

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*”

Диссертационная работа направлена на решение задач, связанных с переработкой отработавшего или облученного ядерного топлива (ОЯТ). Сегодня у нас в стране и в мире накоплен большой объем ОЯТ, поэтому тема диссертационной работы является актуальной. Конечно, сегодня гидрометаллургические методы переработки ОЯТ находятся вне конкуренции, но эти методы также требуют своего развития в соответствии с растущими экологическими требованиями, согласно которым технология должна быть экологически безопасной, исключая попадание в окружающую среду радиоактивных отходов, включая жидкие и газообразные. Поэтому развитие инновационных методов переработки ОЯТ, к которым можно отнести и развиваемый в диссертационной работе плазменный метод, является актуальной задачей.

Диссертация Н.Н. Антонова направлена на экспериментальное исследование направленных плазменных потоков веществ, моделирующих компоненты ОЯТ, и методов формирования таких потоков. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 123 источников. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость решаемых в работе задач, сформулированы цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор работ в области плазменного разделения изотопов и в области перевода веществ из конденсированного состояния в плазменное. Представлена концепция плазмооптической сепарации с потенциальной ямой, предложенная академиком В.П. Смирновым. Приведены требования к источнику плазмы, который необходим для обра-

ботки инженерно-физических основ метода плазменной сепарации на модельных веществах, рассмотрена возможность применения различных методов генерации плазмы в применении к данной задаче, приведено обоснование выбора серебра и свинца в качестве веществ, моделирующих легкую (менее 160 а.е.м.) и тяжелую (более 235 а.е.м.) компоненты ОЯТ.

Во второй главе теоретически проанализирован разряд с накалимым катодом в парах свинца, инжектируемых в межэлектродный промежуток. Были получены вольт-амперные характеристики, определена эффективность ионизации, получены распределения электрического потенциала и концентраций ионов и электронов в разрядном промежутке при разных плотностях тока разряда и концентрациях пара модельного вещества.

В третьей главе описан разработанный для апробации метода плазменной сепарации источник плазмы смеси модельных веществ (серебра и свинца) и приведены результаты исследований формируемого ионизированного потока. Было показано, что поддержание постоянной разности потенциалов в разрядном промежутке, несмотря на существенное различие в давлениях насыщенных паров модельных веществ (серебра и свинца), является возможным за счет подбора алгоритма нагрева тигля, управления количеством инжектируемых электронов и выбора напряжения источника постоянного напряжения.

В четвертой главе исследовано взаимное влияние потока плазмы свинца, инжектируемого вдоль силовых линий магнитного поля, и аргоновой плазмы отражательного разряда. Инжекция вдоль силовых линий магнитного поля является одним из возможных путей ввода смеси разделяемых элементов. Отмечено, что формирование необходимого распределения электрического потенциала в буферной плазме при наличии магнитного поля является одной из важных задач для разрабатываемого метода плазменной сепарации. Продемонстрирована возможность отклонения потока плазмы свинца, инжектируемого вдоль силовых линий магнитного поля в объем, занимаемый буферной аргоновой плазмой отражательного разряда. Показано, что при генерации струи свинцовой плазмы электрический потенциал искажается во всем объеме плазмы с замагниченными электронами, причем сам объем заметно превосходит по размерам габариты источника и

диаметр плазменной струи.

В пятой главе представлены результаты исследования эффективности осаждения направленных потоков нейтралов свинца с тепловыми энергиями на различные подложки. Отмечено, что исследование этого параметра является важным для развиваемой концепции плазменной сепарации, так как эффективность сбора вещества влияет на производительность метода в целом. Для исследования эффективности осаждения свинца на различные подложки разработана схема эксперимента, в которой коллимированный поток атомов свинца, попадая в пространство между двумя плоскими дисками, после нескольких соударений конденсируется на поверхности одного из них. Рассмотрена важная для процесса плазменной сепарации задача удаления осажденного вещества с поверхности коллекторов. Исследования адгезионных свойств пленок свинца, нанесённых на дюралюминий и нержавеющую сталь, показали, что в обоих случаях пленки достаточно легко отслаиваются от поверхности коллектора.

