



Unternehmung  
Wendelstein 7-X  
Stellarator Heizung und Optimierung

Teilinstitut Greifswald  
Wendelsteinstraße 1  
D-17491 Greifswald

Dr. Dmitry Moseev  
Research Scientist  
Telefon-Zentrale: 03834 88 -1000  
Tel. 03834 88 - 2451  
Fax 03834 88 - 2509  
E-Mail: dmitry.moseev@ipp.mpg.de

Nov 23, 2021

**Отзыв**  
**на автореферат диссертации Абрамова Ильи Сергеевича**  
**«Формирование неоднородных потоков неравновесной плазмы многозарядных**  
**ионов в условиях микроволнового разряда», представленной на соискание ученой**  
**степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика**  
**плазмы.**

Диссертация посвящена исследованию неравновесной плазмы с тяжелыми многозарядными ионами. Детальное изучение динамики такой среды необходимо и интересно как с академической точки зрения, так и для оптимизации параметров микроволнового разряда. Практическую значимость исследований, выполненных в рамках подготовки диссертации, трудно переоценить. Эти исследования демонстрируют возможность использования микроволнового разряда в качестве мощного источника жесткого УФ излучения для высокотехнологичного процесса проекционной литографии, используемого при производстве полупроводниковой электроники. Кроме того, диссертантом рассмотрен ряд проблем, релевантных для термоядерной энергетики.

Мне бы хотелось особо подчеркнуть некоторые результаты, которых добился автор. Прежде всего, это формулирование системы уравнений для описания стационарного квазиодномерного потока неравновесной плазмы. Сформулированная система уравнений удачно параметризована и позволяет решать множество на первый взгляд различных задач. В частности, особенно интересно применение этого формализма для сверхзвуковых потоков, т.к. переход потоком плазмы звукового барьера сопряжен с особенностью в гидродинамических уравнениях. Характерной чертой предложенного метода является возможность отделить задачу о балансе ионизации от баланса импульса. Метод позволяет работать с любыми константами ионизации, таким образом можно моделировать поведение реальных ионов, например, олова или ксенона. Также большой интерес представляет предложенное Абрамовым И.С. выражение для потерь энергии на линейчатое излучение ионов, учитывающее эффекты поглощения и переизлучения. Автор показал, что для плазмы с масштабами, характерными для экспериментов по созданию точечного источника УФ излучения, плазма остается оптически тонкой для интересующей нас

Direktorium:  
Prof. Dr. Sibylle Günter (Vorsitzende)  
Prof. Dr. Thomas Klinger  
Dr. Josef Schweinzer (Geschäftsführer)  
Prof. Dr. Hartmut Zohm

Standorte des Max-Planck-  
Instituts für Plasmaphysik sind  
Garching und Greifswald.

Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik ist dem  
Europäischen Fusionsprogramm und der Helmholtz-  
Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren assoziiert.

длины волны около 10 нм, в то время как для более низкочастотного излучения оптическая толщина становится существенной.

В ходе экспериментов с точечным микроволновым разрядом в потоке ксенона на основе моделирования удалось восстановить параметры разряда, недоступные для прямых измерений, предложить методы оптимизации эксперимента, позволяющие достичь эффективности генерации ЭУФ излучения до 5%. Это демонстрирует не только отличную теоретическую, но и экспериментальную подготовку автора, его способность не только ставить новые актуальные научные задачи, но и самостоятельно находить методы их решения, что является обязательным для самостоятельного исследователя.

Более того, автор также докладывает в своей диссертации об исследованиях течения неравновесной плазмы в открытых ловушках в широком спектре плотностей и температур, в том числе релевантных для задач управляемого ядерного синтеза. Он применяет разработанные им самосогласованную гидродинамическую и электромагнитную модель для описания течения неравновесной плазмы в приосевой области открытой ловушки; гибридную гидродинамико-кинетическую модель для описания расширения неравновесной плазмы за магнитной пробкой открытой ловушки.

Автореферат Абрамова И.С. написан простым и понятным языком, его легко и приятно читать. Основываясь на автореферате, а также на рецензируемых статьях автора, я вне всяких сомнений считаю, что автор является зрелым ученым. Его выполненная на актуальную тему диссертация удовлетворяет требованиям к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

*Я, Мосеев Дмитрий, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.*

*Мосеев Дмитрий  
Мосеев*