

Ба 232 639

✓ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ И ОРДЕНА
ДРУЖБЫ НАРОДОВ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО

На правах рукописи

БЕРЕСТОВ
Александр Викторович

УДК 539.1.074.3; 539.18.07

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ОРТОПОЗИТРОНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ ГАММА-СОВПАДЕНИЙ

01.04.18 - физика ядра и элементарных частиц

«КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ХАРЬКОВ - 1989

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени Институте физики им. В.И. Степанова АН БССР.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
РУДАК ЭДУАРД АРКАДЬЕВИЧ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
МАКАРЮНАС КЯСТУТИС ВИНЦОВИЧ
/Институт физики АН Литовской ССР,
г. Вильнюс/
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
ГОЛОВНЯ ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ
/Харьковский физико-технический
институт АН УССР, г. Харьков/

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт
физики ЛГУ, г. Ленинград

Защита состоится "___" _____ 1990 г. в ___ час. ___ мин.
на заседании специализированного совета Д 088.31.03 при Харьковском государственном университете по адресу: 310108, г. Харьков, ул. Курчатова, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке ХГУ (г. Харьков, пл. Дзержинского, 4).

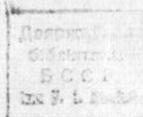
Автореферат разослан "___" _____ 19__ г.

Просим прислать отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью организации.

Ученый секретарь
специализированного совета

Валентина

ЛАПШИН В.И.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Решение широкого круга задач физики атомного ядра и элементарных частиц осуществляется на пределе современных экспериментальных возможностей. Поиск и исследование редких распадов и взаимодействий, ряд задач прикладного характера требуют создания сложных физических установок, представляющих собой, как правило, многодетекторные устройства с использованием современных средств и методов регистрации элементарных частиц, оснащенных быстродействующей электроникой, электронно-вычислительными машинами.

Начиная с конца 70-х годов в экспериментальной ядерной физике наблюдается тенденция к созданию 4π -сцинтилляционных спектрометров типа Cristal Ball, получивших широкое распространение в физике высоких энергий. Подобного рода установки представляют собой полый сферический детектор, состоящий из десятков-сотен отдельных плотно упакованных сцинтилляционных модулей, просматриваемых индивидуальными фотоэлектронными умножителями (ф.э.у.). Спектрометры типа Cristal Ball позволяют получать зачастую уникальную многопараметрическую информацию о множественности, а также угловых, временных и энергетических корреляциях исследуемого излучения, что используется для изучения структуры высокоспиновых ядерных состояний, исследования механизма ядерных реакций, поиска редких каскадных и коррелированных ядерных процессов.

Помимо указанного установки типа Cristal Ball могут найти прикладное применение и использоваться, в частности, при измерении активности нуклидов, особенно испускающих δ -кванты в каскаде. Высокая эффективность регистрации δ -излучения, 4π -геометрия измерения, наличие амплитудного анализа и возможность исследования излучения различной множественности свидетельствуют о возможности использования установок для решения ряда экологических проблем, что также приобретает в последнее время особую актуальность. Однако в СССР к настоящему времени такого рода спектрометры не получили должного распространения.

Многодатчиковые спектрометры совпадений успешно используются также для исследования процессов, сопровождающихся аннигиляцией позитрона (позитрония). В работах Барышевского В.Г.* было предска-

* См., например, Physica status solidi B-1984.-VI24.-№2.-P.619-623.

Бел. 2005

зано существование нового физического явления временных осцилляций углового распределения квантов 3δ -распада позитрония, возникающего при аннигиляции позитрония в магнитном поле, и высказана идея о возможности реализации нового метода исследования вещества с помощью позитронов. В связи с этим экспериментальное изучение данного явления является весьма актуальной задачей.

Целью диссертационной работы являлось

- изучение предельных возможностей 32 -датчиковой $4\mathbb{T}$ -установки типа Cristal Ball при регистрации низкоинтенсивного излучения различной множественности;
- постановка эксперимента по обнаружению явления временных осцилляций углового распределения квантов трехфотонной аннигиляции позитрония в магнитном поле.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. С участием автора разработана и создана низкофоновая $4\mathbb{T}$ -установка гамма-совпадений АРГУС с большим внутренним объемом на основе 32 сцинтиллоков БДЭГ2-39, серийно выпускаемых в СССР. Установка работает "в-линию" с ЭВМ СМ-4.

2. Изучены характеристики спектрометра в зависимости от конфигурации пассивной защиты и исследованы предельные возможности установки в некоторых режимах работы при регистрации каскадного δ -излучения слабоактивных нуклидов.

3. Предложена и апробирована методика массового экспрессного анализа активности образцов с известным качественным составом нуклидов на многодатчиковом спектрометре совпадений.

4. Впервые экспериментально наблюдалось явление временных осцилляций углового распределения квантов 3δ -аннигиляции позитрония в слабом магнитном поле.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Разработанная с участием автора логика отбора событий на 32 -кристалльном спектрометре совпадений дает возможность получать данные о множественности, энергиях квантов, испущенных в каскаде, угловых корреляциях для каждого зарегистрированного события и позволяет использовать спектрометр для изучения механизма ядерных реакций, поиска редких каскадных и коррелированных ядерных процессов и распадов.