В заключении автор приводит наиболее важные результаты и выводы диссертационной работы.

По содержанию диссертационной работы Антонова Н. Н. имеются следующие замечания.

1. Что означает 3D модель экспериментальной установки? В чем трехмерность представленной на рис. 1.5 и 3.1 картин (фотографий)?
2. В проблеме подавления двухкратной ионизации разделяемых химических элементов выбор серебра как аналога продуктов деления урана не является удачным, так как серебро имеет достаточно высокий потенциал ионизации иона, почти в три раза превышающий потенциал ионизации атома: 21.49 против 7.5763 эВ. А многие полезные изотопы в радиоактивных отходах и ОЯТ имеют менее чем в два раза отличающиеся потенциалы первой и второй ионизации: например, стронций имеет 2-ой потенциал ионизации, равный 11.03 эВ, а 1-ый – 5.69490 эВ, прометий – 10.9 эВ и 5.58 эВ, соответственно. Такое небольшое отличие потенциалов ионизации облегчает появление двукратно ионизованных ионов этих атомов.
3. Учет процесса перезарядки ионов свинца является неоправданным

превышением точности, так как длина свободного пробега иона свинца $l_{\text{exch}} = (n_a \sigma_{\text{exch}})^{-1}$ при максимальной концентрации атомов свинца $6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ составляет 20 см, что много больше размера межэлектродного промежутка в 1 см в расчетах. Следовательно процессом перезарядки ионов свинца в условиях экспериментов в диссертационной работе можно пренебречь.

4. Есть недочеты в оформлении диссертации и автореферата, в целом выполненные достаточно хорошо. Особенно досадной является ошибка в выходных данных статьи под вторым номером в списке основных публикаций по теме диссертации. Здесь уместнее было бы привести ссылку на исходную статью в журнале “Ядерная физика и инжиниринг”, который входит в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а не на перевод в журнале “Physics of Atomic Nuclei”.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой диссертации. Полученные в ней результаты и выводы обоснованы и достоверны, что подтверждается тщательностью проведения экспериментов, использованием проверенных средств диагностики, сравнением экспериментальных результатов с данными теоретических моделей и численного моделирования. Личный вклад Антонова Н. Н. представляется определяющим, все экспериментальные результаты диссертации получены лично им или при его непосредственном участии. Диссертация Н. Н. Антонова представляет собой завершённое научное исследование, которое вносит заметный вклад в развитие физики плазмы.

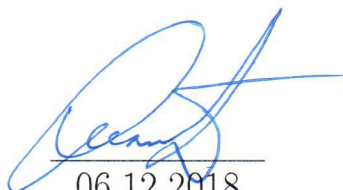
Практическая значимость работы определяется тем, что полученные автором результаты могут быть использованы в Национальном исследовательском центре “Курчатовский институт”, Радиевом институте им. В.Г. Хлопина, АО “Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов”, АО “ГНЦ РФ–ФЭИ” им. А. И. Лейпунского, ПО “Маяк”, Национальном исследовательском ядерном университете “МИФИ” и в других научных организациях, проводящих исследования в

области переработки отработавшего ядерного топлива, производства радионуклидных источников и радиофармацевтических препаратов.

Результаты диссертационной работы хорошо известны специалистам, докладывались на многих российских и международных конференциях, научных семинарах. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 статьях в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах по тематике диссертационной работы. Автореферат и опубликованные работы полно отражают содержание диссертации.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.08 – “Физика плазмы”. Диссертация соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Антонов Николай Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – “Физика плазмы”.

Отзыв составил директор отделения Центр теоретической физики и вычислительной математики Акционерного общества “Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований”, д.ф.-м.н Филиппов Анатолий Васильевич



06.12.2018

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, владение 12, тел.: 8 (495) 841-52-62, e-mail: fav@triniti.ru

Ученый секретарь АО “ГНЦ РФ ТРИНИТИ”,
к.ф.-м.н

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиновых, владение 12, тел.: 8 (495) 841-53-09, e-mail: ezhov@triniti.ru



А. А. Ежов