1983, стр. 89-91.
17. Андреев Е.А., Басенко В.К., Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Широкодиапазонный преобразователь ток-код для сканирующего рентгеновского томографа// ПТЭ, 4, 1984, стр.88-91.
18. Джессим М.Н., Шевченко В.А., Управляемая от ЭВМ система стабилизации магнитного сепаратора ионов в стандарте ВЕКТОР.// В книге "Автоматизация исследований в ядерной физике и астрофизике". Киев, 1990 г., стр.32.
19. Кравцов В.В., Ситько С.П., Шевченко В.А.. Лабораторные работы по спецпрактикуму "Ядерная электроника"/Изд-во КГУ, Киев, 1984, 43 с.
20. Андреев Е.А., Басенко В.К., Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А. Автоматический измеритель среднего тока АМСТ-2м//Экспонат ВДНХ СССР, пав. "Народное образование". Москва, окт.1984-январь.1985, медали ВДНХ.
21. Андреев Е.А., Басенко В.К., Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Прибор для измерения тока

- АМСТ-2м//Экспонат ВДНХ УССР, Киев, март-июнь 1936 г.
22. Будник Э.Ю., Джассим М.Н., Крашенинников В.Д., Морозова Е.И., Шевченко В.А., Функция отклика ППД для низкоэнергетических ионов// Препринт ИКИ РАН, Пр-1789, Москва, 1991, 27 с.
 23. Джассим М.Н., Крашенинников В.Д., Мельникова Н.А., Шевченко В.А., Дослідження розподілу атомів в поверхневих шарах твердих тіл методом ядерного зворотного розсіювання// Вісник КДУ, 1992, вип.4, стр. 77-80.
 24. Shevchenko V.A., The Nuclear Electronics Development in the Nuclear Physics Laboratory of the Kiev University// In the book "Physics in Ukraine", Kiev, Bogolubov Institute for Theoretical Physics, 1993, p.129-131.
 25. Дмитренко Р.В., Коляда В.М., Скопик М.И., Шевченко В.А. Устройство для обработки спектрометрической информации// Авторское свидетельство No 674029, 1977 г. Бюлл. 26, 1979, стр.193-196.
 26. Андреев Е.А., Скопик М.И., Шевченко В.А. Устройство для измерения величины заряда// Авторское свидетельство No 881631. 02.1980 г.
 27. Андреев Е.А., Васенко В.К., Ситько С.П., Скопик М.И., Рубашов И.В., Шевченко В.А. Устройство для измерения величины тока// Авторское свидетельство No 959276, Приоритет от 07.1981 г.,
 28. Андреев Е.А., Иокренко Н.Я., Ситько С.П., Скопик М.И., Шевченко В.А., Способ аналого-цифрового преобразования и устройство для его осуществления// Авторское свидетельство No 1473083. Приоритет 7.02.1986.
 29. Андреев Е.О., Скопик М.И., Ситько С.П., Шевченко В.А. Способ аналого-цифрового перетворення і прилад для його використання// Патент України No 1526, 1993 р., дійсний до 2006 р.
 30. Шевченко В.А. Разработка устройства цифрового амплитудного отбора и сжатия информации от γ -датчиков// Отчет по НИР. Тема 95-73. Номер гос.рег. 76060224. КГУ, Киев, 1976.
 31. Шевченко В.А. Разработка устройства режекции наложенных сигналов γ -спектрометров// Отчет по НИР. Тема 194-77. Номер гос.рег. 77068459 КГУ, Киев, 1977.
 32. Ситько С.П., Шевченко В.А. Разработка и изготовление комплекта аппаратуры для измерения характеристик ППД// Отчет по НИР, тема 193-78, Киев, 1979. Номер гос.рег. 78069345.
 33. Ситько С.П., Шевченко В.А. Разработка аналого-цифровых устройств

