

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени Б.И. СТЕПАНОВА»
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ**

УДК 539.01.08:53.072.8:539.12.04

**ДОРМЕНЕВ
ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ**

**СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ВОЛЬФРАМАТА
СВИНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА
ЭКСПЕРИМЕНТА PANDA**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц**

Минск, 2008

Работа выполнена в Научно-исследовательском учреждении «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета

Научный руководитель: **Коржик Михаил Васильевич**
доктор физико-математических наук,
заведующий отделом экспериментальной физики
высоких энергий НИУ «Институт ядерных
проблем» БГУ

Официальные оппоненты: **Рудак Эдуард Аркадьевич**
доктор физико-математических наук, старший
научный сотрудник, главный научный сотрудник
лаборатории ядерной спектроскопии ГНУ
«Институт физики имени Б.И. Степанова» НАН
Беларуси

Гурачевский Валерий Леонидович
кандидат физико-математических наук, доцент
кафедры управления и научно-технического
прогресса ИПКиПКАП БГАТУ

Оппонирующая
организация: НИУ «Национальный научно-учебный центр
физики частиц и высоких энергий» Белорусского
государственного университета

Защита состоится 24 декабря 2008 г. в 15:30 на заседании совета по защите диссертаций Д 01.05.02 при Институте физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси (220072, г. Минск, пр. Независимости, 68; тел.: +375 17 2840441, e-mail: vyblyi@dragon.bas-net.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси

Автореферат разослан «____» ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
кандидат физ.-мат. наук

Ю.П. Выблый

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальная физика частиц и высоких энергий – один из основных разделов физических исследований, цель которого изучение структуры и свойств элементарных частиц и их взаимодействия. Основным направлением исследований данного раздела физики является проведение экспериментов на пучках электронов, протонов, антипротонов, каонов и др., причем возможно проведение двух типов экспериментов: первый – на ускорителях на встречных пучках (коллайдерах) e^-e^+ , pp и т.д.; второй – на ускорителях с фиксированной мишенью.

В ближайшем будущем самым крупным функционирующим коллайдером будет Большой адронный коллайдер (Large Hadron Collider), создаваемый в Европейской лаборатории ядерных исследований, ЦЕРН (Женева, Швейцария). Он позволит работать с энергиями частиц (протонов) до 7 ТэВ при максимальной светимости $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. На базе ускорителя ЛНС планируется провести несколько крупных экспериментов по поиску бозонов Хиггса, суперсимметричных частиц, новых калибровочных бозонов и лептокварков, а также эксперименты по исследованию кварк-глюонной плазмы и нарушению CP -инвариантности в распадах B -мезонов.

Самым крупным ускорителем с фиксированной мишенью будет являться Установка для антипротонных и ионных исследований (Facility for Antiproton and Ions Research, FAIR), создаваемая в исследовательском центре GSI (Дармштадт, Германия). Составной частью этого ускорительного комплекса будет Высокоэнергетическое Накопительное Кольцо (High Energy Storage Ring, HESR). На базе HESR запланировано проведение эксперимента PANDA, цель которого – исследование кварк-глюонной плазмы и свойств s - и c -кварков. При этом планируется получить пучки антипротонов высокой интенсивности в диапазоне энергий 1,5–15,0 ТэВ. Светимость ускорителя составит $2 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Важной составной частью современных экспериментальных установок для физики частиц и высоких энергий является электромагнитный калориметр (ЭМК), предназначенный для регистрации γ -квантов, электронов и позитронов. Для достижения высокого энергетического разрешения в настоящее время используют гомогенные ЭМК, созданные на базе неорганических сцинтилляторов (NaI, $\text{Bi}_3\text{Ge}_4\text{O}_{12}$, CsI, PbWO_4 и др.). Основные требования к сцинтилляционному материалу для ЭМК – высокие плотность, скорость высвечивания сцинтилляций, радиационная стойкость, выход сцинтилляций и отсутствие интенсивных полос поглощения в области максимума люминесценции. Материал, удовлетворяющий всем вышеперечисленным требованиям одновременно, еще не создан, поэтому выбор материала для ЭМК – компромисс между требованиями конкретного эксперимента и

физическими свойствами, а также стоимостью и доступностью существующих материалов.

Проектируемый ЭМК эксперимента PANDA должен будет регистрировать γ -кванты с энергиями от 10 МэВ до 10 ГэВ с высокими скоростью счета (10^6 – 10^7 событий в секунду), энергетическим и угловым разрешениями, и иметь при этом компактные размеры из-за необходимости быть размещенным внутри соленоида с внутренним диаметром менее одного метра. Ни один из применяемых в настоящее время неорганических сцинтилляторов не удовлетворяет всем требованиям эксперимента PANDA. Например, кристаллы, обладающие относительно высоким световыходом (NaI, CsI), эффективны при регистрации γ -квантов низких и средних энергий, однако имеют большие постоянные времена затухания сцинтилляций. Кроме того, для регистрации γ -квантов с энергией выше 1 ГэВ необходимо создание калориметра большого объема, что обусловлено большими значениями радиационной длины X_0 и радиуса Мольера R_M этих материалов. При этом большие размеры ячейки ограничат угловое разрешение калориметра. Из наиболее известных и широко применяемых неорганических сцинтилляторов только кристаллы вольфрамата свинца $PbWO_4$ (PWO) в принципе позволяют создать компактный и быстрый ЭМК. Для этого, свойства этих кристаллов должны быть изменены таким образом, чтобы эффективно регистрировать γ -кванты с энергиями ниже 1 ГэВ.

Главные недостатки использованных ранее кристаллов PWO – относительно низкий световыход, порядка 4 фотоэлектронов/МэВ (фэ/МэВ) при использовании ФЭУ в качестве фотодетектора, наличие интенсивных полос поглощения в видимой области спектра пропускания. До начала проведения работ по эксперименту PANDA, в частности в рамках исследовательской программы эксперимента Компактный мюонный соленоид (CMS, ЦЕРН) удалось увеличить световыход полноразмерных образцов для ЭМК (длиной до 23 см) до 8–12 фэ/МэВ.

Предварительные исследования при подготовке эксперимента PANDA показали, что применение кристаллов вольфрамата свинца позволит создать компактный электромагнитный калориметр с внутренним радиусом порядка 50 см от оси пучка. Однако, с целью получения необходимого для реализации исследовательской программы эксперимента PANDA энергетического разрешения на уровне 2 % при энергии γ -квантов 1 ГэВ необходимым условием использования кристалла PWO в калориметре является как минимум двукратное увеличение световыхода при комнатной температуре для кристаллов длиной 20 см при сохранении или незначительном увеличении постоянной времени высвечивания сцинтилляций и радиационной стойкости кристаллов.

