

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Антонова Николая Николаевича

«Формирование ионизированных потоков веществ для плазменного
разделения компонентов, моделирующих отработавшее ядерное топливо, и
исследование их распространения в буферной плазме со стационарным
электрическим полем»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.08 – «физика плазмы»

Актуальность темы исследования

Диссертация Антонова Н.Н. посвящена изучению характеристик направленных плазменных потоков веществ, моделирующих компоненты отработавшего ядерного топлива, в плазме с пространственным распределением электростатического потенциала.

Актуальность исследования не вызывает сомнений в связи с критически важной проблемой переработки отработавшего ядерного топлива. Плазменная сепарация ОЯТ является перспективным направлением развития методов переработки в связи с тем, что не требует дополнительных химических реагентов, обеспечивает повторное использование отдельных фракций ОЯТ, не позволяет выделять оружейные материалы и в силу компактности установки может быть использована непосредственно на атомной станции без дополнительной транспортировки ОЯТ.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа Н.Н. Антонова изложена на 101 странице, содержит 43 рисунка. Библиография включает 123 наименования. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении автор обосновывает актуальность проведенного исследования, его научную новизну и практическую значимость, формулирует научные положения, выносимые на защиту.

В Главе 1 приведен подробный обзор работ, выполненных различными научными коллективами по направлению плазменной сепарации веществ. На основании этого обзора сделан вывод об оптимальности выбора конфигурации со скрещенными электрическим и магнитным полями. Также обоснован выбор модельных веществ.

Глава 2 посвящена рассмотрению задачи перевода модельного вещества из конденсированного состояния в плазменное. Описана численная модель разряда с накалимым катодом и приведены результаты эксперимента по изучению испарения и ионизации свинца на специально созданном стенде.

Глава 3 содержит основные экспериментальные результаты по исследованию источника плазмы на основе несамостоятельного дугового

разряда в магнитном поле. Описана конструкция источника, а также средства диагностики исследуемой плазмы. Изучены различные режимы горения разряда, рассмотрены возможные механизмы управления параметрами разряда. Показано, что несамостоятельный дуговой разряд в магнитном поле может быть использован для генерации плазмы в будущих системах плазменной сепарации ОЯТ.

Глава 4 посвящена изучению взаимного влияния радиального электрического поля в отражательном разряде и потока модельных веществ в буферной плазме.

В главе 5 приводится исследование адгезионных свойств получаемых на коллекторах покрытий. Описан экспериментальный стенд для изучения осаждения материалов на поверхности подложки, а также численная модель на основе метода Монте-Карло. Также изучены адгезионные свойства коллекторов, изготовленных из различных материалов.

В заключении автором сформулированы основные выводы работы.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечена хорошим соответствием экспериментальных данных, полученных в результате многократного повторения измерений, с результатами моделирования с помощью нескольких компьютерных кодов. Полученные данные не противоречат результатам экспериментов других научных групп. Описываемые в работе результаты были опубликованы в 23 печатных работах, из них 6 – в реферируемых журналах, а также доложены на российских и международных конференциях и на семинарах ОИВТ РАН.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Научная значимость работы заключается в расширении знаний о поведении потоков ионизированного вещества в буферной плазме со скрещенными электрическим и магнитным полями. Нетривиальность механизмов радиального распределения электрического поля в таких системах делает диссертационную работу ценным источником экспериментальных данных, на основе которых должны быть улучшены существующие теоретические и численные модели.

Практическая значимость работы заключается в разработке методов создания потоков ионизированных веществ, моделирующих ОЯТ, а также определении оптимальных режимов работы будущего плазменного сепаратора. Данная работа является очередным шагом на пути к созданию промышленного сепаратора ОЯТ на основе источника плазмы с несамостоятельным дуговым разрядом в магнитном поле, и результаты этого исследования должны стать основой для дальнейших исследований поведения потоков плазмы в установках такого типа.

Представленные в диссертации результаты могут быть использованы в ряде ведущих отечественных научных центров, таких как НИЦ «Курчатовский институт», ОИВТ РАН, ИОФ РАН, ТРИНИТИ, НИЯУ МИФИ, ИЯФ СО РАН.

Новизна полученных результатов

В диссертационной работе *впервые* получены важнейшие для метода плазменной сепарации ОЯТ экспериментальные данные о взаимном влиянии электрического поля, созданного торцевыми электродами в буферной плазме отражательного разряда, и поля плазменной струи свинца, инжестируемой вдоль силовых линий магнитного поля.

