

Ханбекова Никиты Дмитриевича

«Изучение свойств монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ и изготовленных на их основе сцинтилляционных элементов криогенного детектора для поиска безнейтринного двойного бета-распада изотопа ^{100}Mo »

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертация посвящена исследованию свойств изотопно-обогащённых монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ с целью их последующего использования в детекторе безнейтринного двойного бета-распада изотопа ^{100}Mo . Работа выполнялась в рамках подготовки международного эксперимента AMoRE (Advanced Mo based Rare process Experiment).

Низкофоновые эксперименты по поиску безнейтринного двойного бета-распада (GERDA, EXO-200, Kamland-Zen и другие) занимают важное место в современной физике нейтрино. Интерес к этой теме обусловлен тем, что в случае обнаружения двойного бета-распада возникают следующие интригующие возможности: 1) постулировать нарушение закона сохранения лептонного числа, 2) однозначно определить природу нейтрино (майорановская или дираковская), 3) установить абсолютную массу нейтрино.

Монокристаллы молибдата кальция $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ имеют ряд преимуществ в качестве материала для криогенного детектора: 1) высокое содержание рабочего изотопа (49%), 2) возможность отбора фоновых событий из анализа сцинтилляционных сигналов, 3) возможность организации схемы эксперимента, при которой кристалл - источник процесса - также является и детектором, что обеспечивает высокую эффективность регистрации событий. Исследование свойств материала детектора, а также возможностей подавления фона, являются важнейшей частью работы по подготовке эксперимента. Исходя из этого, **актуальность** темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

В первой главе изложены основы теории $0\nu2\beta$ -распада, а также дан обзор проводившихся и ведущихся в настоящий момент экспериментов по поиску этого процесса. Последний параграф этой главы посвящён особенностям изотопа ^{100}Mo с точки зрения использования его в $0\nu2\beta$ -эксперименте.

Во второй главе описаны свойства сцинтилляционных монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$, подробно рассказано о создаваемом детекторе AMoRE, дано описание источников фона в $0\nu2\beta$ -эксперименте. В двух последних параграфах главы приведено описание процесса производства и очистки исходных компонентов и шихты для роста монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$, а также производства сцинтилляционных элементов на их основе. В результате реализованной при участии автора диссертации программы глубокой очистки изотопно-обогащенных материалов от радиоактивных примесей ^{232}Th , ^{238}U и ^{226}Ra , получены материалы удовлетворяющие требованиям к исходным компонентам для производства сцинтилляционных элементов в $0\nu2\beta$ -эксперименте.

Третья глава посвящена характеристике образцов монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$. В первом параграфе главы автор описывает разработанную им установку, на которой проводятся измерения относительного световыхода образцов монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ при комнатной температуре, что необходимо для совершенствования технологии изготовления монокристаллов и текущего контроля качества получаемых образцов. Далее приводятся результаты измерения постоянной высвечивания молибдатов кальция в температурном диапазоне 8-295 К, прозрачности образцов монокристалла $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ и измерения удельной γ -активности монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ на ППД. Четвёртый параграф этой главы посвящен детальному описанию измерений абсолютного световыхода монокристалла $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ по методике MCRIM (Monte Carlo refractive index matching). Методика MCRIM была разработана для характеристики сцинтилляторов с высоким коэффициентом преломления, когда необходимо точно определять эффективность светосбора, а Монте-Карло моделирование затруднено недостатком информации об исходных параметрах. В результате применения методики MCRIM было измерено значение абсолютного световыхода молибдата кальция при комнатной температуре, представляющееся наиболее точным из полученных на данный момент.

В четвёртой главе дано описание исследования внутреннего фона трёх сцинтилляционных элементов из изотопно-обогащённого молибдата кальция. Описывается установка для измерения внутреннего фона монокристаллов в подземной лаборатории, приведены особенности системы записи и обработки данных, методов анализа измерений внутреннего фона сцинтилляторов и особенностей их применения к данным, полученным в измерениях с молибдатом кальция. Основной задачей, решённой автором исследования в этой части исследования, является отбор сигналов с наложением двух фоновых событий, с суммарной энергией в области энергии $0\nu 2\beta$ -распада. Кроме того проведён анализ данных, позволивший идентифицировать события распада конкретных источников фона в исследуемом энергетическом диапазоне. Проведённый анализ позволил установить значения индекса фона исследуемых сцинтилляционных элементов и рассчитать α/β отношение для молибдата кальция на основе измерения внутреннего фона.

К числу недостатков работы следует отнести не совсем ясную формулировку того, чем же использованная методика измерения сцинтилляционных сигналов с изотопически обогащенного кристалла молибдата кальция отличается от таковой, используемой в случае кристалла, содержащего естественную смесь изотопов. При этом диссертант называет эту методику как один из первых оригинальных результатов своей работы.

За рамками данного исследования осталась демонстрация возможности съема фонного сигнала с выращенных из изотопического обогащённого материала кристаллов молибдата кальция. Между тем, эксперимент AMoRE предполагает съём двух сигналов с детектора: сцинтилляционного и фонного. Высокие сцинтилляционные качества выращенных кристаллов и низкий уровень собственного радиоактивного фона являются необходимыми, но не достаточными качествами кристаллов для постановки эксперимента.

Перечисленные замечания не затрагивают сути работы в целом и не влияют на её оценку. Представленная работа выполнена на высоком уровне, а изложенные в ней

результаты являются несомненно важным шагом в развитии экспериментальных методов регистрации редких событий с помощью сцинтилляционных криогенных детекторов на основе монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$, выращенных с использованием высокообогащенных изотопов ^{40}Ca и ^{100}Mo .

Представленная диссертация является законченным научным исследованием, а автор проявил себя как сложившийся исследователь. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Они были опубликованы в ведущих реферируемых журналах и докладывались на международных совещаниях и рабочих совещаниях коллаборации AMoRE. Содержание работы было представлено на сессии-конференции секции ядерной физики отделения физических наук РАН в 2011 году и на семинаре ИТЭФ в 2013 г.

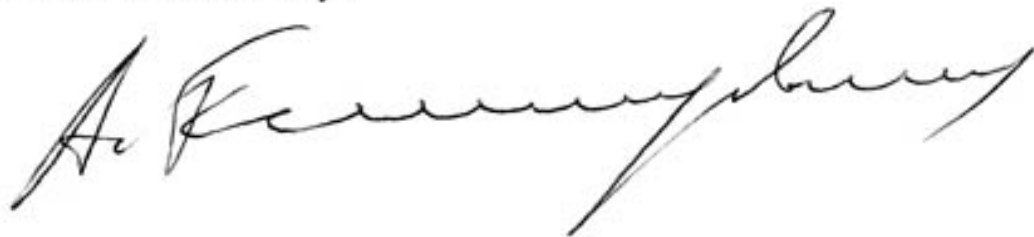
Можно с уверенностью сказать, что работа «Изучение свойств монокристаллов $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$ и изготовление на их основе сцинтилляционных элементов криогенного детектора для поиска безнейтринного двойного бета-распада изотопа ^{100}Mo » удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Н.Д. Ханбеков, безусловно, заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент

г.н.с. лаборатории экспериментальной ядерной физики НИЯУ МИФИ,

доктор физико-математических наук

А.И. Болоздыня



Подпись А.И. Болоздыни удостоверяю



Проректор А.Н. Петровский