Таким образом, увеличение выхода сцинтилляций кристаллов вольфрамата свинца при сохранении остальных сцинтилляционных свойств на уровне, полученном для эксперимента CMS, является принципиальной задачей для успешного создания ЭМК эксперимента PANDA. Указанная задача была решена посредством модификации технологии производства кристаллов, лабораторных измерений, подтверждающих желаемое улучшение их свойств, и путем тестовых измерений матриц 3×3 , 5×5 кристаллов на пучках частиц высоких энергий для экспериментальной оценки основных характеристик ЭМК на основе кристаллов PWO с улучшенными характеристиками.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Исследования, составившие тему диссертации, выполнялись в 2002-2007 годах в соответствии с утвержденными планами научных работ Института ядерных проблем БГУ.

Тема диссертации соответствует следующим приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь:

- радиационные ядерно-физические технологии с использованием релятивистских пучков электронов, гамма-квантов и нейтронов;
- физика фундаментальных взаимодействий, ядерных реакций, квантовых систем и топологически нетривиальных объектов;

и приоритетному направлению научно-технической деятельности Республики Беларусь:

- новые материалы и новые источники энергии.

Диссертационная работа выполнялась в рамках заданий № 23 «Электромагнитная калориметрия в эксперименте CMS на LHC» (№ гос. рег. 20062607) и № 24 «Спектроскопия высокого разрешения на электромагнитном калориметре детектора PANDA на протон-антипротонном ускорителе GSI» (№ гос. рег. 20062610) государственной программы фундаментальных исследований на 2006–2010 гг. «Решение проблем физики полей, частиц и ядер на основе развития эксперимента и теории фундаментальных взаимодействий и методов моделирования физических процессов и систем»; научно-исследовательской работы «Исследование процессов радиационного поражения электромагнитных калориметров в сильных радиационных полях пучков ускорителей с высокой светимостью (LHC, FNAL)», № гос. рег. 20023959, сроки выполнения 2002–2004 гг.; темы № 02-7-1006-94/2008 «CMS – компактный мюонный соленоид» в рамках проблемно-тематического плана НИР и международного сотрудничества на

2002-2008 гг., выполняемого совместно с лабораторией физики частиц ОИЯИ (Дубна, Россия).

Исследования по теме диссертации проводились также в рамках индивидуального гранта INTAS для молодых ученых «Research and development of the high yield of lead tungstate scintillation crystals (PbWO_4) to be used at high luminosity accelerator experiments» (сроки выполнения 2005–2007 гг., INTAS Ref. № 04-83-3405).

Результаты исследований, представленные в диссертации, используются при производстве сцинтилляционных кристаллов вольфрамата свинца для ЭМК эксперимента PANDA.

Цель и задачи исследования

Цель проведенных исследований – качественное изменение свойств сцинтилляционного кристалла вольфрамата свинца для удовлетворения основным требованиям исследовательской программы эксперимента PANDA. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать возможность увеличения световыхода кристаллов вольфрамата свинца за счет улучшения технологии роста кристаллов и уровня легирования примесными ионами La и Y;

2. Исследовать температурную зависимость световыхода кристаллов вольфрамата свинца, выращенных по улучшенной технологии;

3. Исследовать продольную неоднородность светосбора в полноразмерных образцах кристаллов вольфрамата свинца и ее влияние на характеристики ЭМК;

4. Разработать модель механизма образования глубоких ловушек, отвечающих за длинные компоненты в кинетике радиационного поражения, и установить связь их концентрации и технологических особенностей получения кристаллов;

5. Исследовать функцию отклика матриц кристаллов вольфрамата свинца с различными типами фотодетекторов (фотоэлектронных умножителей и лавинных фотодиодов) при облучении на пучках частиц высоких энергий;

6. Разработать модель распространения электромагнитного ливня и регистрации его энергии в индивидуальной детекторной ячейке с учетом основных свойств сцинтиллятора, светоотражающего материала и фотодетектора;

7. На основе результатов моделирования сделать вывод об энергетическом разрешении будущего калориметра и о возможности его применения в детекторной установке эксперимента PANDA.

Объектом исследования являлись сцинтилляционные кристаллы вольфрамата свинца, предметом исследования – сцинтилляционные

характеристики кристаллов вольфрамата свинца, которые необходимо учитывать при разработке прецизионного гомогенного ЭМК для экспериментальной физики частиц.

Положения, выносимые на защиту

1. Результаты экспериментальных исследований световых кристаллов вольфрамата свинца нового поколения (PWO-II), которые показывают, что эти кристаллы, отличающиеся улучшенным структурным совершенством и суммарной концентрацией активаторов La и Y не более 50 ppm, являются радиационно-стойкими, быстродействующими сцинтилляторами с выходом сцинтилляций не менее 17 (90) фэ/МэВ для элементов длиной более $20 X_0$ при температуре $+25^{\circ}(-25^{\circ})$ С.

2. Экспериментально обнаружено и предложено объяснение образования в кристаллах вольфрамата свинца долгоживущих центров оптического поглощения на основе ассоциатов кислородных вакансий за счет радиационно-стимулированной диффузии уже при относительно малой мощности дозы (0,15 Гр/час). Указанный эффект требует использования системы мониторинга оптического пропускания кристаллов в процессе эксплуатации калориметра при длительном облучении.

3. Экспериментально и путем компьютерного моделирования установлено, что применение в калориметре кристаллов вольфрамата свинца с увеличенным световыходом (PWO-II) обеспечивает значение статистического члена энергетического разрешения не хуже $2\% / E^{1/2}$, что позволит создать компактный гомогенный ЭМК на основе этих кристаллов для регистрации γ -квантов в диапазоне энергий от 10 МэВ до 10 ГэВ с необходимым для выполнения программы эксперимента PANDA энергетическим разрешением.

Личный вклад соискателя

Общее направление исследований и постановка задач были сформулированы научным руководителем, доктором физ.-мат. наук М.В. Коржиком.

Соискатель внес существенный вклад в исследования по изменению характеристик сцинтилляционных кристаллов вольфрамата свинца для ЭМК эксперимента PANDA. С этой целью были исследованы зависимости световыхода кристаллов вольфрамата свинца от концентрации легирующих примесей и номера кристаллизации, кинетики затухания сцинтилляции от температуры. Была также исследована радиационная стойкость кристаллов при различных мощностях дозы облучения ионизирующим излучением. Соискателем были проведены исследования температурной зависимости световыхода кристаллов вольфрамата свинца, выращенных методами Чохральского и Бриджмана.

Соискателем были проведены исследования по улучшению продольной неоднородности светосбора внутри полноразмерного образца кристалла вольфрамата свинца с геометрией согласно спецификации для ЭМК эксперимента PANDA.