- получения и обработки информации датчиков излучений рентгеновских и γ -лучей в системах ВРТ//Отчет по НИР, тема 198-80, Номер госрег. 80009698, КГУ, Киев, 1980.
34. Ситько С.П., Шевченко В.А. Разработка аналого-цифровых устройств получения и обработки информации датчиков интенсивности рентгеновского и γ -излучения в системах ОРТ//Отчет по НИР, тема 201-81. Номер гос.рег. 81001366, КГУ, Киев, 1983, 65 стр..
 35. Ситько С.П., Шевченко В.А.. Разработка аналого-цифровых приборов для работы с полупроводниковыми детекторами и комбинированными детекторами, состоящими из сцинтиллятора и фотоприемника//Отчет по теме 192-84. Номер гос.рег. 840002034. КГУ, Киев, 1986.
 36. Шевченко В.А.. Исследование взаимодействия низкоэнергетических ионов с элементами телескопов заряженных частиц для космических аппаратов//Отчет по теме 215-84. Номер гос.рег. 840130234, КГУ, Киев, 1987
 37. Шевченко В.А., Исследование физических характеристик полупроводниковых детекторов, углеродных фольг и параметров спектрометрических систем для космических аппаратов.// Отчет по НИР 191-88, Киев, 1991 г., 66 стр. (ДСП).
 38. Шевченко В.А., Дослідження радіаційних ефектів в телескопах заряджених частинок для космічних апаратів.//Звіт по темі 721/1, No держреєстрації 0193U030417, Київ, 1993.
 39. Шевченко В.А., Дослідження функції відгуку низькоенергетичних іонів в детектуючих системах спектрометрів заряджених частинок/ Звіт по темі 716, No держреєстрації 0193U030419, Київ, 1994.
 40. Шевченко В.А. Исследование функции отклика низкоэнергетических ионов в детектирующих системах спектрометров заряженных частиц//Отчет по теме 257-90, No гос.рег. 0193U042012, Киев, 1994.
 41. Шевченко В.А., Спектр та кутовий розподіл γ -променів з реакції $(n, n'\gamma)$ //Доповіть на 28 сесії проф.-викл. складу КГУ, 1971, с.14.
 42. Андреев Е.А., Ситько С.П., Шевченко В.А. Дифференциальные сечения и угловые распределения γ -лучей реакции $(n, n'\gamma)$ на Fe^{56} , Pr^{141} и Ho^{165} //Доклад на всесоюзном совещании по нейтронной физике. Киев, 1971.
 43. Андреев Е.А., Ситько С.П., Шевченко В.А., Шривастава Б.К. Комплекс аппаратуры для исследований с быстрыми нейтронами// Доклад на всесоюзном совещании по нейтронной физике. Киев, 1971.

44. Андреев Е.А., Ситько С.П., Г'эвченко В.А., Шривастава В.К. Исследование временных свойств спектроскопических ФЭУ и кристаллов /Доклад на 21 совещании по ЯС и САЯ, "Наука", 1971.
45. Симоненко В.М., Ситько С.П., Шевченко В.А. Исследование высокоэнергетических состояний No^{100} . //Доклад на XXII совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1972, Тезисы, ч.2, стр.6.
46. Кухно В.В., Шевченко В.А. Блок приоритетов для анализатора АИ-4096 //Доклад на XXIV совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1974, Тезисы, стр.467.
47. Шевченко В.А. Блок стабилизации на МОП-интегральных микросхемах. Доклад на XXIV совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1974, Тез.с. 490.
48. Селезнев В.В., Шевченко В.А. Преобразователь время-амплитуда на интегральных ТТЛ-микросхемах //Доклад на XXIV совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1974, Тезисы; стр.491.
49. Андреев Е.А., Васенко В.К., Ситько С.П., Стрижак В.И., Шевченко В.А. Дифференциальные сечения и угловые распределения продуктов $(n, n'\gamma)$ реакции на Nd^{144} //Доклад на XXV совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1975, Тезисы, стр.348.
50. Шевченко В.А. Программе обработки сложных участков спектров на ЭЭМ. //Доклад на 26 совещ. по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1976, Тез.с.273
51. Мельникова Н.А., Петренко П.В., Репецкий С.П., Шевченко В.А. Влияние ближнего порядка на остаточное удельное электросопротивление в сплавах никель-хром // Доклад на 6-ом всесоюзном совещании по упорядочению атомов и влиянию упорядочения на свойства сплавов. Томск, 1976, Тезисы, стр.211.
52. Скопик М.И., Шевченко В.А. Об одной возможности исключения наложенных импульсов в спектрометрии //Доклад на 28 совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1978, Тезисы, стр.513.
53. Глутко А.Я., Скопик М.И., Шевченко В.А. Программа расчета оптимальных условий измерения энергетических спектров протонов из (n, p) реакции //Доклад на 29 совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1978, Тезисы, стр.151.
54. Восьбрь В.В., Бордуля А.П., Митрохин О.Е., Михницкий И.Б., Шевченко В.А. Преобразователь время-код для реализации режима медленного временного анализа в АИ-128-2 //Доклад на I всесоюзном совещании "Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды"; Тезисы, 1979, стр.24.