2. Созданный спектрометр гамма-совпадений обладает 4π-геометрией измерения, высокой эффективностью регистрации гамма-излучения, низким фоном, высокой стабильностью, что позволило успешно использовать его при массовом анализе активности образцов различной природы в рамках программы по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Результаты измерения активности образцов использованы при составлении карт радиоактивного загрязнения, при планировании и проведении работ Агропрома БССР, Министерства водного хозяйства СССР и БССР, Министерства здравоохранения БССР, Государственного комитета БССР по охране природы, Институты зоологии АН БССР, фотобиологии АН БССР, радиобиологии АН БССР, экспериментальной ботаники АН БССР, санитарной гигиены АН БССР, геологии АН БССР, ЦЭС АН БССР.

3. На основе впервые обнаруженного явления осцилляций углового распределения квантов аннигиляции ортопозитрония в магнитном поле возможна реализация нового метода исследования взаимодействия атомов позитрония с веществом – метода позитрониевого спинового вращения PsSR. Последний позволит получать информацию о динамике поляризационных характеристик позитрония в веществе, которая не может быть получена в настоящее время другими методами.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Устройство детектирующей части 32-кристального спектрометра гамма-совпадений, обеспечивающее сочетание высокой эффективности регистрации детекторов и, соответственно, установки в целом, с хорошим угловым, временным и энергетическим разрешением, большим объемом рабочей камеры и низким фоном.

2. Результаты исследования чувствительности спектрометра АРГУС при регистрации каскадного δ -излучения низкоинтенсивных нуклидов.

3. Новый экспрессный метод определения активности нуклидов в образцах с известным качественным составом на многодатчиковом спектрометре совпадений и его апробация на установке АРГУС.

4. Высокоэффективный спектрометр запаздывающих совпадений для наблюдения явления осцилляций углового распределения квантов 3 δ -распада позитрония в магнитном поле, выбор условий и методика наблюдения указанного явления.

5. Первое экспериментальное наблюдение явления временных осцилляций углового распределения квантов аннигиляции ортопозитро-

ния в магнитном поле.

Апробация работы и публикации. Результаты работ, положенных в основу диссертации, докладывались и представлялись на XXXV, XXXVI, XXXVIII Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ленинград, 1985 г., Харьков, 1988 г., Баку, 1988 г.), на III, V Всесоюзных семинарах по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях (Тбилиси, 1984 г., Ташкент, 1988 г.), на XII Международном симпозиуме по ядерной электронике (Дубна, 1985 г.), на VII Всесоюзном семинаре по точным измерениям в ядерной спектроскопии (Вильнюс, 1988 г.); на II Всесоюзном семинаре по временам жизни возбужденных состояний ядер (Ленинград, 1988 г.), на республиканских семинарах по радиобиологии и радиоэкологии (Минск, 1987 г., 1988 г.), на заседании рабочей группы по автоматизации и обработке ядерно-физической информации (Тбилиси, 1988 г.), на республиканских конференциях молодых ученых по физике (Гродно, 1980 г., Могилев, 1982 г., Вильнюс, 1983 г., Минск, 1984 г., Вильнюс, 1989 г.) и опубликованы в 13 работах в виде статей, препринтов Института физики АН БССР им. Б.И.Степанова, в тезисах и трудах конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения; содержит 143 страниц машинописного текста, включая 30 рисунков и 17 таблиц. Список использованных литературных источников включает в себя 128 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель исследований, научная и практическая ценность. Кратко изложены содержание, структура и перечислены основные положения, выносимые автором на защиту.

Первая глава посвящена изучению и анализу основных вопросов, возникающих при разработке и создании многодетекторной 4 π -установки гамма-совпадений, предназначенной для регистрации редких, низкоинтенсивных каскадных ядерно-физических процессов. Дан краткий обзор существующих, а также создаваемых 4 π -спектрометров совпадений с большим числом датчиков и описаны основные области применения подобных установок. Рассмотрены вопросы, связанные с вы-

бором основного детектора для установки гамма-совпадений.

Приведены результаты исследования параметров IO сцинтиблоков БДЭГ2-39, включающих кристалл NaI(Tl) размерами ϕ 150x100 мм максимального объема из выпускаемых серийно и ФЭУ-49Б, в зависимости от способа включения по высоковольтному питанию и типа делителя ф.э.у. Предложен в соавторстве делитель напряжения, обеспечивающий улучшение энергетического разрешения $\Delta E/E$ в среднем на 10% (^{137}Cs , 662 кэВ), уменьшение длительности времени нарастания выходного импульса τ_r в 2 - 3,5 раза и его длительности τ_n на 30% по сравнению с паспортными данными. Основное отличие разработанного делителя для ФЭУ-49Б заключается в том, что фокусирующий электрод и I-й диод "закорочены"; сопротивление между модулятором и первым диодом составляет $5 \div 8R$ (R - номинал резисторов между диодами в промежутке от I-го диода до анода), сопротивление между фотокатодом и модулятором: $0,2 \div 1,5R$. Достигаемое значение $\Delta E/E$ наиболее чувствительно к величине последнего резистора.

