

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертацию Кожевникова Василия Юрьевича

«Теория быстропротекающих процессов взаимодействия сильных электрических полей с неравновесными потоками электронов в плотных газах, полупроводниках и вакууме», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.13 – электрофизика, электрофизические установки.

Диссертация "Теория быстропротекающих процессов взаимодействия сильных электрических полей с неравновесными потоками электронов в плотных газах, полупроводниках и вакууме" выполнена в лаборатории теоретической физики (ЛТФ) Института сильноточной электроники СО РАН и посвящена теоретическому описанию начальных стадий высоковольтного пробоя газоразрядных промежутков, когда в газовом разряде создаются условия для появления непрерывно ускоренных электронов.

Эффект непрерывного ускорения электронов (впервые упомянут в качестве гипотезы около ста лет назад, первые экспериментальные свидетельства его наличия получены в 60-70-х годах прошлого века, а быстрые электроны, возникающие за счет этого эффекта, принято называть «убегающими») в газовом разряде высокого давления до сих пор привлекает большое внимание как экспериментаторов, так и теоретиков из-за его фундаментальных проявлений в различных областях физики газового разряда. В последние 20 лет в связи с развитием импульсной техники и диагностической аппаратуры пикосекундного разрешения был получен обширный массив новых экспериментальных данных о параметрах этого эффекта (исследовательские группы Яландина, Тарасенко, Тао Шао, Красика и др.). Параллельно разрабатывались теоретические подходы к анализу и описанию «убегающих» электронов, которые сначала ограничивались полуколичественными оценками (Аскарьян, Драйсер, Бабич, Кунхардт) и решением стационарных однородных кинетических задач (Гуревич). Лишь с широким развитием вычислительной техники стало возможным построение нестационарных пространственно-неоднородных моделей этого явления, как правило, методами имитационного моделирования (метод Монте-Карло, метод крупных частиц и т.п.).

Диссертация Кожевникова В.Ю. посвящена развитию альтернативного подхода в описании газовых разрядов с убегающими электронами – формулировке детерминистических моделей разряда на базе гидродинамического описания плазмы разряда (системы уравнений в частных производных) и кинетического описания неравновесной электронной компоненты (кинетическое уравнение Больцмана). Развитые в этой диссертации математические методы и теоретические подходы позволили также

описать на новом методологическом уровне аналогичные процессы в полупроводниковом диоде Ганна и высоковольтном вакуумном диоде.

В диссертации Кожевникова В.Ю. на базе детерминистических математических моделей построена одномерная нестационарная теория газового разряда в условиях неоднородной геометрии разрядного промежутка (в основном, это коаксиальная геометрия газонаполненного диода), позволяющая получить практически все характеристики разряда и потока убегающих электронов в широком диапазоне начальных данных (различные сорта газа, давление от долей до десятка атмосфер, размеры промежутка от долей мм до десятка см, импульс приложенного напряжения амплитудой от десятков до сотен кВ и длительностью переднего фронта от сотни пикосекунд до десятка наносекунд, произвольный уровень и профиль пространственного распределения иницирующих заряженных частиц и т.п.). Расчетные данные находятся в хорошем соответствии с экспериментально наблюдаемыми трендами характеристик при изменении таких параметров задачи как сорт и давление газа, степень неоднородности поля, длительность и амплитуда импульсов напряжения и т.п. Можно констатировать, что построена вполне адекватная и всеобъемлющая количественная теория такого сорта разрядов.

На базе этого подхода удалось впервые получить новые и максимально детальные количественные данные о механизме формирования импульсного пучка убегающих электронов в начальной стадии развития высоковольтного пробоя газоразрядного промежутка, которые подчас трудно или даже невозможно выявить методами имитационного моделирования. В частности, такой подход позволил количественно описать энергетический спектр убегающих электронов даже в условиях их неограниченно малого числа в единичном импульсе, но который может проявиться в частотно-импульсном режиме разряда. Теоретическое моделирование доказало, что убегающие электроны экстрагируются по импульсам сильным электрическим полем из ансамбля электронов плотной плазмы и могут ускоряться до высоких энергий, подчас превышающих величину приложенного напряжения, умноженного на элементарный заряд.

Кожевников В.Ю. сложившийся исследователь-теоретик в области физики электрического разряда в газе. Он зарекомендовал себя ответственным и квалифицированным участником госбюджетных работ, конкурсных грантов РФФИ и Миннауки РФ, выполняемых в лаборатории теоретической физики ИСЭ СО РАН, его работы хорошо известны специалистам, он уже много лет является членом

международного электротехнического сообщества – Senior Member, IEEE. Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в авторитетных научных журналах, апробированы в виде стендовых, устных и приглашенных докладов на более чем двух десятках международных конференций.

Вклад Кожевникова В.Ю. в получение защищаемых результатов является определяющим, кроме того, он играл ключевую роль в разработке достоверных вычислительных алгоритмов и формулировке математических задач, сопровождающих построение защищаемой теории, что свидетельствует о его высокой квалификации физика-теоретика.

Публикации по теме диссертации более двух десятков статей в реферируемых научных журналах (Физика плазмы, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Известия вузов.Физика, New Journal of Physics, Europhysics Letters, Journal of Physics D: Applied Physics, IEEE Transaction on Plasma Science, Laser and Particle Beams и др.), многочисленные (порядка 30) доклады на Международных конференциях также указывают на достоверность и положительную апробацию научных результатов.

В целом диссертация Кожевникова Василия Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор разработал и реализовал в качестве численно-аналитических математических моделей электрического разряда в газе высокого давления с участием непрерывно ускоренных электронов совокупность теоретических положений, которую можно квалифицировать как значимое научное достижение. Диссертация отвечает все требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по искомой специальности.

Научный консультант,
Зав. лабораторией,
д-р физ.-мат. наук, профессор
634055, г. Томск, пр. Академический 2/3,
Тел.сот. +7-960-976-8229
kozyrev@to.hcei.tsc.ru

А. В. Козырев
30.08.2019

Подпись А.В Козырева заверяю,
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель