

О Т З Ы В

председателя диссертационного совета
Тимофеева Николая Александровича на диссертацию
Сысоева Сергея Сергеевича

на тему: «Исследование нелокальной плазмы тлеющих разрядов и ее применение для анализа состава газовых смесей методом Плазменной Электронной Спектроскопии (ПЛЭС)», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Плазма газового разряда и ее применения привлекают внимание исследователей уже фактически более ста лет. За это время изучены различные типы разрядов в широком диапазоне условий (токи, давления и сорт газов, конфигурации, способов создания плазмы и др.), предложены и используются многочисленные приложения плазмы от источников света до современных плазменных технологий. Тем не менее, многие физические явления и объекты остаются непонятными или недостаточно исследованными. К ним с полным основанием можно отнести так называемую нелокальную плазму, теоретическое описание которой стало разрабатываться только в середине 80-х годов прошлого века. Особый интерес представляет плазма разрядов высокого давления, создаваемая в таких малых объемах, что ее можно рассматривать в нелокальном приближении. Особенностью нелокальной плазмы является то, что длина релаксации электронов по энергиям превышает ее характерные размеры, что позволяет использовать этот факт для экспериментального исследования функции распределения электронов по энергиям с помощью пристеночных зондов. Этот факт фактически лег в основу экспериментальной методики, использованной соискателем для изучения нелокальной плазмы различных плазменных объектов. Без сомнений, **цель работы** – исследование нелокальной плазмы тлеющих разрядов и ее применение для анализа газовых смесей методом плазменной электронной спектроскопии, – является **актуальной**.

К наиболее ценным с научной точки зрения результатам, полученным в диссертации, можно отнести следующие:

- 1) с помощью зондовой методики исследована нелокальная плазма тлеющего цилиндрического разряда в гелии с примесью атмосферного воздуха и аргона при низких и средних давлениях, плазма разряда большого объема с коаксиальными сетчатыми электродами в гелии и аргоне при переменном и постоянном токе, плазма микроразряда с полым катодом в потоке гелия при атмосферном давлении;
- 2) зарегистрированы энергетические спектры электронов в области отрицательного свечения классического тлеющего разряда, разряда большого объема с коаксиальными сетчатыми электродами и микроразряда в потоке гелия при помощи зонда Ленгмюра, а также пристеночного электрода; по данным спектрам оценен состав примесей в газовой смеси, а также концентрация метастабильных атомов гелия;
- 3) предложена конструкция микроплазменного анализатора примесей в газах, которая может использоваться как ионизационный Пеннинговский детектор в хроматографии или как самостоятельный газовый анализатор;
- 4) проведены серии экспериментальных исследований поведения пылевых частиц как со стратифицированным, так и однородным положительным столбом в газоразрядной трубке в воздухе низкого давления при различных положениях по отношению к нормали.

Характеризуя диссертацию в целом, можно констатировать, что в ней приведены чрезвычайно интересные экспериментальные результаты, при этом использована

оригинальная методика для исследования именно нелокальной плазмы, предложена оригинальная конструкция микроплазменной ячейки, которая служит прототипом плазменного газоанализатора. Работа написана хорошим языком с полным пониманием автором предмета исследования.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием профессионального измерительного и регистрирующего оборудования, контролем воспроизводимости данных, обработкой результатов в соответствии с существующей теорией зондовых измерений и ее уточнений, а также в соответствии с теорией ошибок.

Научная значимость работы состоит в проведении комплексной диагностики разряда большого объема с коаксиальными сетчатыми электродами, в получении зондовыми методами энергетических спектров электронов, в предлагаемой оценке количества примеси в газовой смеси, а также концентрации метастабильных атомов гелия. Практическая значимость работы заключается в создании и исследовании ячейки для получения микроплазмы, которая может быть прототипом миниатюрного газоанализатора.

По диссертации имеются следующие замечания.

1. Для зондовых измерений использовались три схемы: две коммерческие Multifunctional Plasma Probe Analyzer MFPA и Impedance Langmuir probe system, а также схема, разработанная на кафедре оптики СПбГУ совместно с ФТИ имени Иоффе. Естественным было бы провести сравнение этих схем и указать их достоинства и недостатки. Отсутствует оценка погрешности измерений с помощью этих устройств (как, впрочем, и для всех остальных измеренных данных).
2. На стр. 66-67 приведено уравнение диффузии (2.10) и его решение (2.11). Как получено это решение, не ясно. Здесь же приведена Табл. 2.3, описание которой в тексте диссертации отсутствует. Отметим здесь, что встречаемое довольно часто в диссертации недостаточно строгое отношение к описанию обозначений, затрудняет чтение работы. Например, для уравнения (1.1) не описаны используемые величины, есть вопрос к написанию реакции (1.5), соотношения (4.1)-(4.6), дающие отношение радиального электрического поля к продольному, получены на качественном уровне, из которых невозможно сделать вывод о том, что больше или меньше, хотя вывод соискателя о превалировании радиального поля над продольным верен, но для пристеночной области.
3. Четвертая глава диссертации, посвященная пылевой плазме, смотрится несколько инородной. Хотелось бы иметь более убедительное обоснование ее включения в диссертацию. Возможно, связующим звеном могло бы быть то, что пылевая плазма исследуется в нелокальных условиях.

Отмеченные недостатки не снижают ценности, важности и высокого научного уровня проведенных исследований. Основные результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, доложены на международных и российских научных конференциях. Работа характеризуется новизной подходов и достоверностью полученных результатов.

Диссертация Сысоева Сергея Сергеевича на тему: «Исследование нелокальной плазмы тлеющих разрядов и ее применение для анализа состава газовых смесей методом Плазменной Электронной Спектроскопии (ПЛЭС)» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сысоев Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета
Доктор физико-математических наук,
Заведующий кафедрой оптики
Санкт-Петербургского государственного университета

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'N. A. Timofeev', written in a cursive style.

Н. А. Тимофеев

Дата: 10.02.2022