Показано, что лучшее значение энергетического разрешения с указанным делителем обеспечивается при заземлении фотокатода ф.э.у. и корпуса сцинтиблока (высоковольтное питание подано на анод через сопротивление анодной нагрузки), исходя из чего данный режим включения сцинтиблока выбран в качестве рабочего.

В конце главы рассмотрены основные методы снижения фоновой скорости счета установок, в том числе, метод совпадений. Теоретически исследована зависимость эффективности регистрации многодатчикового 4Я-спектрометра совпадений от числа детекторов с цилиндрическим сцинтиллятором и от кратности совпадений при регистрации β -излучения различной множественности. Увеличение количества детектирующих элементов приводит к повышению углового разрешения спектрометра, в то время как геометрическая эффективность возрастает несущественно (и составляет $\sim 0,9$). Поэтому в качестве сферической поверхности для многодетекторного спектрометра совпадений использован 32-гранник (правильный усеченный икосаэдр).

Во второй главе приведено описание конструкции детектирующей части, блок-схема, принцип действия и основные характеристики разработанного и созданного с участием автора многокристального низкофоновго спектрометра гамма-совпадений с большим рабочим объемом АРГУС. Детектирующая часть спектрометра состоит из 32

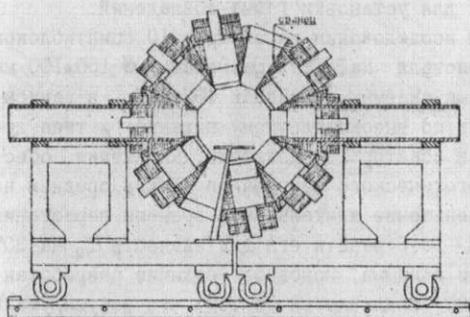


Рис.1. Детектирующая часть спектрометра (в разрезе).

сцинтиллов БДЭГ2-39 с улучшенными автором амплитудно-временными характеристиками. Вид детектирующей части установки АРГУС представлен на рис.1. Несущая конструкция спектрометра состоит из пяти- и шестигранных стальных усеченных пирамид, образующих сферическую сотовую поверхность с внутренним диаметром $\approx 0,44$ м. В каждую из пирамид помещен сцинтилляционный детектор. Многогранная поверхность разделена на две полусферы, закрепленных на тележках, которые могут перемещаться по рельсам. На рис.2 показана блок-схема установки. Для всех датчиков используется один источник высоковольтного питания, основные характеристики которого: $U \leq 2,2$ кВ, $I \leq 70$ мА, $U_{\text{пульсаций}} \leq 30$ мВ. Коэффициенты усиления отдельных датчиков выравниваются индивидуальными резисторами в цепи высоковольтного питания.

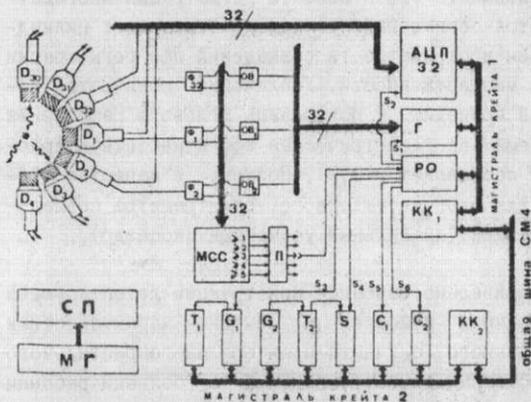


Рис.2. Блок-схема спектрометра АРГУС

Сигнал с каждого датчика разветвляется для временного и амплитудного анализа. Временной анализ событий осуществляется межоригитарной схемой совпадений МСС, которая работает по перекрытию импульсов от формирователей временной отметки по переднему фронту Φ и позволяет выделять события кратностью больше или равной заданной ($k = 1 \div 5$), и годоскопом Г. Амплитудный анализ осуществляется 8-разрядными АЦП.

Если событие заданной кратности произошло, то осуществляется запись номеров датчиков, которыми зарегистрировано совпадение, и амплитудный анализ сигналов с детекторов.

Разрешающее время гамма-гамма-совпадений (полуширина кривой совпадений на половине ее высоты) составляет 40 нс для кратности совпадений $k = 2$ при 100% эффективности регистрации. Вероятность регистрации, определенная экспериментально по ^{60}Co (1173, 1333 кэВ), составляет 0,508 при $k = 1$ и 0,287 при $k = 2$, что хорошо согласуется с расчетными значениями. Для ^{54}Mn (835 кэВ) значение эффективности регистрации спектрометра ($k \geq 1$) по пику полного поглощения $\epsilon_{\text{фот}} = 0,33$; полная эффективность регистрации $\epsilon = 0,56$; энергетическое разрешение $\Delta E/E = 9,5\%$.

