

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата физико-математических наук Кашука Юрия Анатольевича

на диссертацию **ГРИШНЯЕВА Евгения Сергеевича**

«Генератор быстрых нейтронов для калибровки детекторов

слабовзаимодействующих частиц»,

представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

и 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

в диссертационный совет Д 003.016.03 на базе

ФБГУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Актуальность избранной темы

Малогобаритные генераторы быстрых нейтронов на отпаянных газонаполненных трубках применяются для геофизических исследований, для промышленных технологий нейтронно-активационного анализа (например, для анализа состава угля на конвейерной ленте), а также в фундаментальных научных исследованиях. Стандартная конфигурация отпаянной газонаполненной нейтронной трубки включает в себя источник ионов Пеннинга. Такие нейтронные трубки хорошо зарекомендовали себя в применениях, где к временным характеристикам нейтронных импульсов предъявляются не слишком жёсткие требования. В то же время один из способов улучшения временных характеристик нейтронных импульсов – применение накаливаемого катода в источнике ионов – является очень слабо исследованным на сегодняшний день. Диссертационная работа Е.С. Гришняка частично посвящена изучению возможности применения диспенсерных катодов для достижения длительностей фронтов нейтронных импульсов порядка 100 нс и разработке нейтронной трубки с диспенсерным катодом. Работа Е.С. Гришняка является исследованием на тему отпаянных газонаполненных нейтронных трубок с накаливаемым катодом, технологии изготовления которых в нашей стране были частично утеряны. Поэтому создание отпаянных газонаполненных нейтронных трубок с накаливаемым катодом на современном научном и технологическом уровне, безусловно, является актуальной задачей.

Вторая часть диссертационной работы Е.С. Гришняка посвящена исследованию вопросов калибровки криогенных детекторов тёмной материи. Поиск тёмной материи является актуальнейшей задачей современной фундаментальной физики. Для корректной интерпретации данных, получаемых с детектора слабовзаимодействующих частиц, необходимо проводить калибровку отклика детектора на события возникновения ядер отдачи энергией от 1 кэВ. Противоречащие друг другу результаты, публикуемые разными коллективами, занимающимися разработкой детекторов и поиском тёмной материи, возможно, могут быть объяснены неправильной калибровкой энергетической шкалы детекторов. В силу вышеизложенного нет сомнений в актуальности исследований проблем калибровки криогенных детекторов слабовзаимодействующих частиц, разработки методик калибровки и создания специального нейтронного генератора для этой цели.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации научно обоснованы. Внутренняя логика и алгоритмическая структура кода Scattronix и стационарного итерационного метода моделирования электростатических систем детально изложена и построена на хорошо обоснованных предпосылках. Корректность результатов моделирования нейтронной трубки подтверждена стандартным для этого класса методов способом – моделированием системы, для которой заранее известно самосогласованное распределение потенциала. Корректность результатов моделирования в коде Scattronix подтверждается аналитической оценкой ширины спектральных линий.

Обоснованность выводов, сделанных из экспериментальных результатов, не вызывает сомнений.

Достоверность и новизна полученных результатов

Согласие результатов моделирования и предварительных расчётов с экспериментальными данными подтверждает достоверность результатов, полученных Е.С. Гришняевым. Также достоверность подтверждается публикациями в высокорейтинговых периодических научных изданиях, включая издания на английском языке.

В диссертационной работе Е.С. Гришняева получен ряд новых результатов, вносящих существенный вклад в технологию проектирования нейтронных трубок и методику калибровки криогенных детекторов слабозаимодействующих частиц.

Метод итерационного моделирования самосогласованного потенциала и пространственного заряда в нейтронной трубке является новым. Следует отметить, что в самых последних версиях коммерческих пакетов мультифизического моделирования (Comsol Multiphysics 5.2 и CST Studio Suite 2016) стандартные модули решения задач электростатики и моделирования движения заряженных частиц теоретически позволяют легко реализовать метод Е.С. Гришняева даже без написания специальных функций, однако в примерах применения максимальная сложность моделируемых систем ограничивается электронной пушкой Пирса. Это лишнее свидетельство новизны подхода к моделированию нейтронных трубок, предложенного Е.С. Гришняевым.

Предложенная и реализованная концепция отпаянной газонаполненной нейтронной трубки с накаливаемым катодом является, безусловно, новой. Публикации Е.С. Гришняева являются первыми в этой области.

Настоящая диссертационная работа Е.С. Гришняева – это первое открытое и обобщающее исследование, решающее задачу достижения длительности фронтов нейтронных всплесков малогабаритного генератора нейтронов порядка 100 нс. Создание такого устройства особенно актуально для современных методов геофизических и каротажных исследований.

Метод калибровки криогенных детекторов на жидком аргоне на энергию ядер отдачи 8.2 кэВ по неупругому рассеянию DD-нейтронов на малый угол представляет собой новое оригинальное техническое решение, использующее особенности структуры энергетических уровней ядра аргона и кинематики рассеяния DD-нейтронов.

Немаловажным является и сам факт применения генератора нейтронов на трубке с накаливаемым катодом и кода Scattronix для первого в мире измерения ионизационного выхода ядер отдачи жидкого аргона.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы Е.С. Гришняева заключается в установлении набора номинальных внутренних параметров нейтронной трубки с накаливаемым катодом (давление 0.5 Па, ток эмиссии 12 мкА, объём полости анода 0.5 см^3 , напряжение анода 200 В) для обеспечения тока ионов D^+ и D_2^+ 50 мкА, в раскрытии физического механизма, обеспечивающего короткие фронты нейтронных всплесков (сильное извлекающее поле в источнике ионов, отсутствие плазмы), а также в усовершенствовании методики планирования калибровки криогенных детекторов на жидком аргоне.

