

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Александра Сергеевича Смирнова на диссертацию Рабаданова Курбана Магомедовича «Исследование кинетических процессов в нелокальной газоразрядной плазме», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08. – физика плазмы

Диссертация Рабаданова К.М. посвящена исследованию нелокальной кинетики электронов и разработке методики решения нелокального кинетического уравнения Больцмана в современных программных пакетах, в которых имеется возможность решения локального уравнения Больцмана. Основы физической кинетики были заложены Максвеллом и Больцманом в XIX веке. Однако интенсивное развитие физической кинетики началось только после первой половины XX века, когда было осознано, что изучение сильнонеравновесных сред представляет собой самостоятельный раздел физики. К этому периоду и относятся основные труды по физической кинетике. Основным уравнением кинетической теории газов является уравнение Больцмана и решение данного уравнения является не простой задачей. Было замечено, что если характерный масштаб разрядного промежутка  $L$  намного больше длины энергетической релаксации электронов  $L \gg \lambda_e$ , то можно использовать так называемое локальное приближение, при котором членами с пространственными градиентами в уравнении Больцмана можно пренебречь. Однако, если данное условие не выполняется, то использование локального приближения приводит к погрешностям при определении параметров плазмы. Бернштейн и Холстейн в своей работе заметили, что кинетическое уравнение для положительного столба разряда постоянного тока можно свести к уравнению формально похожему на локальное уравнение. Это так называемое нелокальное приближение уравнения Больцмана. В дальнейшем в развитие нелокальной теории большой вклад вложили Л.Д. Цендин, Ю.Б. Голубовский, U. Kortshagen, и другие. Однако, несмотря на многочисленные исследования, до сих пор остается актуальным вопрос уточнения условия применимости локального приближения для решения уравнения Больцмана. И в связи с широким распространением среди ученых различных программных пакетов для моделирования плазмы, также остается важной задачей адаптация этих программных пакетов для решения нелокального уравнения Больцмана. Это определяет актуальность темы диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. В работе рассматривается положительный столб тлеющего разряда постоянного тока низкого и среднего давления в аргоне. Проведено последовательное и систематическое исследование кинетики электронов в положительном столбе. В первой главе приведен обзор литературы и история развития газоразрядной плазмы. Вторая глава посвящена исследованию влияния амбиполярного поля на формирование функции распределения электронов ФРЭ и другие характеристики плазмы положительного столба, а также уточнению условия применимости локального приближения. В третьей главе приводится решение кинетического уравнения Больцмана без учета элеткрон-элеткронных столкновений и сверхупругих столкновений и результаты исследований. Далее в четвертой главе решается данное уравнение с учетом влияния элеткрон-элеткронных столкновений на кинетику электронов как в локальном, так и в нелокальном режиме. В

Вх. № 09/2-397 от 19.09.2019

пятой главе решается данное уравнение с учетом влияния сверхупругих столкновений на кинетику электронов как в локальном, так и в нелокальном режиме.

Проанализировано влияние электрон – электронных столкновений и сверхупругих столкновений метастабильных атомов с электронами на формирование нелокальной ФРЭ и другие характеристики плазмы положительного столба в аргоне. Показано, что при высоких степенях ионизации и степени возбуждения необходимо учитывать вклад электрон – электронных столкновений и сверхупругих столкновений метастабильных атомов с электронами на формирование как локальной, так и нелокальной ФРЭ. Описано обнаруженное довольно интересное явление в случае учета влияния метастабильных атомов на формирование нелокальной ФРЭ, так называемый явление «копирования» ФРЭ.

Результаты грамотно и очень хорошо проиллюстрированы в виде многочисленных рисунков, с подробными пояснениями к ним. Диссертация является законченным оригинальным научным исследованием, а её результаты несомненно найдут применение в дальнейших исследованиях.

По тексту работы можно сделать следующие замечания:

1. В работе отсутствует сравнение расчетных функций распределения с экспериментально измеренными. В литературе можно было отыскать экспериментальные данные, по крайней мере, для некоторых условий расчетов.
2. В работе не указано, какие граничные условия использовались при решении кинетического уравнения Больцмана.
3. Дополнительный критерий нелокальности функции распределения электронов, возможно, было бы лучше сформулировать как отношение энергетической длины пробега к характерной длине изменения потенциала.

Данные замечания не снижают положительной оценки работы.

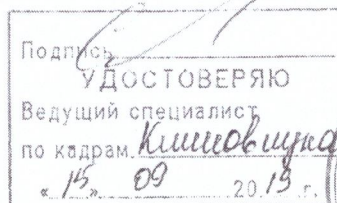
Диссертация Рабаданова Курбана Магомедовича на тему: «Исследование кинетических процессов в нелокальной газоразрядной плазме» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Рабаданов Курбан Магомедович заслуживает присуждение ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08. – физика плазмы.

Член диссертационного совета

доктор физико-математических наук, профессор

профессор СПбПУ

15 сентября 2019



А.С. Смирнов