Расположение детектирующей части спектрометра над слоем свинца толщиной 14 см и 7-см свинцовая защита сбоку до уровня тележки позволили снизить скорость счета фона на 8%. Суммарные спектры фона представлены на рис. 3; скорости счета фона в энерге-

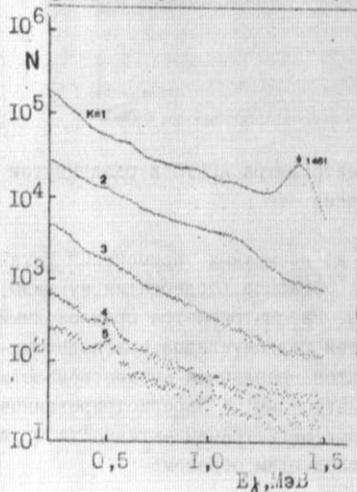


Рис. 3. Спектры фона кратности $k = 1 \div 5$. $T_d = 2000$ с.

тическом диапазоне 0,2 ÷ 1,5 МэВ составили 3400, 310, 28, 3 и 1 событий/с, соответственно.

В конце главы описаны меры по достижению высоких характеристик спектрометра. С этой целью автором исследовалась возможность получения минимальной погрешности во временной привязке к импульсу с детектора БДЭГ2-39 в зависимости от коэффициента

ослабления и времени задержки инвертированного сигнала формирователя со следящим порогом (ФСР), реализованного на быстродействующих компараторах К597СА1. Ширина на полувысоте временного распределения, полученного с использованием в одном канале пластического сцинтиллятора и ф.э.у. ХР1021 составила 5,7 нс в диапазоне амплитуд входных сигналов $U = 25 \text{ мВ} \div 0,6 \text{ В}$ (^{22}Na , 0,511; 1,275 МэВ).

Введение конструктивно предусмотренной защиты для каждого датчика (свинцовая пирамида толщиной в основании 10 см и диск толщиной 5 см, см.рис.1) позволило снизить фон в энергетическом диапазоне 0,2 ÷ 1,5 МэВ в кратности совпадений $k = 1 \div 5$ в 8,7; 16,7; 2 и 1,4 раза, соответственно. Внешний вид детектирующей части спектрометра АРГУС приведен на рис.4.

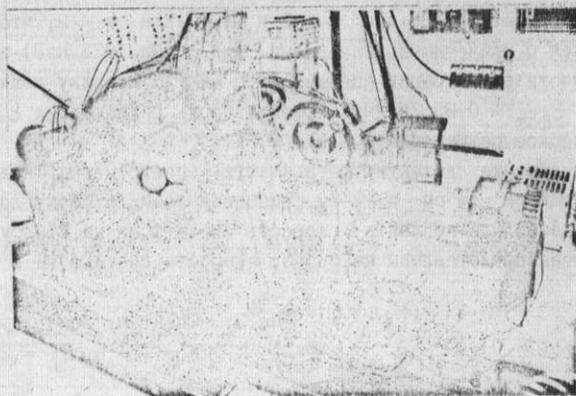


Рис.4. Детектирующая часть спектрометра АРГУС в раздвинутом положении

Третья глава посвящена одному из возможных применений установки АРГУС – измерению активности образцов, содержащих нуклиды, испускающие каскадные гамма-кванты. Рассматривается предложенный автором метод определения активностей радионуклидов, распадающихся с испусканием каскадов γ -квантов различной множественности (состав образца предполагается известным). Зарегистрированное число совпадений кратности k S_k при регистрации активности Q_i в образце за время t определяется следующим образом:

$$S_k = \left(\sum_{i=1}^I \epsilon_{ik} Q_i + f_k \right) t, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (I)$$

где K – максимальное значение кратности совпадений, i и I – номер и число радионуклидов, f_k – скорость счета фона при кратности совпадений k . Величина ϵ_{ik} характеризует эффективность регистрации установкой i -го нуклида в кратности совпадений k . При определенных значениях величин S_k , f_k , ϵ_{ik} , t , а также известных I и K выражение (I) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных величин Q_i , решение которой возможно при условии $I \leq K$. С целью апробации методики на спектрометре АРГУС производилось определение активностей радионуклидов в смеси (эталонные растворы) для двух нуклидов: ^{137}Cs ($E_{\beta} = 662$ кэВ, квантовый выход $\eta = 85\%$), ^{134}Cs (наиболее интенсивные линии $E_{\beta 1} = 569$ кэВ, $\eta_1 = 8,4\%$; $E_{\beta 2} = 796$ кэВ, $\eta_2 = 85\%$; $E_{\beta 3} = 805$ кэВ, $\eta_3 = 97,5\%$) и трех нуклидов: ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{106}Ru ($E_{\beta 1} = 512$ кэВ, $\eta_1 = 20\%$; $E_{\beta 2} = 621$ кэВ, $\eta_2 = 9,4\%$). Измерение активности указанных нуклидов, представленных в смеси, на спектрометре с одним кристаллом NaI(Tl) является сложной задачей вследствие наложения близкорасположенных линий.