На основании экспериментальных данных при участии соискателя была разработана модель радиационного поражения в кристаллах вольфрамата свинца, выращенных различными методами. Установлена связь интенсивности долгоживущей компоненты радиационно-наведенного поглощения с начальной концентрацией вакансий кислорода.

Соискатель принимал участие в проведении тестовых исследований матриц 3×3 и 5×5 кристаллов с различными типами фотодетекторов на пучках γ -квантов в диапазоне температур от -25° до 0° С. При непосредственном участии соискателя была создана экспериментальная установка для проведения этих исследований. В ходе процесса тестирования экспериментальной установки автором проводились измерения по регистрации мюонов, входящих в состав вторичного космического излучения.

Соискателем разработана модель и проведено компьютерное моделирование с использованием программного пакета Geant4 процесса регистрации энергии электромагнитного ливня в матрицах 3×3 и 5×5 кристаллов вольфрамата свинца, с учетом особенностей светосбора внутри индивидуальной детекторной ячейки.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, изложенные в настоящей диссертации, были представлены на трех международных конференциях: VIII International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications SCINT-2005 (Алушта, Украина, 2005 г.), 6-ой Международной конференции «Взаимодействие излучений с твердым телом ВИТТ-2005» (Минск, 2005 г.), IX International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications SCINT-2007 (Винстон-Салем, США, 2007 г.); на конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы физики-2006» (Минск, 2006 г.); на заседании немецкого физического общества DPG Spring Meeting, Hadrons and Nuclei (Мюнхен, Германия, 2006 г.); на IX международной школе-семинаре «Актуальные проблемы физики микромира» (Гомель, Беларусь, 2007 г.); на конференции «CMS France» (Страсбург, Франция, 2006 г.); на трех рабочих совещаниях коллаборации PANDA: XVIII PANDA Collaboration meeting (Вена, Австрия, сентябрь 2006 г.), XIX PANDA Collaboration meeting (Дармштадт, Германия, декабрь 2006 г.), XXI PANDA Collaboration meeting (Дубна, Россия, июль 2007 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Результаты, полученные соискателем в соавторстве с другими членами научного коллектива, опубликованы в трех сборниках научных конференций, шесть работ являются статьями в реферируемых журналах «Приборы и техника эксперимента», «Вестник БГУ», «IEEE Transactions on Nuclear Science» и одна – ресурсом удаленного доступа (доклад). Общий объем опубликованного материала составляет 9,2 авторского листа из них в реферируемых изданиях – 4,2 авторского листа и 5,0 авторского листа – остальные публикации.

Структура и объем диссертации

Диссертация написана на русском языке и включает оглавление, введение, общую характеристику работы, три главы, разделенные на разделы и подразделы, заключение, библиографический список и приложения.

Полный объем диссертации составляет 129 страниц, включая 68 рисунков на 38 страницах, 14 таблиц на 7 страницах и 2 приложения на 3 страницах. Библиографический список включает 119 использованных источников на 9 страницах и 10 публикаций соискателя на 1 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации.

В **главе 1** рассмотрены основные свойства гомогенных ЭМК, дан краткий обзор исследовательской программы и детекторной установки эксперимента PANDA и обоснован выбор монокристаллов вольфрамата свинца в качестве сцинтилляционного материала для ЭМК.

В **разделе 1.1** приводится обзор основных типов ЭМК, применяемых в настоящее время в экспериментальной физике частиц и высоких энергий, и описаны основные эффекты, которые влияют на линейность функции отклика ЭМК. Проведено сравнение основных характеристик кристаллических калориметров наиболее значимых экспериментов созданных за последние тридцать лет.

Увеличение энергии сталкивающихся частиц на современных ускорительных установках требует создания ЭМК на основе все более «тяжелых» неорганических сцинтилляторов, что обусловлено увеличением максимальной энергии регистрируемых вторичных частиц. Увеличение интенсивности регистрируемых событий требует применение более быстрых как сцинтилляторов, так и фотодетекторов, способных работать в интенсивных магнитных полях. Кроме того, предъявляются все более высокие требования к радиационной стойкости сцинтилляторов и фотодетекторов.

В **разделе 1.2** приведено краткое описание исследовательской программы и основных модулей детекторной установки эксперимента PANDA.

Исследовательская программа эксперимента PANDA охватывает следующие направления:

- Спектроскопия чармония (cc): измерение энергии и ширины уровня всех состояний чармония с высокой точностью. Примеры реакций: $pp \rightarrow \eta_c \rightarrow \gamma\gamma$, $pp \rightarrow J/\psi \rightarrow e^+e^-$.
- Исследование свойств экзотических адронов (гибриды, глоболы, содержащие c - и \bar{c} -кварки) в области масс чармония (3–5 ГэВ), предсказанных в рамках квантовой хромодинамики. Примеры реакций: $pp \rightarrow h_c \eta \rightarrow \chi_c \pi^0 \pi^0 \eta$, $pp \rightarrow DD \rightarrow KK\pi KK\pi$.
- Исследование структуры одиночных и двойных гиперядер, гиперон-нуклонного и гиперон-гиперон взаимодействия с помощью точной γ -спектроскопии в реакциях типа $pp \rightarrow \Lambda\Lambda$ и $pp \rightarrow \Xi\Xi$.

На основе анализа физической программы эксперимента PANDA сформулированы следующие требования к детекторной установке:

- Регистрация и идентификация заряженных и нейтральных частиц (e , μ , K , π , p и γ -квантов) с высокими угловым и пространственным разрешениями.
- Высокая скорость счета, обусловленная высокой скоростью событий (10^7 аннигиляций/с) в режиме максимальной светимости.
- Импульсное разрешение порядка 1% при регистрации заряженных каонов.
- Высокая радиационная стойкость к фоновому адронному излучению, образовавшемуся в результате распада ядер мишени и, особенно к нейтронам с энергиями от тепловых и выше.
- Регистрация γ -квантов в диапазоне энергий от 10 МэВ до 10 ГэВ в близкой (96%) к 4π -геометрии. Это обусловлено, например, требованием регистрации шести γ -квантов в реакции $pp \rightarrow \pi^0 \pi^0 \eta \rightarrow 6\gamma$. Поскольку регистрация π^0 будет вестись по каналу распада на два нейтральных γ -кванта с энергиями в диапазоне 125–145 МэВ, то для уменьшения потерь регистрируемой энергии электромагнитного ливня и получения высокого энергетического разрешения необходимо применение ЭМК с энергетическим порогом отдельного модуля 10 МэВ или ниже.

В разделе 1.3 рассмотрены основные характеристики гомогенных ЭМК.

