

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Митропольского Ивана Андреевича на диссертацию Симоновски Димитара на тему: «Метод экспрессной газовой транспортировки продуктов ядерных реакций и распадов в различных газовых ячейках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Актуальность темы диссертации

Исследования ядер, удаленных от полосы стабильности, является одним из основных направлений современной ядерной физики. Эти исследования относятся к фундаментальным и направлены на экспериментальное определение основных физических характеристик таких нуклидов: массы, вида распада, времени жизни и других физических свойств. Экспериментальные данные о свойствах экзотических ядер находят свое применение в астрофизических исследованиях, моделировании процессов нуклеосинтеза, изучении свойств сверхтяжелых элементов, определении границ протонной и нейтронной устойчивости ядер. В последние десятилетия для исследования редких экзотических нуклидов создаются экспериментальные установки в ведущих мировых ядерных центрах, реактор ПИК (Россия), FAIR (Германия), FRIB (США), GANIL (Франция). Поэтому тема диссертации представляется безусловно актуальной.

Нестабильные нейтроноизбыточные или протоноизбыточные ядра, а также сверхтяжелые элементы практически не встречаются в природе, что требует разработки эффективных методов их получения, доставки до детектирующего устройства, регистрации и последующего изучения. Одним из ключевых методов доставки короткоживущих нуклидов от места их генерации к детекторным системам является метод газовой транспортировки, обеспечивающий быстрое и высокоэффективное перемещение частиц.

Диссертация Д.Симоновски посвящена анализу и оптимизации данного метода с учетом различных типов газовых ячеек и камер, реализуемых в известных экспериментальных установках. Кроме того, развитие и совершенствование методов газовой транспортировки играет ключевую роль в повышении эффективности захвата и детектирования редких изотопов, что особенно важно для исследования фундаментальных свойств экзотических нуклидов и расширения границ современной ядерной физики. В этой связи работа Д.Симоновски приобретает дополнительную значимость, поскольку предложенные им результаты моделирования могут быть адаптированы для использования в будущих более масштабных установках, оптимизированных для генерации и экспериментального изучения экзотических нуклидов.

Научная новизна результатов исследования

Основной целью диссертационного исследования Д.Симоновски является разработка аналитических методов оценки эффективности различных систем газовой транспортировки, применяемых в ядерно-физических экспериментах. Автор провел комплексное исследование теоретических и экспериментальных аспектов метода газового носителя, что позволило как определить, так и оптимизировать параметры существующих установок и предложить улучшенные метода газовой транспортировки.

В диссертации описаны первые онлайн-измерения на экспериментальной установке TRIGA-SPEC с капиллярной системой TRIGA-TRAP. Получены характерные времена транспортировки осколков деления мишени ^{235}U из мишенной камеры и определены самые тяжелые изотопы осколков деления. Впервые получены экспериментальные данные по определению эффективности и характерных времён транспортировки для газовой ячейки MARA-LEB на установке IGISOL-4 с целью измерения масс протоноизбыточных ядер. Эти результаты положены в основу метода газового носителя на экспериментальной установке PITRAP на высокопоточном реакторе ПИК и оптимизации геометрии установки с учётом делящейся мишени.

К числу значимых научных достижений, полученных в ходе выполнения данной работы, следует отнести создание универсального набора математических моделей, которые с высокой степенью адекватности описывают фундаментальные процессы термализации и последующего перемещения нуклидов в газовой среде. Полученные в результате аналитические соотношения предоставляют возможность количественно определять влияние различных физических параметров на результативность использования метода газового носителя. Особо следует отметить, что разработанные алгоритмы оптимизации могут быть непосредственно имплементированы при проектировании и создании новых экспериментальных комплексов.

Практическая ценность результатов исследования

Практическая ценность результатов диссертации Д.Симоновски определяется возможностью непосредственного использования при реализации метода газовой транспортировки при создании специализированных экспериментальных установок, предназначенных для исследования короткоживущих нуклидов в ведущих мировых научно-исследовательских центрах, включая такие известные комплексы, как TRIGA-SPEC, IGISOL-4 и PITRAP. Результаты работы могут найти применение в медицинской физике, технологиях получения радиофармпрепаратов и изотопов. Представленные в диссертации математические модели и экспериментальные данные могут быть использованы при проектировании новых типов газовых ячеек и мишенных камер для будущих ускорительных и реакторных экспериментов.