Определенные экспериментально с использованием предложенной методики значения Q_i хорошо согласуются с эталонными. Результаты измерений активности образцов биологической природы указанным методом ($t = 100$ с) согласуются в пределах погрешностей с данными, полученными на низкофономом полупроводниковом спектрометре ДГДК-125А ($t \leq 10^4$ с) для объектов, содержащих $^{134}, ^{137}\text{Cs}$. При наличии в образцах также ^{106}Ru максимальное расхождение результатов составляет $\sim 30\%$.

Разработанная методика позволяет обходиться без регистрации энергетических спектров исследуемых объектов и, соответственно, их обработки. Методика обеспечивает в ряде случаев снижение времени измерения на порядок и более по сравнению с методом полупроводниковой спектрометрии при достаточно высокой чувствительности и точности анализа.

Во втором разделе исследована чувствительность спектрометра АРГУС при регистрации некоторых радионуклидов ($^{134}, ^{137}\text{Cs}$, ^{60}Co , ^{48}Sc) в зависимости от режима регистрации. Показано, что – применение пассивной защиты позволило снизить предел обнаружения радионуклидов в 3 – 4 раза; – при определении активности нуклидов, испускающих кванты в кас-

каде в режиме интегральных совпадений ($k = 2, 3$), значение минимально регистрируемой активности в 2 - 5 раз ниже по сравнению с режимом однократных совпадений;

- использование режима регистрации совпадений в энергетических окнах в области фотопиков (^{48}Sc , $k = 3$) позволяет снизить предел обнаружения приблизительно в 40 раз по сравнению с режимом $k = 1$ и на порядок по сравнению с режимом интегральных совпадений ($k = 2, 3$).

Значение минимально обнаружимой активности указанных нуклидов за время измерения $t = 5000$ с составляет ≤ 1 Бк при 25% относительной погрешности измерения.

Экспериментальное исследование показало, что максимальное отклонение эффективности регистрации β -квантов от среднего не превышает 10% для любых точек рабочего объема установки, который составляет ≈ 50 л. Это позволяет проводить на спектрометре АРГУС измерение образцов произвольной формы большого объема, то есть снизить предел обнаружения удельной активности по β -излучению в несколько десятков-сотен раз по сравнению с традиционными методами анализа на однокристалльном спектрометре (в последнем случае объем образцов, как правило, не превышает 0,05 - 0,1 л).

Четвертая глава посвящена экспериментальному обнаружению явления временных осцилляций углового распределения квантов 3β -аннигиляции позитрония в слабом (менее 1 Тл) магнитном поле.

Суть физического явления состоит в следующем. Поляризованные позитроны тормозятся в веществе и образуют атомы позитрония с отличными от нуля средней поляризацией и квадрупольной поляризацией. Внешнее магнитное поле вызывает осцилляции вектора поляризации и тензора квадрупольной поляризации позитрония, что, ввиду анизотропии углового распределения квантов 3β -распада, приводит к осцилляциям углового распределения аннигиляционных квантов. В слабом магнитном поле наблюдаемые осцилляции определяются частотой расщепления уровней ортопозитрония в магнитном поле:

$$\omega = E_1 - W_1 = \frac{W_1 - W_0}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{4\mu B}{W_1 - W_0} \right)^2} - 1 \right], \quad (2)$$

где E_1 - энергия ортопозитрония с $m = 0$ в магнитном поле B , W_1 и W_0 - энергии основных состояний орто- и парапозитрония, μ - магнетон Бора. В случае регистрации квантов 3β -аннигиляции по-

зитрония одним датчиком, отношение амплитуды осциллирующего члена к величине неосциллирующего:

$$h_0 \approx 0,213 P \sin \theta \cos \psi \sin 2\beta \sin d \quad (3)$$

где $P = \gamma/c$ - степень поляризации позитронов, θ, ψ и β, d - полярные и азимутальные углы влета позитронов в мишень и направления вектора \vec{n} на центр датчика D_2 , регистрирующего кванты 3β -аннигиляции позитрония, соответственно (рис.5).

Экспериментальное обнаружение указанного явления, таким образом, заключается в наблюдении на временном распределении аннигиляции ортопозитрония затухающих осцилляций с определенными параметрами, то есть в регистрации распределения, описываемого выражением:

$$N(t) = A e^{-t/\tau_L} [1 + h_0 \sin(\frac{2\pi t}{T_0} + \psi) + F] \quad (4)$$

где τ_L - время жизни ортопозитрония, ψ - фаза осцилляций, принимающая значение 0 или π , F - фон.