В разделе 1.4 рассмотрены основные характеристики кристаллов вольфрамата свинца, которые необходимо учитывать при создании гомогенного ЭМК, в сравнении с другими широко применяемыми сцинтилляционными материалами.

По совокупности таких параметров как радиационная длина, радиус Мольера, постоянная времени затухания сцинтилляций и радиационная стойкость монокристалл вольфрамата свинца является приемлемым сцинтилляционным материалом для ЭМК эксперимента PANDA, однако

необходимым условием его применения является существенное увеличение световыхода полноразмерных элементов (длиной 20-22 X_0).

В разделе 1.5 описаны исследованные образцы кристаллов PWO, а также экспериментальное оборудование и примененные методы исследований.

В главе 2 рассмотрены вопросы увеличения световыхода кристаллов вольфрамата свинца, результаты исследований температурной зависимости световыхода данных кристаллов, улучшение светосбора внутри полноразмерного образца и радиационного поражения при длительном облучении кристаллов PWO в интенсивных полях ионизирующего излучения.

В разделе 2.1 кратко описаны основные свойства электронных центров захвата и их влияние на сцинтилляционные свойства кристаллов PWO.

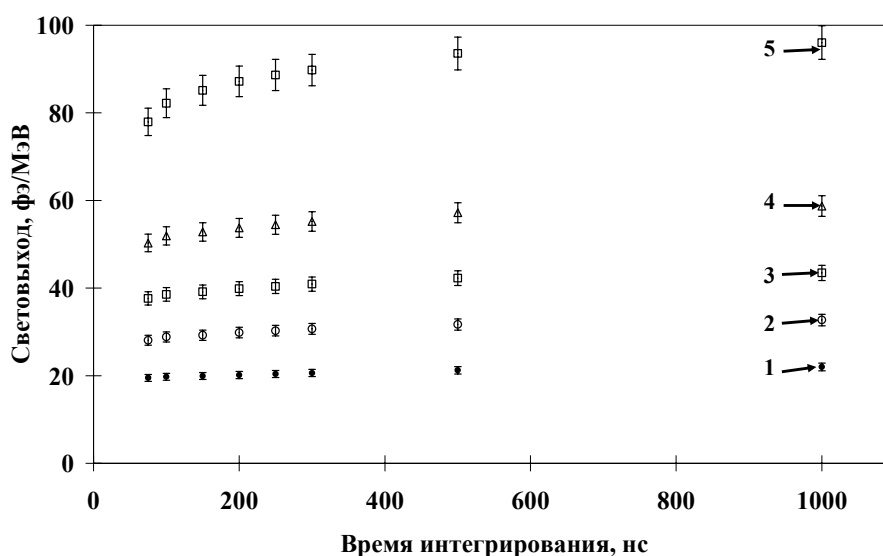
В разделе 2.2 описаны основные свойства кристаллов вольфрамата свинца, выращенных методом Чохральского, для экспериментов CMS и PANDA. Кристаллы вольфрамата свинца PWO-I, предназначенные для применения в электромагнитном калориметре коллаборации CMS, активированы ионами La Y на уровне 100 ppm. Относительно высокий уровень активации необходим для обеспечения высокой радиационной стойкости калориметра к ионизирующему излучению. Однако при этом происходит уменьшение выхода сцинтилляции в кристалле данного типа. Сцинтилляционные кристаллы данного типа имеют световыход сцинтилляции быстрой компоненты порядка 20 фэ/МэВ в случае малых образцов (объем несколько см³). Соответствующий полноразмерный кристалл (длиной 20-23 см) имеет световыход 8–12 фэ/МэВ. Величина световыхода кристалла PWO-I порядка 8 фэ/МэВ считается достаточной для обеспечения статистического члена энергетического разрешения калориметра на уровне 2,7% при энергии квантов 1 ГэВ, требуемого спецификацией CMS.

В результате исследований по совершенствованию технологии роста кристаллов вольфрамата свинца при постоянном контроле основных свойств установлено, что оптимальным набором характеристик для применения в ЭМК детектора PANDA обладают кристаллы, активированные La, Y, при общей концентрации на уровне 40 ppm. Так, образцы объемом несколько см³ имеют световыход 41 фэ/МэВ при использовании ФЭУ в качестве фотодетектора, а полноразмерные кристаллы длиной до 20 см, вырезанные из того же сцинтиллятора, имеют световыход не менее 17 фэ/МэВ при +25° С.

Таким образом, можно констатировать, что получено новое поколение кристаллов вольфрамата свинца с увеличенным световыходом (PWO-II). Наблюдается двукратное увеличение световыхода при комнатной температуре для полноразмерных образцов кристаллов нового поколения по сравнению с кристаллами для ЭМК эксперимента CMS (PWO-I). Данный результат достигнут путем уменьшения в кристалле концентрации дефектов, т.е.

повышения структурного совершенства кристаллов, и уменьшением концентрации используемых активаторов. При этом радиационно-наведенное оптическое поглощение и кинетика высвечивания сцинтилляции сохранились на ранее достигнутом уровне.

В разделе 2.3 представлены результаты исследований температурной зависимости кристаллов вольфрамата свинца, выращенных методом Чохральского и методом Бриджмана. На рисунке 1 представлены результаты измерений для 10 полноразмерных (длиной 20 см) кристаллов вольфрамата свинца с увеличенным световыходом, выращенных методом Чохральского.



1 – измерение при $T = +25^{\circ}\text{C}$; 2 - измерение при $T = +10^{\circ}\text{C}$; 3 – измерение при $T = 0^{\circ}\text{C}$; 4 - измерение при $T = -10^{\circ}\text{C}$; 5 - измерение при $T = -25^{\circ}\text{C}$

Рисунок 1 – Зависимости средних значений световыхода от времени интегрирования для 10 кристаллов, выращенных методом Чохральского, измеренные при различных температурах

Установлено, что кристаллы обоих типов обладают практически одинаковым световыходом при пониженной температуре, содержат приемлемую долю медленных компонент в кинетике сцинтилляций, однако кристаллы, выращенные методом Бриджмана, обладают более высокой неоднородностью оптического пропускания и, следовательно, светосбора. Более того, интенсивность медленной компоненты в кинетике сцинтилляции для кристаллов, выращенных методом Бриджмана, растет быстрее с понижением температуры, что ухудшает временное разрешение ЭМК. Для кристаллов обоих типов получены температурные зависимости световыхода и оценены температурные коэффициенты изменения световыхода для кристаллов обоих типов. Данные зависимости могут быть использованы при разработке систем контроля качества при массовом производстве кристаллов и мониторинга ЭМК, когда характеристики, измеренные при комнатной

температуре, используются для оценки параметров ЭМК при пониженной температуре.