55. Бобыр В.В., Бордуля А.П., Митрохин О.Е., Михницкий И.Б., Моисеев А.Н., Шевченко В.А. Преобразователь время-код в методике измерения короткоживущих активностей запаздывающих нейтронов./ Доклад на 5-ой всесоюзной конференции по нейтронной физике. Киев, 1980, Пр. стр.44.
56. Ляшенко В.А., Скопюк М.И., Шевченко В.А. Полуавтоматический испытательный стенд для исследования характеристик полупроводниковых адсорбционно-чувствительных элементов газоанализаторов// Доклад на Всесоюзной научно-технической конференции "Новые физические принципы в аналитическом приборостроении". Киев, 1980, Тез., с.151.
57. Андреев Е.А., Басенко В.К., Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А. Прецизионный преобразователь с новым принципом аналого-цифрового кодирования. Доклад на XXXII совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1982, Тезисы, стр.472.
58. Андреев Е.А., Басенко В.К., Барабаш Л.И., Кибкало Т.И., Розенфельд А.В., Васильев Ю.О., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Полупроводниковый детектор удельных потерь в методике электронного коллимирования нейтронов//Доклад на XXXII совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1982, Тезисы, стр.484.
59. Колесанов А.Ф., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Измерительная система автоматический измеритель среднего тока - анализатор АИ-4096 - эффективное средство регистрации тока детекторов излучения ВРП/ Доклад на 5-ой всесоюзной конференции "Фотометрия и ее метрологическое обеспечение. Москва, Госкомстандарт, 1984 г..
60. Андреев Е.А., Басенко В.К. Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Исследование свойств фотоприемников комбинированных детекторов рентгеновского излучения типа сцинтиллятор-фотоприемник//Доклад на XXXVI совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1986, Тезисы, стр. 530.
61. Андреев Е.А., Басенко В.К. Кошарский К.Г., Пшеничный С.А., Ситько С.П., Скопюк М.И., Шевченко В.А.. Исследование технических характеристик широкодиапазонного АЦП/Доклад на 36 совещании по ЯС и САЯ, "Наука", Л., 1986, Тезисы, стр. 582.
62. Митрохин О.Е., Стрижак В.И., Шевченко В.А., Методика ускорения одиночных ионов с $A = 1-15$ в интервале энергий 20-500 кэВ.//

- В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1988, стр. 579.
63. Митрохин О.Е., Шевченко В.А. Получение сверхслабых потоков ионов в диапазоне 20-500 кэВ//Доклад на 18-ом совещании по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва, 1988.
 64. Митрохин О.Е., Шевченко В.А., Измерение мертвых слоев погранично-барьерных кремниевых детекторов//Доклад на 18-ом Совещании по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва, 1988.
 65. Скачко Л.Б., Шевченко В.А., Автоматизированная система управления сепаратором ионов.//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1990, стр. 451.
 66. Чулков О.С., Шевченко В.А., Исследование распределения тонких слоев золота на кремнии//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1990, стр. 470.
 67. Джасим М.Н., Крашенинников В.Д., Шевченко В.А., Функция отклика ППД различных конструкций при регистрации низкоэнергетических легких ионов//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1991, стр. 464..
 68. Джасим М.Н., Крашенинников В.Д., Шевченко В.А., Влияние массы иона на непрозрачные потери энергии низкоэнергетическими легкими ионами в рабочем объеме ППД//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1991, стр. 465.
 69. Джасим М.Н., Крашенинников В.Д., Шевченко В.А., Энергетическая зависимость сечения торможения протонов в ВСП//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1992, с. 398.
 70. Джасим М.Н., Крашенинников В.Д., Шевченко В.А., Использование метода ядерного обратного рассеяния для измерения сечения торможения протонов в области энергий 80-240 кэВ//В книге "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", "Наука", Л., 1992, стр. 399.
 71. Джасим М.Н., Крашенинников В.Д., Морозова Е.И., Шевченко В.А., Измерения функции отклика ППД. Доклад. Международная конференция, ФРГ, 1992 г.
 72. Крашенинников В.Д., Морозова Е.И., Шевченко В.А., Однородности мертвой зоны пролетных ППД телескопов заряженных частиц//Тезисы доклада на совещании по ЯС и САЯ, Дубна, 1993, с. 379.