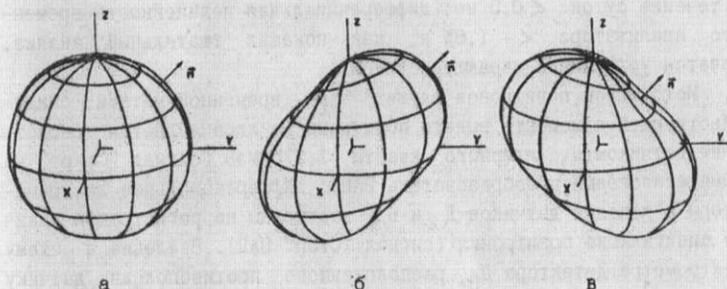


Рис.5. Угловое распределение квантов аннигиляции ортопозитрония вне магнитного поля в момент времени $t = 0$ (а); в слабом магнитном поле, $t = T_0/4$ (б) и $t = 3T_0/4$ (в); $T_0 = 2\pi/\omega$ - период осцилляций, \vec{n} - вектор на центр детектора D_2 . Позитроны влетают в мишень вдоль оси Ox и аннигилируют вблизи начала координат.

Автором изучены и проанализированы следующие вопросы, связанные с выбором условий наблюдения явления. Теоретически исследована зависимость периода осцилляций от величины индукции маг-

нитного поля. Показано, что проведение эксперимента возможно при расположении источника позитронов в непосредственной близости от мишени; в последнем случае также можно пренебречь действием силы Лоренца на влетающие в мишень перпендикулярно направлению вектора индукции магнитного поля \mathbf{B} позитроны. Получены выражения для выбора геометрии расположения датчика D_2 , источника позитронов и мишени, а также для оценки минимального времени набора спектров, необходимого для наблюдения явления. Предложено и в дальнейшем реализовано существенно снизить время наблюдения явления за счет вычитания временных распределений, полученных в магнитном поле одинаковой величины в фазе и противофазе.

Автором разработан и создан спектрометр запаздывающих совпадений на базе двух и, в дальнейшем, трех сцинтиллоков БДЭГ2-39 с улучшенными амплитудно-временными характеристиками; дифференциальные дискриминаторы спектрометра изготовлены на базе ФСП. Исследуемый временной диапазон $\Delta T = 200$ нс; ширина пика мгновенных совпадений на полувысоте, характеризующая разрешающее время установки $\tau = 7,5$ нс; дрейф центра тяжести пика мгновенных совпадений в течение суток $< 0,5$ нс; дифференциальная нелинейность временного анализатора $< + 1,6\%$ и, как показал тщательный анализ, является устойчивой характеристикой.

Источником позитронов служит ^{22}Na , временной меткой, свидетельствующей о моменте вылета позитрона из ядра является регистрация датчиком D_1 ядерного кванта $1,275$ МэВ (сигнал "Старт" на время-аналоговый преобразователь ВАП); дифференциальные дискриминаторы в каналах датчиков D_2 и D_3 настроены на регистрацию квантов аннигиляции позитрония (сигнал "Стоп" ВАП). Введение в схему спектрометра детектора D_3 , расположенного противоположно датчику D_2 , позволило, в силу симметрии явления осцилляций (рис.5), снизить время набора временных спектров примерно вдвое.

В качестве "позитронийобразующей" мишени использовалась таблетка мелкодисперсного окисла SiO_2 , время жизни ортопозитрония в котором в вакууме составило $\tau_1 = 132 \pm 4$ нс; магнитное поле создавалось постоянными самарийкобальтовыми магнитами, величина и неоднородность магнитного поля в пределах мишени измерялись датчиком Холла.

В результате первых экспериментов, проведенных автором на двухкристальном спектрометре запаздывающих совпадений, были получены данные, указывающие на существование явления временных ос-

цилляций. При идентификации явления использовалось свойство отличия фаз осцилляций, наблюдаемых в магнитном поле одинаковой величины, на противоположного направления на \mathcal{T} .

В повторных экспериментах, проведенных автором, условия наблюдения осцилляций были существенно улучшены за счет введения в схему спектрометра датчика D_3 , увеличения активности источника позитронов ^{22}Na до $Q = 10^5$ Бк, более тщательного выбора геометрии эксперимента и использования системы магнитов с меньшей степенью неоднородности магнитного поля ($\Delta B/B \sim 5\%$).

Временные спектры аннигиляции позитрония регистрировались вне поля (А), а также в магнитном поле величиной $B = 0,059$ Тл ($T_0^{\text{теор}} = 75$ нс) при $\alpha = \pi/2$, $\beta = 3\pi/4$ (Б); $\alpha = \pi/2$, $\beta = \pi/4$ (В) и в поле $B = 0,05$ Тл ($T_0^{\text{теор}} = 104$ нс), $\alpha = \pi/2$, $\beta = 3\pi/4$ (Г). Полученные экспериментальные данные обрабатывались с помощью метода наименьших квадратов (МНК) в предположении

- 1) временное распределение соответствует экспоненциальному распаду (число определяемых параметров $L = 3$),
- 2) распределение описывается выражением (4), $L = 4$.

МНК-оценки величин n_0 , τ_L , ψ и T_0 , а также значения величин $\chi^2 = \sum_{i=1}^L (N_i^{\text{эксп}} - N_i^{\text{теор}})^2 / D_i$, где D_i - дисперсия числа отсчетов в i -м канале, приведены в табл. I.