В разделе 2.4 рассмотрен вопрос улучшения светосбора полноразмерного кристалла вольфрамата свинца с увеличенным световыходом в форме усеченной пирамиды с геометрическими размерами, соответствующими спецификации эксперимента PANDA: длина 20 см, поперечные сечения $21,39 \times 21,64 \text{ мм}^2$ (малое) и $27,50 \times 27,05 \text{ мм}^2$ (большое). Установлено, что дополнительная обработка боковой поверхности кристалла позволяет уменьшить продольную неоднородность светосбора детекторной ячейки на основе такого кристалла. Оптимальным является случай, когда одна боковая сторона кристалла отшлифована с параметром шероховатости $R_a = 0,35 \text{ мкм}$. При этом удается уменьшить неоднородность светосбора вдоль всей длины кристалла в два раза, без уменьшения величины световыхода.

В разделе 2.5 предложена модель образования глубоких электронных ловушек на основе дивакансий под действием ионизирующего излучения в результате диффузии кислородных вакансий в кристалле, которая описывается системой кинетических уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dn_e}{dt} &= -n_e\Omega - n_e b + V + n^* \Omega_1, \\ \frac{dn}{dt} &= -n_e\Omega + n^* \Omega_1 - 4\pi r_0 D n n^* \left(1 - \frac{r_0}{\sqrt{4\pi D t}}\right), \\ \frac{dn^*}{dt} &= n_e\Omega - n^* \Omega_1 - 4\pi r_0 D n n^* \left(1 - \frac{r_0}{\sqrt{4\pi D t}}\right), \\ \frac{dN}{dt} &= 4\pi r_0 D n n^* \left(1 - \frac{r_0}{\sqrt{4\pi D t}}\right) - N\omega_{TC}, \end{aligned}$$

где n_e – концентрация электронов в зоне проводимости кристалла, Ω – скорость захвата двух электронов ловушкой на основе кислородной вакансии, b – полная скорость рекомбинации (излучательной и безызлучательной) электронов зоны проводимости, которая для вольфрамата свинца равна $1/\tau_{sc} \sim 10^8 \text{ с}^{-1}$, V – скорость образования электронов в зоне проводимости $(\text{с} \times \text{м}^3)^{-1}$, Ω_1 – скорость релаксации электронов из мелких центров на основе вакансии, n , n^* , N – концентрации незаряженных, заряженных вакансий и дивакансий в кристалле соответственно, D – параметр диффузии вакансий, r_0 – радиус захвата незаряженной вакансии заряженной, ω_{TC} – скорость термостимулированной релаксации центров на основе дивакансий.

Сравнение экспериментальных данных, полученных для кристаллов, выращенных методами Чохральского и Бриджмана, показывает, что повышенная концентрация кислородных вакансий в кристаллах вольфрамата свинца приводит к следующим эффектам.

Происходит агрегация кислородных вакансий под действием ионизирующего излучения, что способствует увеличению числа устойчивых

дивакансий в кристалле. Следствием возрастания концентрации дивакансий в кристалле под действием ионизирующего излучения является рост наведенного оптического поглощения уже при относительно малых мощностях дозы (0,15 Гр/час), а также уменьшение световыхода со скоростью, определяемой процессом образования дивакансий.

Накоплению дивакансий при комнатной температуре вследствие необратимости процесса их образования, приводящему к увеличению процента невосстанавливаемого поражения при длительном облучении.

Таким образом, для установления динамического режима насыщения наведенного оптического поглощения в кристаллах, используемых в ячейках ЭМК, должна быть минимизирована концентрация кислородных вакансий, обуславливающих мелкие электронные центры.

В разделе 2.5 представлены выводы по главе 2.

В главе 3 приведены результаты тестовых исследований и компьютерного моделирования регистрации энергии электромагнитного ливня в матрицах 3×3 и 5×5 кристаллов вольфрамата свинца при облучении на пучках γ -квантов в диапазоне энергий 40–675 МэВ.

В Разделе 3.1 представлены результаты тестовых измерений матрицы 5×5 кристаллов PWO-II с ФЭУ в качестве фотодетекторов при температуре –25° С.

Энергетическое разрешение матрицы может быть аппроксимировано выражением:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{2,0\%}{\sqrt{E}} \oplus 0,9\% ,$$

где σ – стандартное отклонение, E – энергия γ -квантов в ГэВ.

В Разделе 3.2 представлены результаты тестовых измерений матрицы 3×3 кристаллов PWO-II с лавинными фотодиодами (ЛФД) в качестве фотодетекторов при температуре 0° С.

Энергетическое разрешение матрицы может быть аппроксимировано выражением:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{2,0\%}{\sqrt{E}} \oplus 1,7\% .$$

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Статистический член энергетическое разрешение матрицы 3×3 кристаллов PWO-II с ЛФД в качестве фотодетекторов уже при температуре 0° С сравним с результатами, полученными для матрицы 5×5 кристаллов PWO-II с ФЭУ при –25° С. С учетом того, что световыход кристаллов PWO-II увеличивается более чем в два раза при понижении температуры от 0° до –25° С, следует ожидать уменьшения статистического члена энергетического разрешения до величины 1,5-1,6 %.

Оптимальным фотодетектором для применения в ЭМК детектора PANDA является ЛФД с размерами фоточувствительной площади не менее $1 \times 1 \text{ см}^2$.

В Разделе 3.3 представлены результаты компьютерного моделирования распространения и регистрации энергии γ -квантов в объеме рабочего вещества матриц 3×3 и 5×5 кристаллов PWO-II с ЛФД в качестве фотодетекторов при температурах 0° и -25° C .

На рисунке 2 представлены зависимости энергетического разрешения матриц 3×3 и 5×5 кристаллов вольфрамата свинца от энергии γ -квантов, полученные экспериментально и в результате компьютерного моделирования.

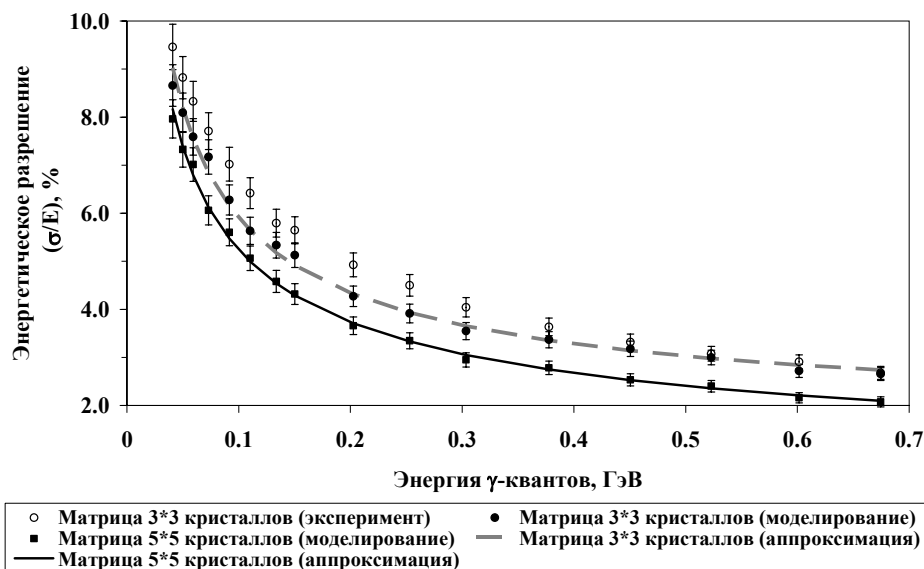


Рисунок 2 – Энергетические разрешения матриц 3×3 и 5×5 кристаллов вольфрамата свинца с ЛФД в качестве фотодетекторов, полученные экспериментальным путем и в результате компьютерного моделирования. Рабочая температура 0° C