73. Шевченко В.А., Прилади електроніки для застосування у прикладній ядерній фізиці//Доповідь на Науковій конференції Київського університету, Київ, 1993, стр. 17.
74. Морозова Е.И., Шевченко В.А., Корреляция статистических параметров формы функции отклика и толщины мертвой зоны поверхностно-барьерных полупроводниковых детекторов.//Тезисы доклада на совещании по ЯО и САЯ, Ст.Петербург, 1994, с.366.
75. Krasheninikov V.D., Morozova E.I., Shevchenko V.A. THE DEAD LAYER INVESTIGATION OF THE ΔE SURFACE-BARRIER DETECTORS// Thirteenth International Conference on the Application of Accelerators in Research & Industry, Univ. of North Texas, Denton, USA, Nov.1994, Abstracts AARI, p.21. (Nucl.Instr.& Meth.in publication).
76. Jassim M.N., Krashennnikov V.D., Shevchenko V.A. RBS INVESTIGATIONS OF STOPPING POWER IN USING THICK TARGET// Thirteenth International Conference on the Application of Accelerators in Research & Industry, University of North Texas, Denton, USA, Nov.1994, Abstracts AARI, p.96. (Nucl.Instr.& Meth.in publication)

Шевченко В.А. Розвиток ядерно-фізичних методик і їх застосування в експериментальній і прикладній ядерній фізиці.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора фізико-математичних наук по спеціальності 01.04.16 - фізика ядра і елементарних частинок, Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, 1996.

До захисту представлено 71 наукову роботу, 4 авторські свідоцтва і один патент України, які містять результати методичних розробок (спектрометричні комплекси, пристрої швидкої, прецизійної і цифрової електроніки для досліджень ядерних реакцій з нейтронами; для застосувань в екології, в обчислювальних рентгенівських томографах, для досліджень поверхні твердих тіл і детекторів ядерного випромінювання) і результати досліджень: реакції (n,n' γ) на деяких ядрах, енергетичних витрат протонів на елементах Fe, Si, Cd, Au і надпровіднику $Y_1Ba_2Cu_3O_x$; амплітудного дефекта і функції відгуку напівпровідникових детекторів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ядерні реакції, нейтрон, детектор, рентгенівський обчислювальний томограф, резерфордівське зворотнє розсіяння.

Shevchenko V.A. Development of the Nuclear Physics Methodics and their Application in the Experimental and Applied Nuclear Physics.

Dissertation on degree of a doctor of science on speciality 01.04.16 -nuclear physics and elementary particles, Institute of Nuclear Research of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, 1996.

For defence of a doctor's 71 scientific works, 5 patents are presented. There are content results of elaborate of the nuclear physics methodics (complex of spectrometers, apparatus fast, precise and digital electronics for research of nuclear reactions with neutrons, for application in ecology, in computed x-ray tomography, for research of the solid state's surface and the detectors of the nuclear radiation) and results of themeasurements of (n,n' γ) reactions on some nuclears, stopping power of protonic in Fe,Si,Cd, Au and superconducting $Y_1Ba_2Cu_3O_x$; pulse height defect and response function in semiconductor detectors.

KEY WORDS: nuclear reactions,neutron, detector,computed x-ray tomograph, Reserford back scattering.

Шевченко Валерий Андреевич

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДИК И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

(Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук)

Усл. печ. л. 27

Подг. в печ. 12. 94.

Заказ 60 Тираж 100.

СКІТЬ с ЭП Института ядерных исследований Национальной
АН Украины. 252028, проспект Науки, 47.

REPUBLICAN PARTY PLATFORM

THE REPUBLICAN PARTY BELIEVES IN THE
PRINCIPLES OF LIBERTY AND JUSTICE UNDER
LAW

WE BELIEVE IN THE RIGHT OF EVERY MAN TO
LIFE, LIBERTY AND THE PURSUIT OF HAPPINESS

WE BELIEVE IN THE RIGHT OF EVERY MAN TO
SPEAK HIS MIND FREELY AND TO PUBLISH HIS
OPINIONS

11576642

AB 31.725