Временные распределения, полученные вычитанием из спектров Б, В и Г распределения А, изображены на рис. 6. Согласно данным

Таблица I.

МНК- оценки параметров временных спектров

Номер	Спектр	n_0	τ_L , нс	ψ	T_0 , нс	χ^2
I	А		132 ± 2			15,7
I	Б		118 ± 11			92,8
I	В		152 ± 19			152,5
I	Г		131 ± 2			78,9
2	Б	$0,028 \pm 0,003$	140 ± 7	π	70 ± 2	13,4
2	В	$0,035 \pm 0,004$	129 ± 2	0	81 ± 2	17,2
2	Г	$0,025 \pm 0,004$	132 ± 2	π	110 ± 3	14,1

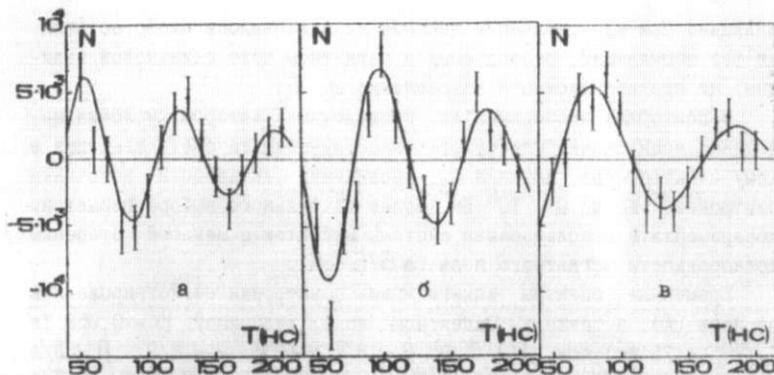


Рис.6. Временные распределения, полученные вычитанием распределения А из спектра В (а), спектра В (б) и спектра Г (в). Сплошная кривая – теоретическое распределение.

табл. I период и фаза наблюдаемых осцилляций соответствуют величине и направлению вектора индукции магнитного поля. Оцененное теоретически значение $h_0 \approx 0,035 \pm 0,04$ удовлетворительно согласуется с данными эксперимента.

Данное явление временных осцилляций близко по своей природе к явлению, лежащему в основе известного метода мюниевое спиновое вращение μ SR, и по аналогии с последним, может быть использовано для изучения взаимодействия атомов позитрония с веществом (метод позитрониевое спиновое вращение PsSR).

В конце главы предложены меры по развитию и совершенствованию техники эксперимента.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

I. С участием автора разработан и создан низкофоновый 4π -многодатчиковый спектрометр гамма-совпадений с большим объемом рабочей камеры АРГУС на базе 32 сцинтиллоков БДЭГ2-39. Установка работает "в-линию" с ЭВМ СМ-4 и позволяет получать многопараметрическую информацию о множественности, угловых, временных и энергетических корреляциях гамма-квантов в многокаскадных ядерных процессах.

2. Существенно улучшено временное и энергетическое разрешение спектрометра АРГУС за счет выбора способа включения по высоковольтному питанию сцинтилляторного блока БДЭГ2-39 с разработанным в соавторстве и подобранным для 32 датчиков делителем напряжения ФЭУ-49Б.

3. Исследованы фоновые характеристики спектрометра АРГУС в энергетическом диапазоне $0,2 \div 1,5$ МэВ в зависимости от кратности совпадений и конфигурации внешней пассивной защиты.

4. Изучены предельные возможности 4Т-установки АРГУС при регистрации каскадного гамма-излучения некоторых нуклидов в зависимости от режима работы спектрометра при различной конфигурации внешней защиты. Экспериментально обоснована применимость установки для определения активности низкоинтенсивных (≤ 1 Бк) образцов. Показано, что предел обнаружения нуклидов, испускающих δ -кванты в каскаде на спектрометре АРГУС примерно на порядок ниже по сравнению с нуклидами, распадающимися с испусканием одного δ -кванта.

5. Предложена и апробирована на спектрометре АРГУС методика для массового экспрессного анализа активности образцов с известным качественным составом нуклидов на многодатчиковом спектрометре совпадений. Разработанная методика позволяет обходиться без регистрации энергетических спектров исследуемых объектов и обеспечивает в ряде случаев снижение времени измерения образцов на порядок и более по сравнению с измерением на низкофоновом полупроводниковом спектрометре при достаточно высокой чувствительности и точности анализа.

6. Изучены и проанализированы условия проведения эксперимента по обнаружению явления осцилляций углового распределения квантов 3δ -аннигиляции позитрония в магнитном поле. На основе высокоэффективных сцинтилляторных блоков БДЭГ2-39 разработан и создан трехкристалльный спектрометр запаздывающих совпадений. Предложены и реализованы меры, позволившие значительно сократить длительность эксперимента.