Публикации и апробация результатов

Основные результаты, полученные в рамках диссертационного исследования Д.Симоновски, были представлены на 10 международных и всероссийских научных конференциях и форумах с международным участием, а также нашли свое отражение в 4 публикациях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

Достоверность полученных результатов

Представленные в диссертационном исследовании Д. Симоновски результаты базируются на обширном массиве экспериментальных данных, полученных в ходе исследований, проведенных в передовых европейских ядерно-физических центрах. Автор принимал непосредственное участие в экспериментальной работе, включая исследования по определению временных характеристик газовой транспортировки на установке TRIGA-SPEC и тестирование разработанной газовой ячейки MARA-LEB на комплексе IGISOL-4 с целью определения ключевых параметров газовой транспортировки. Данный факт находит свое подтверждение в соавторстве диссертанта в ряде рецензируемых научных публикаций и докладах, представленных на международных конференциях. Использование современных методов численного моделирования (COMSOL Multiphysics, TRIM/SRIM) позволяет с высокой степенью точности оценить параметры газовой транспортировки, что дополнительно подтверждает корректность полученных результатов.

Содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и приложения.

Во введении представлен обзор современного состояния исследований экзотических нуклидов, обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена теоретическим основам метода газовой транспортировки. В ней приводятся основные уравнения и формулы, описывающие процессы генерации, термализации, диффузии и конвекции частиц в газовой среде, включая основные уравнения, описывающие генерацию, термализацию и динамику частиц в газовой среде.

Во второй главе изложены результаты экспериментальных и теоретических исследований газовой транспортировки на реакторе TRIGA-Mainz, включая измерения времени транспортировки осколков деления и моделирование процесса.

Третья глава содержит результаты экспериментального изучения газовой ячейки MARA-LEB на установке IGISOL-4, анализ эффективности, времени эвакуации и моделирование транспортировки ионов.

Четвертая глава описывает исследование газовой ячейки UniCell и камеры отдачи RTC для изучения сверхтяжелых элементов в ГСИ (Дармштадт). В этой

главе получены аналитические формулы и представлены результаты численных расчетов, выполненных с помощью программы COMSOL Multiphysics, для оптимизации параметров работы газовой ячейки UniCell и характерных параметров транспортировки для камеры отдачи RTC.

В пятой главе рассмотрен перенос результатов исследования газовой мишенной камеры на установку ПИТРАП (ПИЯФ, Гатчина). В ней рассматривается оптимизация метода газовой транспортировки, анализ геометрии газовой мишенной камеры и проводится оценка доступных для исследования экзотических ядер, с учетом более масштабных экспериментальных условиях на реакторе ПИК.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационного исследования.

Приложение содержит вывод ключевых математических формул, использованных в диссертационной работе.

В целом диссертация Д.Симоновски написана ясно, четко структурирована и отвечает всем требованиям к научной работе. Немногочисленные грамматические и лексические ошибки, вызванные объективными причинами, не мешают однозначному восприятию текста. Кажущаяся перегруженность текста деталями эксперимента не мешает, но повышает доверие к автору, непосредственно выполнявшему эту работу.

Замечания к диссертационной работе

По существу выносимых на защиту положений диссертации Д.Симоновски замечаний нет. Скорее возникают вопросы, требующие разъяснения и, может быть, дальнейшего рассмотрения.

1. В разделе 2.2.2 диссертации при выводе критерия выживания нуклидов используется одномерная математическая модель, которая не учитывает трехмерную геометрию мишенной камеры. Следовало бы уделить больше внимания обоснованию этого приближения. Насколько эта модель адекватна для описания реальных процессов транспортировки в мишенной камере?
2. В разделе 5.3, при оптимизации метода газовой транспортировки, определяется максимальное значение объемного расхода газа, ограниченное числом Рейнольдса в капиллярной системе и максимальным перепадом давления в мишенной камере. Какие другие факторы помимо вязкости могут ограничивать максимальный объемный расход газа? Насколько обоснованным является выбор именно такого метода оптимизации, учитывая, что изменение объемного расхода газа влияет не только на время транспортировки, но и на эффективность термализации продуктов деления?

Заключение

Диссертация Д.Симоновски является актуальным, завершенным научным исследованием, представляющим научный и практический интерес для решения задач газовой транспортировки экзотических нуклидов. В ней получены результаты, позволяющие оценить основные параметры систем экспрессного газового транспорта продуктов ядерных реакций и деления, построен базис аналитических и численных оценок основных свойств таких систем. Замечания по тексту диссертации не снижают значимости основных выводов диссертации. Автор выполнил значительный объем работы на высоком научном уровне, соответствующем международным стандартам.

Диссертация Симоновски Димитара на тему: «Метод экспрессной газовой транспортировки продуктов ядерных реакций и распадов в различных газовых ячейках», соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Соискатель Симоновски Димитар заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории ядерной спектроскопии
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

И.А.Митропольский

17 марта 2025 г.

