

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Кузьмина Евгения Игоревича

«Генерация плазмы геликонного ВЧ разряда в неоднородном магнитном поле», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы

Диссертационная работа Кузьмина Е.И. посвящена исследованию высокочастотного газового разряда геликонного типа. Несмотря на то, что указанный разряд изучается, как минимум, с шестидесятих годов прошлого столетия, интерес к нему не только не падает, но напротив возрастает в связи с расширением возможных приложений, в частности, для исследования воздействия плазмы на различные материалы. Кроме этого, нет оснований считать полностью изученной физику данного типа разряда. Одна из неокончательно решенных проблем заключается в выяснении роли магнитного поля, наличие которого является необходимым условием распространения геликонных волн. Эта проблема остается дискуссионной как в теоретическом, так и в экспериментальном отношении. Основная задача рассматриваемой диссертационной работы состояла в экспериментальном исследовании влияния конфигурации магнитного поля на параметры плазмы, создаваемой в геликонном разряде. Причем особое внимание было уделено магнитному полю с наибольшей неоднородностью вблизи антенны. Сведения об испытаниях геликонного разряда в таких условиях известны в литературе, однако соответствующие эксперименты выполнены при мощностях ВЧ-генератора, не превышающей 1 кВт. В рассматриваемой диссертации использовался генератор мощностью до 20 кВт, что существенно изменяет картину разряда. Для решения поставленных задач автором диссертационной работы выполнен значительный объем работ по согласованию генератора с плазменной нагрузкой. Это согласование произведено для трех типов антенн. Показано, что для мощностей излучения, превышающих 5 кВт, наименьшей эффективностью обладает витковая антенна. В результате

выполненных согласований удалось существенно повысить мощность, передаваемую в плазму от ВЧ-генератора. Значительная часть исследований посвящена измерениям параметров плазмы в зависимости от давления газа, мощности ВЧ излучения, индукции и характера аксиального распределения магнитного поля в рабочем объеме экспериментальной установки. Для измерения параметров плазмы геликонного разряда автором диссертации адаптировано 2 методики, одна из которых связана с применением тройного ленгмюровского зонда, а другая основана на измерении интенсивности СВЧ-волны, прошедшей плазму.

Актуальность работы обусловлена возможностью проведения на созданной установке экспериментов по взаимодействию плотной плазмы с различными материалами. Основным результатом, свидетельствующим о научной новизне выполненного исследования, заключается в установлении факта, что конфигурация магнитного поля, содержащая минимум в области антенны, обеспечивает наилучшие условия для поглощения ВЧ-излучения плазмой. Рекомендации, сформулированные автором по итогам исследований по согласованию генератора с плазменной нагрузкой, полезны для разработчиков широкого класса установок с ВЧ-генерацией плазмы, что несомненно указывает на практическую ценность рассматриваемой диссертационной работы. Достоверность и обоснованность научных положений, выносимых на защиту, подтверждается большим объемом проведенных измерений и не вызывает сомнения.

По рассматриваемой диссертационной работе могут быть сделаны замечания.

1. Автором диссертации выполнен большой объем измерительной работы, что может рассматриваться не только как достоинство, но и как недостаток работы, поскольку толкование полученных результатов сведено в заключение и ограничивается качественными формулировками без проведения количественных оценок.

2. Основным объемом измерений параметров плазмы выполнен с использованием зондовой методики. В то же время, на рис. 5.3.9 и 5.3.11



представлены результаты измерения концентрации плазмы двумя методиками в аналогичных условиях. Несмотря на совпадение значений по порядку величин, характер зависимостей заметно отличается, что требует пояснений.

3. В параграфе 3.4 подробно описана теория зонда, однако не указаны его реальные размеры. В связи с этим возникает вопрос о достоверности наличия резких пиков электронной температуры вблизи стенок рабочего объема (рис. 5.1.4). Судя по представленным результатам, измерения потенциала плазмы не проводились, следовательно, оценить толщину слоя пространственного заряда у стенки реактора не представляется возможным.

Отмеченные недостатки не затрагивают сущности научных положений, выносимых на защиту. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Кузьмин Евгений Игоревич достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Я, Бурдовицин Виктор Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Кузьмина Евгения Игоревича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент – Бурдовицин Виктор Алексеевич, профессор, доктор технических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника, профессор кафедры физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники».

Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 40

E-mail: burdov@fet.tusur.ru, тел. +7 (3822) 41-33-69

«02» ноября 2022 г.



В.А. Бурдовицин

Подпись В.А. Бурдовицина удостоверяю

Ученый секретарь ТУСУР

Е.В. Прокопчук