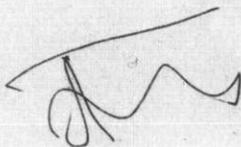
7. Впервые экспериментально наблюдалось явление временных осцилляций углового распределения квантов аннигиляции ортопозитрония в слабом магнитном поле.

В основу диссертационной работы положены следующие публикации:

1. Берестов А.В., Зязюля Ф.Е. О возможности улучшения амплитудно-временных характеристик сцинтиллятора БДЭГ2-39 // Приборы и техника эксперимента. - 1983. - № 5. - С. 47-49.
2. Андрухович С.К., Берестов А.В., Зязюля Ф.Е., Марцынкевич Б.А., Рудак Э.А., Хильманович А.М. Автоматизированная установка АРГУС для регистрации гамма-совпадений // XII Международный симпозиум по ядерной электронике: Сборник докладов. - Дубна, 1985. С. 398-401.
3. Балев В.В., Берестов А.В., Бычков П.В., Зязюля Ф.Е. Высоковольтный источник постоянного напряжения // Электронные и лазерные приборы. Препринт / Ин-т физики АН БССР, Минск. - 1984. - № 334. - С. 46-47.
4. Андрухович С.К., Берестов А.В., Зязюля Ф.Е., Марцынкевич Б.А., Рудак Э.А., Хильманович А.М. Измерительно-вычислительный комплекс для автоматизации ядерно-физических исследований лаборатории ядерной спектроскопии Института физики АН БССР // III Всесоюзный семинар по автоматизации исследований в ядерной физике и смежных областях: Тезисы докладов. - Тбилиси, 1984. С. 81-82.
5. Андрухович С.К., Берестов А.В., Зязюля Ф.Е., Марцынкевич Б.А., Рудак Э.А., Хильманович А.М. Автоматизированная регистрирующая гамма-установка совпадений (АРГУС). Часть I. Конструкция, блок-схема и основные характеристики // Препринт/ Ин-т физики АН БССР, Минск. - 1988. - № 408. - 24 с.
6. Андрухович С.К., Берестов А.В., Зязюля Ф.Е., Марцынкевич Б.А., Рудак Э.А., Хильманович А.М. Определение чувствительности установки АРГУС при регистрации каскадных γ -квантов // XXXVI Всесоюзное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра: Тезисы докладов. - Л.: Наука, 1986. С. 528.
7. Берестов А.В., Зязюля Ф.Е. Об одной возможности повышения чувствительности спектрометра АРГУС // VIII Республиканская конференция молодых ученых по физике: Тезисы докладов. - Минск, 1986. С. 89-90.
8. Берестов А.В., Марцынкевич Б.А., Хильманович А.М. Определение активности нуклидов методом регистрации каскадов γ -квантов на автоматизированном многокристалльном спектрометре // V Всесоюзный семинар по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях: Тезисы докладов. - Ташкент: ФАН, 1988. С. 61.

9. Берестов А.В., Марцынкевич В.А., Хильманович А.М. Определение активности нуклидов методом регистрации интенсивностей каскадов γ -квантов различной множественности // Препринт/ Ин-т физики АН БССР, Минск. - 1988. - № 515. - 12 с.
10. Андрухович С.К., Берестов А.В., Зязюля Ф.Е., Марцынкевич В.А., Рудак Э.А. К наблюдению биений углового распределения гамма-квантов при аннигиляции ортопозитрония в магнитном поле // Препринт/ Ин-т физики АН БССР, Минск. - 1987. - № 482. - 28 с.
11. Андрухович С.К., Барышевский В.Г., Берестов А.В., Метелица О.Н., Рудак Э.А., Тихомиров В.В. К наблюдению временных биений при аннигиляции ортопозитрония в магнитном поле // Препринт/ Ин-т физики АН БССР, Минск. - 1987. - № 483. - 9 с.
12. Андрухович С.К., Барышевский В.Г., Берестов А.В., Марцынкевич В.А., Метелица О.Н., Рудак Э.А., Тихомиров В.В. Осцилляции углового распределения квантов 3γ -аннигиляции позитрония в магнитном поле // VII Всесоюзный семинар по вопросам точности в ядерной спектроскопии: Сборник докладов. - Вильнюс, 1988. С. 98-103.
13. Baryshevsky V.G., Metelitsa O.N., Tikhomirov V.V., Andrukovich S.K., Berestov A.V., Martsinkevich B.A., Rudak E.A. Observation of time oscillation in 3γ -annihilation of positronium in a magnetic field // Physics letters A. - 1989. - V. 136. - № 7,8. - P. 428-432.

232639



Бер. А.
БЕРЕСТОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

Бел. 2005



00000004026592

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ОРТОПОЗИТРОНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И
ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ ГАММА-СОВПАДЕНИЙ

Подписано к печати 28.II.89. АТ № 13496. Печать офсетная.
Формат 60x90 1/16. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 447.
Бесплатно.

Институт физики им. Б.И.Степанова АН БССР. 220602, г.Минск, ГСП,
Ленинский пр., 70. Отпечатано на ротапринтере Института физики
им. Б.И.Степанова АН БССР.

1