Энергетическое разрешение матриц при температуре 0° C может быть аппроксимировано выражениями:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{1,8\%}{E} \oplus 1,7\%$$

для матрицы 3×3 кристаллов и

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{1,7\%}{E} \oplus 0,6\%$$

для матрицы 5×5 кристаллов.

Энергетическое разрешение матриц при температуре -25° C может быть аппроксимировано выражениями:

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{1,6\%}{E} \oplus 2,0\%$$

для матрицы 3×3 кристаллов и

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{1,5\%}{E} \oplus 0,8\%$$

для матрицы 5×5 кристаллов.

Полученные результаты указывают на то, что энергетическое разрешение матрицы 3×3 кристаллов при температуре 0°C , полученное в результате компьютерного моделирования, удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными для энергий γ -квантов выше 400 МэВ.

В обоих случаях, при 0° и -25°C , величина постоянного члена энергетического разрешения уменьшается более чем в два раза при переходе от матрицы 3×3 к матрице 5×5 кристаллов, что говорит об уменьшении утечек энергии электромагнитного ливня во втором случае. На основании этого результата можно сделать предположение, что величина постоянного члена энергетического разрешения может быть уменьшена в случае матриц с большим числом детекторных элементов или ЭМК в целом.

При понижении температуры матрицы с 0° до -25°C происходит уменьшение статистического члена энергетического разрешения. Экспериментально полученное значение статистического члена (2,0 %) энергетического разрешения при температуре 0°C удовлетворяет основным требованиям к гомогенному ЭМК эксперимента PANDA.

В Разделе 3.4 проведен анализ результатов, описанных в разделах 3.1 и 3.2, и сравнение с ранее полученными результатами.

В Разделе 3.5 приведены выводы и представлены рекомендации по разработке ЭМК эксперимента PANDA.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результаты исследований кратко можно сформулировать следующим образом:

1. Улучшение структурного совершенства синтетических кристаллов вольфрамата свинца позволяет снизить концентрацию активаторов иттрия и лантана, используемых для повышения радиационной стойкости кристаллов, до суммарной концентрации 40–50 ppm. Тем самым достигается двукратное увеличение выхода сцинтилляций в кристалле при $+25^\circ \text{C}$, до 19 ± 2 фэ/МэВ, для элементов длиной более $20X_0$, при сохранении их радиационной стойкости и быстродействия сцинтилляций. Улучшение получено для кристаллов вольфрамата свинца, выращенных методом Чохральского (PWO-II). Понижение температуры эксплуатации кристаллов PWO-II в калориметре до -25°C позволяет увеличить световой выход дополнительно не менее чем в четыре раза, при этом 90% света сцинтилляций высвечивается за время не более 200 нс. Таким образом, применение кристаллов вольфрамата свинца нового поколения PWO-II при $T = -25^\circ \text{C}$ позволяет получить суммарное увеличение световыхода в 8-10 раз до величины 90-100 фэ/МэВ в сравнении с кристаллами PWO-I для эксперимента CMS при комнатной температуре. Это позволит применять такой сцинтиллятор в детекторных установках для регистрации частиц в диапазоне низких и средних энергий, начиная от 10 МэВ, на ускорителях с большой светимостью [1, 2, 5, 8, 9].

2. В сцинтилляционных кристаллах вольфрамата свинца, выращенных методом Чохральского, при облучении происходит установление режима, близкого к динамическому режиму насыщения наведенного оптического поглощения. Это достигается за счет минимизации концентрации кислородных вакансий в кристалле. Под действием облучения γ -квантами, даже при малых мощностях дозы, 0,15 Гр/час, в кристаллах возникают дополнительные дефекты, формирующие глубокие электронные центры за счет образования ассоциатов кислородных вакансий. Такие ассоциаты возникают вследствие радиационно-стимулированной диффузии единичных вакансий. Кристаллы, выращенные методом Бриджмана, обладают большей концентрацией кислородных вакансий в сравнение с кристаллами, полученными методом Чохральского, причем ее не удается снизить технологическими приемами. Это приводит к невозможности достичь насыщения радиационного поражения в кристаллах, выращенных методом Бриджмана, и, как следствие, следует ожидать ухудшения оптических и сцинтилляционных свойств ячейки ЭМК на основе этих кристаллов при длительном и непрерывном цикле работы ЭМК в полях радиационного излучения. Кристаллы PWO, полученные методом Бриджмана, не рекомендованы для применения в ЭМК эксперимента PANDA. Установление при облучении режима, близкого к динамическому, насыщения наведенного оптического поглощения, в кристаллах PWO-II, в комбинации с мониторингом оптического пропускания этих кристаллов, обеспечивает возможность получения высокого энергетического разрешения электромагнитного калориметра [2-4].

3. Выполнены исследования по улучшению светосбора внутри детекторной ячейки электромагнитного калориметра детектора PANDA на основе кристалла PWO-II. Установлено, что шлифовка одной боковой стороны элемента с параметром шероховатости поверхности $R_a = 0,35$ мкм позволяет сохранить величину световыхода, однако одновременно уменьшить продольную неоднородность светосбора кристалла более чем в два раза, до величины $0,30 \pm 0,05 \% / X_0$. Для матрицы 3×3 кристаллов PWO-II длиной $22,5 X_0$ и ЛФД с активной площадью 1 см^2 в качестве фотодетекторов, при температуре 0°C было получена следующая аппроксимация для энергетического разрешения

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{2,0\%}{\sqrt{E}} \oplus 1,7\%.$$

Результаты компьютерного моделирования показывают возможность дальнейшего уменьшения статистического члена энергетического разрешения при $T = -25^\circ \text{C}$ до значений $1,6 \% / E^{1/2}$ и $1,5 \% / E^{1/2}$ для матриц 3×3 и 5×5 кристаллов соответственно. Экспериментально полученное значение статистического члена энергетического разрешения удовлетворяет основным требованиям к гомогенному ЭМК эксперимента PANDA [6, 7, 10].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Выполненные исследования позволили разработать спецификацию для сцинтилляционных элементов кристаллов вольфрамата свинца для использования в электромагнитном калориметре эксперимента PANDA.