Также *впервые* найдены оптимальные режимы горения отражательного разряда, в которых возможно поддерживать постоянную энергию частиц формируемого потока плазмы и отсутствуют многократно ионизированные атомы модельных веществ.

Автором получены *новые* экспериментальные данные об эффективности осаждения направленных потоков нейтралов свинца с тепловыми энергиями, а также изучены адгезионные свойства нескольких материалов подложки.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Текст автореферата соответствует содержанию диссертации и полностью отражает результаты работы и выводы, выносимые на защиту.

Личный вклад соискателя в получение результатов исследования

Личное участие автора в получении научных результатов, лежащих в основе диссертации, является определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии.

При непосредственном участии автора была разработана численная модель разряда в парах свинца с накалимым катодом и получены основные расчетные характеристики разряда. Автор принимал активное участие в создании и формулировке граничных и начальных условий модели, а также в обсуждении результатов расчета и экспериментальной проверке модели.

Автору принадлежит определяющая роль в исследованиях взаимного влияния электрического поля, создаваемого торцевыми электродами в буферной плазме отражательного разряда, и поля плазменной струи свинца, инжестируемой вдоль магнитных силовых линий.

Также лично автором разработана численная модель, описывающая осаждение направленных потоков свинца, и проведены измерения на экспериментальном стенде, подтверждающие основные выводы модели.

Замечания по диссертационной работе

1. Стр. 32: в формуле (2.1) не указано, какую смысловую нагрузку несет функция V_i .
2. Стр. 47: в экспериментах по изучению эффективности ионизации паров свинца было показано, что эффективность ионизации при плотности тока разряда 300 мА/см^2 и разности потенциалов 40 В находится на уровне 1% . Это согласуется с численной моделью, которая предсказывает возможную эффективность ионизации на уровне нескольких десятков процентов. Хотелось бы понять, почему невозможно показать в модельном эксперименте такую эффективность, каковы ограничения методики.
3. Стр. 60-62: в рассуждениях об управляемости разрядом главным показателем эффективности является возможность поддержания постоянного напряжения в разрядном промежутке, в то время как плотность ионного тока, которая все же кажется определяющим фактором эффективности, меняется в широких пределах.
4. Из рисунка 4.2 следует, что инжекция струи плазмы свинца существенным образом влияет на исходное распределение потенциала в буферной плазме. Это приведет к изменению траекторий движения разделяемых элементов в процессе сепарации. Какие методы и подходы планируется использовать для подавления данного эффекта? Глава 4 кажется незаконченной в силу отсутствия выводов о движении ионов струи в буферной плазме. По всей видимости, эта работа должна быть продолжена в дальнейшем.
5. В главе 5 в качестве материалов подложки, на которую происходит осаждение модельных веществ, рассмотрены нержавеющая сталь и углерод, сделаны оценки эффективности осаждения, а затем приведено исследование адгезионных свойств материала подложки, но в качестве материалов взяты уже нержавеющая сталь и дюралюминий, хотя кажется логичным изучение всех трех материалов по двум описанным критериям.
6. В тексте работы присутствует некоторое количество мелких грамматических и пунктуационных ошибок.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки проделанной диссертантом работы.

Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» по пунктам 9 и 10.

Диссертация Антонова Николая Николаевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и

содержащей научные положения, имеющие существенное значение для понимания физических основ плазменной сепарации ОЯТ.

Работа соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Антонов Николай Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы».

Отзыв составила Солдаткина Елена Ивановна, к.ф.-м.н., с. н. с. лаб. 9-1 ИЯФ СО РАН, научная специальность 01.04.08 – «физика плазмы»
630090 г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11, тел. +7 (383) 329-42-24, e-mail: E.I.Soldatkina@inp.nsk.su

Дата 12.11.2018

Солд

Солдаткина Е.И.

Подпись Солдаткиной Е.И. заверил
Учёный секретарь ИЯФ СО РАН
к. ф.- м. н. Аракчеев Алексей Сергеевич

630090 г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11, тел.: +7 (383) 329-47-99 e-mail: A.S.Arakcheev@inp.nsk.su



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11. Тел. +7 (383) 329-47-60, факс +7 (383) 330-71-63, адрес электронной почты inp@inp.nsk.su