Практическая значимость работы Е.С. Гришняева состоит в отработке и реализации конструкторских решений для нейтронной трубки с накаливаемым катодом, в достижении рекордно коротких фронтов нейтронных всплесков, в совершенствовании методики калибровки криогенных детекторов при использовании кода Scattronix, в повышении надёжности результатов калибровки криогенных детекторов на аргоне при использовании неупругого рассеяния DD-нейтронов на малый угол.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертационная работа Е.С. Гришняева представлена на 128 страницах, содержит 67 иллюстраций, 7 таблиц и 108 наименований библиографии. Диссертация включает введение, шесть глав, заключение и список цитируемых публикаций.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертации, определяет цель, формулирует задачи, отмечает научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы, формулирует положения, выносимые на защиту.

Первая глава начинается с обзора физических принципов работы малогабаритных генераторов нейтронов различных видов. Во второй части главы приводится описание технологии производства нейтронных трубок, развитой в ИЯФ СО РАН, методика оценки выхода нейтронов и результаты испытаний первых прототипов.

Вторая глава посвящена стационарному итерационному методу моделирования нейтронных трубок с накаливаемым катодом.

Третья глава посвящена результатам испытаний нейтронной трубки оптимизированной конфигурации.

Четвёртая глава описывает методику калибровки криогенных детекторов слабозаимодействующих частиц и Монте-Карло-код Scattronix, позволяющий моделировать спектры ядер отдачи, регистрируемые при калибровке.

Пятая глава посвящена исследованию метода калибровки криогенных аргонных детекторов слабозаимодействующих частиц на энергию ядер отдачи 8.2 кэВ по неупругому рассеянию DD-нейтронов на малые углы.

В шестой главе описан эксперимент по измерению ионизационного выхода ядер отдачи жидкого аргона, в котором применялся генератор нейтронов на трубке с накаливаемым катодом. Для постобработки результатов эксперимента применялось моделирование в Scattronix.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Личный вклад Е.С. Гришняева в получении научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Диссертация Е.С. Гришняева производит хорошее впечатление своим высоким научным уровнем и объёмом проделанной работы. Основные достоинства работы отмечены в предыдущих разделах. Тем не менее, следует отметить несколько недостатков диссертации.

1. В первой главе в обзоре физических принципов работы малогабаритных генераторов нейтронов не рассмотрены известные нейтронные трубки с термокатадами типа УНГ, выпускавшиеся в 70-е годы в Запрудне. Также интерес для анализа и эффективности последующей разработки могла представить трубка ГНТ1-МД, созданная в ВНИИА в 2008 году.

2. В третьей главе, посвященной результатам испытаний, не представлены данные о таких характеристиках нейтронной трубки как кратковременная (от импульса к импульсу) и долговременная (ресурс) стабильность выхода нейтронов, температурная стабильность выхода нейтронов, что является важными характеристиками устройства, используемого для калибровки.

3. Несмотря на то, измерение выхода нейтронов 10^5 - 10^6 нейтр./с является сложной задачей, тем не менее, вопрос метрологического обеспечения измерения нейтронного выхода в диссертации не раскрыт. Полученная оценка выхода с помощью сцинтилляционного спектрометра нейтронов, существенно отличающаяся от теоретической модели и оставляет открытым вопрос об этом параметре нейтронного генератора, используемого в качестве калибровочного устройства. В этом случае представляется необходимым использовать другие методы измерения плотности потока нейтронов, например, трековые или трековые делительные детекторы. Также в работе нет информации об учете анизотропии нейтронного излучения генератора нейтронов при определении нейтронного выхода

4. В экспериментах по измерению ионизационного выхода ядер отдачи жидкого аргона не проведен анализа влияния уширения нейтронного спектра (анализ выполнен в

предположении моноэнергетичности нейтронного излучения) на погрешность определения энергии ядер отдачи.

5. В описании измерений ионизационного выхода ядер отдачи жидкого не показана схема эксперимента: нет информации под каким углом к направлению движения дейтронов расположен детектор слабозаимодействующих частиц. Поскольку энергия нейтронов зависит от угла вылета, обоснованность использования в коде Scattronix значения энергии нейтронов $E_n=2,45$ МэВ, неочевидна.

Сделанные замечания отнюдь не снижают высокой оценки диссертационной работы в целом, которую, безусловно, следует отнести к высокоинформативным научному труду, в котором представлены результаты целенаправленных исследований, выполненным на высоком научном уровне.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат Е.С. Гришняева соответствует содержанию диссертационной работы и требованиям, предъявляемым к авторефератам как по части содержания, так и по части оформления.

Закключение

Представляемая работа прошла серьёзную апробацию, её результаты докладывались на международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ (из них 10 статей в рекомендованных ВАК журналах, 2 патента на изобретение и 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ).

Диссертация Е.С. Гришняева представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится решение задачи создания отпаянной газонаполненной нейтронной трубки с накаливаемым катодом и калибровки криогенного лавинного детектора слабозаимодействующих частиц на сжиженном аргоне.

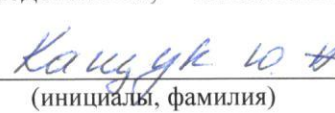
Работа полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по специальностям 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики, установленным в п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Автор диссертации, Гришняев Евгений Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент: Кашук Юрий Анатольевич, кандидат физико-математических наук, 01.04.08 – Физика плазмы, 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

142190, Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, владение 12

Электронный адрес: kasch@triniti.ru, Тел. 8 495 841 50 58

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», начальник лаборатории

 (подпись)  (инициалы, фамилия)

Подпись Ю.А. Кашука заверяю

Учёный секретарь

АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

кандидат физ.-мат. наук

Электронный адрес: ezhov@triniti.ru

15 ноября 2016 г.



 А.А. Ежов