Применение сцинтилляционных кристаллов вольфрамата свинца с увеличенным световыходом PWO-II и ЛФД в качестве фотодетекторов позволит создать универсальный прецизионный гомогенный ЭМК для регистрации частиц в области энергий от 10 МэВ до 10 ГэВ, в близкой к 4л-геометрии относительно точки взаимодействия пучка антипротонов с мишенью.

Температурная зависимость световыхода кристаллов PWO-II (температурный коэффициент изменения световыхода $-3\%/^{\circ}\text{C}$), может быть применена для разработки методики оценки световыхода полноразмерных образцов при пониженных температурах по величине световыхода, измеренной при комнатной температуре, при массовом производстве кристаллов.

На основании обнаруженного эффекта установления режима, близкого к динамическому, насыщения наведенного оптического поглощения был сделан вывод о необходимости разработки системы мониторинга световыхода индивидуальной ячейки ЭМК. Данная система позволит избежать ухудшения статистического члена энергетического разрешения ЭМК за счет учета изменения оптического пропускания, и как результат световыхода, индивидуальной детекторной ячейки.

Разработана модель детекторной ячейки калориметра, которая позволяет проводить компьютерное моделирование как всего калориметра в целом, так и его составных частей при регистрации γ -квантов, с учетом особенностей регистрации энергии электромагнитного ливня в объеме индивидуальной ячейки.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи.

1. Сцинтилляционные кристаллы вольфрамата свинца с улучшенным световыходом для применения в экспериментальной физике высоких энергий / А.Е. Борисевич, В.И. Дорменев, М.В. Коржик, О.В. Мисевич, А.А. Федоров // Приборы и техника эксперимента. – 2006. – №2. – С. 59–62.
2. Исследование статистических показателей радиационной стойкости кристаллов PWO для центральной части электромагнитного калориметра проекта CMS / В.И. Дорменев, А.Н. Анненков, А.Е. Борисевич, Г.Ю. Дробышев, М.В. Коржик, К.Б. Рудов // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – №2. – С. 71–77.
3. Исследование кинетики радиационного повреждения кристаллов PWO для электромагнитного калориметра CMS (CERN) / В.И. Дорменев,

Г.Ю. Дробышев, М.В. Коржик, А.Р. Лопатик, Ж.-П. Пенъё, Д. Сью // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – №3. – С. 37–41.

4. Влияние мелких ловушек на радиационное поражение в кристаллах вольфрамата свинца при малой мощности дозы ионизирующего излучения / Э. Ауффрей, А.Е. Борисевич, В.И. Дорменев, Г.Ю. Дробышев, М.В. Коржик, П. Лекок, В.А. Мечинский, О.В. Мисевич // Вестник БГУ. Сер. 1. – 2006. – №1. – С. 63–69.
5. Radiation hardness and recovery processes of PWO Crystals at -25°C / R. Novotny, S.F. Burachas, W. M. Doring, V. Dormenev, Y.M. Goncharenko, M.S. Ippolitov, A. Hofstaetter, M.Korzshik, V. Manko, Y.M. Melnik, O. Missevitch, V.V. Mochalov, A.V. Ryazantsev, P.A.Semenov, G. Tamulaitis, A.V. Uzunian, A.A. Vasiliev, A.N. Vasiliev // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2008. – Vol. 55, №3. – P. 1283–1288.
6. Performance of PWO-II prototype arrays for the EMC of PANDA / R. Novotny, W. Doring, V. Dormenev, P. Drexler, W. Erni, M. Rost, M. Steinacher, M. Thiel, A. Thomas // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2008. – Vol. 55, №3. – P. 1295–1298.

Материалы конференций.

7. Оптимизация сцинтилляционных ячеек электромагнитных калориметров проектов CMS (ЦЕРН, Швейцария) и BTeV (Лаборатория им. Э. Ферми, США) / В.И. Дорменев, Г.Ю. Дробышев, М.В. Коржик, А.С. Лобко, О.В. Мисевич, К.Б. Рудов, А.А. Федоров. // Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф., Минск. 17-18 окт. 2002 г.: в 2 ч. / РИВШ БГУ; редкол.: Ю.В. Сидоренко [и др.] – Минск, 2002. – Ч. 1. – С. 105–110.
8. Scintillation properties of lead tungstate with improved light yield / A. Fedorov, R. Novotny, V. Dormenev, M. Korzhik, O. Missevitch, A. Annenkov, V. Ligoun // SCINT2005: proceedings of 8th Intern. Conf. on inorganic scintillators and their use in scientific and industrial applications, Alushta, Crimeria, Ukraine, September 19–23, 2005. / National Academy of Science of Ukraine, NTC "Institute for Single Crystals", Institute for Scintillation Materials (ISMA); Eds.: A. Gektin, B. Grinyov. – Kharkov, 2006. – P. 389–390.
9. Радиационное поражение в сцинтилляционных кристаллах вольфрамата свинца / Г.Ю. Дробышев, А.Е. Борисевич, В.И. Дорменев, М.В. Коржик, О.В. Мисевич, А.А. Федоров // ВИТТ-2005: Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 6-й междунар. науч. конф., Минск, 28–30 сент. 2005 г. / Изд. центр БГУ; редкол.: В.М. Анищик [и др.] – Минск, 2005. – С. 106–108.

Ресурсы удаленного доступа.

10. Dormenev, V. The test measurements of 5×5 PbWO_4 crystal matrix with cosmic muons / V. Dormenev // Report on PANDA Collaboration Meeting [Electronic resource] – Darmstadt, Germany, 2006. – Mode of access: http://www-panda.gsi.de/auto/mtg/_home.htm. – Date of access: 10.03.2007.

РЕЗЮМЕ

Дорменев Валерий Иванович

«СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ВОЛЬФРАМАТА СВИНЦА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА PANDA»

Ключевые слова: электромагнитная калориметрия, детектор эксперимента PANDA, гомогенный ЭМК, сцинтилляционный кристалл, вольфрамат свинца (PWO), сцинтилляционные свойства, световыход, улучшение светосбора, радиационная поразка, агрегация вакансий.

Цель исследования – изменение сцинтилляционных свойств кристалла вольфрамата свинца для согласования с основными требованиями исследовательской программы эксперимента PANDA.

Объект исследования – сцинтилляционные кристаллы вольфрамата свинца.

