

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации  
Ступина Алексея Николаевича

«Формирование потока ионов в плазмооптическом масс-сепараторе»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной  
физики

Диссертационная работа Ступина А.Н. посвящена разработке системы формирования компенсированного по заряду потока ионов в плазмооптическом масс-сепараторе ПОМС-Е-3. Промышленные масс-сепараторы предназначены для переработки отходов ядерных технологий, создания чистых и сверхчистых материалов для атомной промышленности, медицины, науки и т.д. Методы магнито-плазменной сепарации являются универсальными, высокопроизводительными, экологически чистыми. Устройство плазмооптического масс-сепаратора ПОМС-Е, предложенное А. И. Морозовым, имеет очевидное преимущество по сравнению с другими магнито-плазменными методами – малые энергозатраты. Это связано, в основном, с малыми мощностями, необходимыми для создания магнитных полей, которые локализованы в области гораздо меньших размеров, чем в других магнито-плазменных сепараторах.

В настоящее время в Иркутском национальном исследовательском техническом университете ведутся работы по созданию экспериментальной установки ПОМС-Е-3 для проведения исследований в области плазмооптической масс-сепарации. Результаты, изложенные в настоящей диссертационной работе, получены в процессе разработки данной установки и проведения на ее макете серии экспериментов.

В масс-сепараторе ПОМС-Е-3 предполагается осуществлять разделение потока ионов с тремя различными массами. Одной из основных задач при этом является собственно формирование компенсированного потока ионов. Система формирования включает в себя плазменный ускоритель с анодным слоем и азимутатор – область с поперечным по отношению к скорости потока магнитным полем. Диссертационная работа содержит результаты исследований системы формирования потока ионов, при этом особое внимание уделялось изучению функций распределения ионов и закономерностей прохождения потока плазмы через магнитный барьер азимутатора.

Изучение функций распределения ионов проводилось с помощью энергоанализатора с задерживающим потенциалом. По полученным данным с помощью программного обеспечения, разработанного Ступиным А.Н, строились энергетические спектры ионов, и рассчитывалась плотность ионов в плазменном потоке. При измерении плавающего потенциала плазмы и температуры электронов использовались ленгмюровские и эмиссионные зонды.

Важной частью диссертационной работы Ступина А.Н является численный расчет распределения магнитного поля в различных вариантах конструкции системы формирования потока ионов, расчет производился в среде FEMM. Прохождение потока плазмы через магнитный барьер азимутатора и параметры виртуального анода рассчитывались с помощью программ, написанных на языках Python и MatLab. Следует отметить, что для получения адекватных результатов при

использовании таких программ требуется правильная постановка задачи, навык работы и квалифицированный анализ полученных результатов. Решая поставленные задачи, Ступин А.Н. успешно провел большой объем вычислений, что, несомненно, следует отнести к достоинствам представленной работы.

В процессе работы диссертантом обнаружен ранее не наблюдавшийся эффект аномального ускорения ионов. Для его объяснения предложен новый механизм ускорения ионов на макроскопическом скачке потенциала. Найдена область параметров разряда, при которых этот эффект отсутствует, что важно с практической точки зрения, поскольку позволяет избежать ненужного увеличения длины системы фокусировки и сбора ионов масс-сепаратора. В диссертационной работе Ступина А.Н. также изучена проблема прохождения с минимальными потерями потока плазмы через область сильного магнитного поля – азимутатор.

Результаты, полученные в данной работе, явились основой для создания новой конструкции системы формирования потока ионов, обеспечивающей дополнительную компенсацию ионного потока в азимутаторе, что позволило увеличить производительность масс-сепаратора. Определены оптимальные режимы работы новой системы формирования потока ионов, в которых получена максимальная плотность ионов на выходе из системы. Разработанная Ступиным А.Н. программа компьютерных вычислений применяется при обработке экспериментальных данных на установке ПОМС-Е-3 для расчета плазменных параметров.

По теме диссертации опубликовано 13 работ. Материалы, представленные в диссертации, докладывались на Всероссийских и Международных научных и научно-технических конференциях, что свидетельствует об успешной апробации результатов исследований.

Автореферат адекватно отражает содержание результатов, опубликованных в статьях по теме диссертации. Представленная к защите диссертационная работа соответствует всем требованиям ВАК, а её автор, А.Н. Ступин, безусловно, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Старший научный сотрудник ИОФ РАН,  
кандидат физ.-мат.наук

Н.П. Кирий

18.04.2019 г.

Подпись Н.П. Кирий удостоверяю:

И.О.ученого секретаря ИОФ РАН  
доктор физ.-мат.наук



В.В. Глушков