

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Сясько Алексея Владимировича на тему: «Влияние тепловых, кинетических и радиационных эффектов на контракцию тлеющего разряда в инертных газах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика плазмы.

Диссертационная работа А.В.Сясько посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию контракции положительного столба разряда в инертных газах гелии, неоне и аргоне при умеренных давлениях газа (~ 100 Торр) и небольших токах (~ 10 - 100 мА). Механизмы и процессы контрагирования представляют большой интерес для физики плазмы и газового разряда. При практических применениях разряда (лазеры, источники света, плазмохимические технологии и пр.) контрагирование существенным образом влияет на разрядные характеристики. Например, энергетические характеристики мощных газоразрядных лазеров ограничены возникновением ионизационно-перегревной неустойчивости, в результате которой происходит контракция, приводящая, в свою очередь, к переходу неравновесной плазмы тлеющего разряда в равновесную дуговую плазму и срыву генерации. Понимание механизмов контракции позволяет предвидеть ее и учесть при проектировании устройств и выборе их рабочих режимов. Эти факторы обуславливают актуальность тематики диссертации. Выбор объектов исследования вполне оправдан, так как инертные газы широко используются в качестве основных или несущих компонент рабочих смесей. При рассмотрении вопроса о механизме контракции в этих газах обычно обсуждаются две возможные версии: межэлектронное взаимодействие, приводящее к максвеллизации функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ), или неоднородный разогрев газа и связанная с ним радиальная неоднородность электрического поля (в принципе возможна и комбинация этих факторов). Для неона и аргона вопрос о выборе между этими вариантами принципиально был решен благодаря работам Ю.Голубовского с соавторами в конце 1960-х – начале 1970-х годов. Прямыми экспериментами было показано, что решающую роль играет максвеллизация ФРЭЭ, а разогрев газа менее существенен. Для гелия вопрос оставался открытым.

В данной работе контракция в гелии, неоне и аргоне исследуется на базе современной экспериментальной техники и новых вычислительных возможностей. Это позволило глубже понять детали процессов контрагирования, в частности, уточнить роль тепловых эффектов для неона и аргона. Здесь прежде всего следует отметить уникальные интерферометрические измерения температурного поля в разряде с временным разрешением. Особенно впечатляют данные для аргона, демонстрирующие разогрев газа с одновременным всплыванием токового шнура. Возможность, благодаря использованию современной техники вычислений, сравнить полученную картину с результатами численного моделирования дополнительно усиливают эффект от этой части работы. Потенциал оптических методов исследования плазмы демонстрируют радиальные профили электронной концентрации, найденные из анализа измерений интенсивности излучения континуума. Говоря о новизне полученных результатов, следует особенно отметить данные о процессах контрагирования в гелии. Здесь получены качественно новые и весьма нетривиальные результаты, например, ключевое влияние термостатирования стенки трубки. Новым является и совместное рассмотрение процессов

09/2-02-221 от 26.04.2020

переноса метастабильных и резонансных атомов, которые, как показано в работе, могут существенно влиять друг на друга.

Говоря о работе в целом, необходимо отметить высокий технический уровень, тщательность и продуманность проведенных экспериментов и их глубокий и полный теоретический анализ. Текст диссертации написан ясным и грамотным языком и прекрасно иллюстрирован. Результаты опубликованы в высокорейтинговых изданиях, в том числе в журналах из квантили Q1.

Некоторое количество вопросов и замечаний могут появиться при очень внимательном изучении работы.

1. Переход разряда из диффузной формы в контрагированную происходит скачкообразно. Для неона и аргона это можно качественно объяснить переключением режима гибели электронов из нелокального (диффузионного) в локальный (рекомбинационный). Каким образом можно объяснить наличие скачка и гистерезиса на вольтамперной характеристике разряда в гелии, где контрагирование обусловлено тепловым механизмом?

2. При описании интерферометрического метода измерения температуры газа автор ссылается на предыдущие работы американских авторов [81, 82]. Уместно было бы упомянуть и статьи, одним из соавторов которых был научный руководитель диссертации (Голубовский, Каган, Ржевский, 1974 и Голубовский, Ржевский, Флорко, 1978).

3. *"В большой области значений концентраций электронов n_e плазму можно считать идеальным газом, что дает возможность определять значение температуры электронов из соотношения для средней кинетической энергии: $\langle mv^2/2 \rangle = 3/2 kT_e$."* (с.42). В каком смысле "определять"? Если считать ее такой по определению, то это можно делать всегда. Если вычислять – то для этого требуется максвелловская функция распределения электронов по энергиям.

4. Имеется несколько неточных выражений или, возможно, опечаток. С.18: *"Поскольку метастабильные уровни не связаны диполь - дипольным переходом..."* – должно быть просто "дипольным переходом". С.20: *"отличающееся от обратного значения ... лишь малым множителем"*. Должно быть – "множителем, близким к единице". С.63: *"В центре разряда температура газа за длительность импульса 7 мс успевает увеличиться лишь на 50 К и едва превосходит температуру газа на оси разряда в стационарном случае."* По-видимому, должно быть не "на оси разряда", а "вблизи стенки".

5. Хотя, как уже отмечалось, работа изложена грамотно и понятно, иногда можно встретить некоторые языковые недочеты. Для чего нужно было использовать жаргонный термин "нейтралы" вместо просто "атомы"? Вообще нейтральность зачем-то усиленно подчеркивается там, где это совсем не требуется. Так, на с.79-80 (в общей сложности на одной странице текста) 6 раз встречаются выражения "нейтральный газ", 2 раза "нейтральный атом" и еще 2 раза "нейтралы". Не обошлось и без независимого деепричастного оборота: *"Подставляя выражение (3.2) для оператора столкновений ..., кинетическое уравнение примет вид ..."* (с.41). Или *"Зная вид сечения возбуждения нижних уровней ..., скорость возбуждения ... может быть вычислена ..."* (с.43).

Эти замечания носит исключительно частный характер и ни в коей мере не умаляют отмеченную уже выше высокую оценку работы. Диссертация Сясько Алексея Владимировича на тему: «Влияние тепловых, кинетических и радиационных эффектов на контракцию тлеющего разряда в инертных газах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Сясько Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика плазмы. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор СПбГУ



Ионих Ю.З.

24 апреля 2020 г.