Предмет исследования – характеристики кристаллов вольфрамата свинца, которые необходимо учитывать при разработке прецизионного гомогенного ЭМК для экспериментальной физики частиц.

Методология и методы исследования – использовались теоретический, экспериментальный методы и методы математического моделирования. Эксперименты осуществлялись путем проведения лабораторных измерений и тестовых исследований на пучках частиц. Результаты экспериментов обрабатывались методами корреляционного анализа и математической статистики.

Полученные результаты и их новизна. Путем улучшения структурного совершенства кристаллов при одновременном снижении уровня активации ионами La и Y до 40–50 ppm получено увеличение световыхода кристаллов вольфрамата свинца. Разработана модель радиационного поражения кристаллов при облучении в полях ионизирующего излучения. Улучшен светосбор в детекторной ячейке калориметра. Проведены тестовые измерения и компьютерное моделирование регистрации энергии электромагнитного ливня внутри матриц 3×3 и 5×5 кристаллов вольфрамата свинца при температурах 0° и -25° C на пучках γ -квантов в диапазоне энергий 40–675 МэВ, подтвердившие возможность использования этих кристаллов в калориметре эксперимента PANDA.

Степень использования результатов. Результаты использованы при адаптации технологии на заводе-изготовителе кристаллов для доведения их до требований спецификации эксперимента PANDA.

Область применения – разработка и создание электромагнитных калориметров для экспериментов по физике частиц и высоких энергий.

РЭЗЮМЭ

Дорменеў Валерый Іванавіч

«СЦЫНТЫЛЯЦЫЙНЫЯ КРЫШТАЛІ ВАЛЬФРАМАТУ СВІНЦУ ДЛЯ ЭЛЕКТРАМАГНІТНАГА КАЛАРЫМЕТРУ ЭКСПЕРЫМЕНТУ PANDA»

Ключавыя словы: электрамагнітная каларыметрыя, дэтэктар эксперыменту PANDA, гамагены ЭМК, сцынтыляцыйны крышталі, вальфрамат свінцу (PWO), сцынтыляцыйныя асаблівасці, святлавыхад, паляпшэнне святлазбору, радыяцыйнае пашкоджанне, агрэгация вакансій.

Мэта даследавання – змяненне сцынтыляцыйных асаблівасцей крышталю вальфрамату свінцу дзеля згаднення з асноўнымі патрабаваннямі даследчай праграмы эксперыменту PANDA.

Аб'ект даследавання – сцынтыляцыйныя крышталі вальфрамату свінцу.

Прадмет даследавання – характарыстыкі крышталеў вальфрамату свінцу, якія патрэбна ўлічваць пры распрацоўке прэцызійнага гамагенага ЭМК для эксперыментальнай фізікі часціц.

Метадалогія і метады даследавання – выкарыстоўваліся тэарэтычны, эксперыментальны метады і метады матэматычнага мадэлявання. Эксперыменты праводзіліся шляхам правядзення лабараторных вымярэнняў і тэставых даследаванняў на пучках часціц. Вынікі эксперыментаў апрацоўваліся метадамі карэляцыйнага аналізу і матэматычнай статыстыкі.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Шляхам паляпшэння структурнай якасці крышталеў пры адначасовым зніжэнні узроўню актывацыі іонамі La і Y да 40–50 ppm атрымана павелічэнне святлавыхаду крышталеў вальфрамату свінцу. Распрацавана мадэль радыяцыйнага пашкоджання крышталеў пры абпраменьванні ў інтэнсіўных палях іанізуючага выпраменьвання. Палепшан святлазбор дэтэктарнай ячэйкі каларыметра. Праведзены тэставыя вымярэнні і камп'ютэрнае мадэліраванне рэгістрацыі энергіі электрамагнітнага ліўня унутры матрыц 3×3 і 5×5 крышталеў вальфрамату свінцу пры тэмпературах 0° і –25° С на пучках γ -квантаў у дыяпазону энергій 40–675 МэВ, пацвердзеўшыя магчымасць выкарыстання такіх крышталеў у каларыметры калабарацыі PANDA.

Ступень выкарыстання вынікаў. Вынікі выкарыстоўваюцца пры адаптацыі тэхналогіі на заводзе-вытворцы крышталеў дзеля даводжання іх да патрабаванняў спецыфікацыі эксперыменту PANDA.

Галіна выкарыстання – распрацоўка і стварэнне электрамагнітных каларыметраў дзеля эксперыментаў па фізікі часціц і высокіх энергій.

SUMMARY

Dormenev Valery Ivanovich

«LEAD TUNGSTATE SCINTILLATION CRYSTALS FOR THE ELECTROMAGNETIC CALORIMETER OF THE PANDA EXPERIMENT»

Keywords: electromagnetic calorimetry, PANDA experiment detector, homogenous EMC, scintillation crystal, lead tungstate (PWO), scintillation properties, light yield, improvement of the light collection, radiation hardness, vacancy aggregation.

Research goal – adaptation of scintillation properties of lead tungstate crystals according to basic specification of the PANDA Experiment investigation program.

Research object – lead tungstate scintillation crystals.

Research subject – characteristics of the lead tungstate crystals, which are necessary to consider to design precession homogenous EMC for the experimental particle physics.

Methodology and research methods – the theoretical, experimental methods as well as mathematical simulation methods were used. The experiments carried out in laboratory measurements and tests on the particles beam. The experimental results are proceeded by methods of correlation analysis and the mathematical statistics.

Obtained results and their novelty. The light yield of the lead tungstate crystals due to structural improvement of crystals with simultaneous decrease of La and Y ions activation level till 40 ppm was increased. A model of crystals radiation damage under irradiation in intensive ionizing radiation fields is developed. The light collection in the PWO crystal was improved. Test measurements and simulation of electromagnetic shower registration in matrices of the 3×3 и 5×5 lead tungstate crystals at 0° and –25° C in the γ -quanta beams in 40–675 MeV energy range were performed. The results of tests confirmed a possibility to use PWO crystals in the electromagnetic calorimeter of PANDA Collaboration.

Scale of the results application. As a result of technology adaptation the producer started a production of crystals with parameters acceptable for use in PANDA experiment.

Field of application – development and construction of the electromagnetic calorimeters for particle and high energy physics experiments.

Дорменев Валерий Иванович

**СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ВОЛЬФРАМАТА СВИНЦА
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАЛОРИМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА PANDA**

Подписано в печать _____ 2008 г.

Формат 60×90 1/16. Бумага офисная.

Печать офсетная. Печ. л. _____ Уч.-изд. л. _____

Тираж 60 экз. Заказ № _____

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
220072, г. Минск, пр. Независимости, 68

Отпечатано на ризографе Института физики НАНБ
Лицензия ЛП №20 от 27.05.2003г.