

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию Коковина Александра Олеговича

«Динамика электрического пробоя в газах повышенного давления в условиях высокой пространственной неоднородности электрического поля», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки

Младший научный сотрудник Коковин Александр Олегович выполнил диссертационную работу в лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

Электрический разряд в газах высокого давления (в частности, в атмосферном воздухе) используется в широком классе электрофизических устройств и приборов (источники оптического излучения, источники заряженных и химически активных частиц, коммутационные устройства различного назначения и т.п.). Ключевую роль в работе этих устройств играет начальная стадия развития разряда – электрический пробой газонаполненного промежутка – процесс перехода от не проводящего ток состояния газа к токопроводящему. Способы реализации пробоя в практической деятельности отличаются большим разнообразием физических условий, что требует от разработчиков глубокого понимания сложных фундаментальных процессов, сопровождающих это явление. Высокая степень нестационарности процесса (длительность стадии пробоя в большинстве технических устройств лежит в микросекундном диапазоне времен) делает его трудным объектом, не только для экспериментальных, но и для теоретических исследований. В этом контексте, применение современных методов математического описания неравновесного процесса электрического пробоя в широком диапазоне давлений газа и длительностей импульса приложенного напряжения представляется, несомненно, актуальным.

Хорошим подходом к построению теории электрического пробоя газов высокого давления является использование уравнений в частных производных в рамках многожидкостной модели низкотемпературной плазмы. При описании пробоя в конфигурациях с малыми радиусами кривизны электродов (слаботочный коронный, импульсный коронно-стримерный разряды) решение подобных уравнений встречается с определенными трудностями, обусловленными высокими пространственными градиентами и короткими характерными временами изменений концентраций плазменных частиц. Поэтому очень большое внимание нужно обращать на выбор алгоритмов расчета и тестирование результатов. В диссертации Коковина А.О. на базе многокомпонентной кинетики заряженных и нейтральных плазменных частиц теоретическим методом исследуются ключевые закономерности электрического пробоя в условиях высокой, пространственной неоднородности протекающих процессов.

В диссертации предложена оригинальная схема плазмохимических реакций в искусственном воздухе высокого давления, обладающая минимальным числом реакций (без включения в химическую схему возбужденных атомных и молекулярных частиц). Данная схема дает верные величины коэффициентов ионизации Таунсенда и другие скорости ионизации воздушной плазмы, что делает ее применимой для описания нестационарной неравновесной плазмы газового разряда с высокой неоднородностью электрического поля.

На примере различных технических конфигураций газоразрядного промежутка рассчитано формирование стационарной структуры слаботокового коронного разряда с ион-ионной проводимостью области переноса в режиме самоограничения тока разряда. Показана возможность стабильной работы подобного типа разрядников в широком диапазоне скорости нарастания напряжения, что помогло расширить применение искровых разрядников, работающих в режиме самопробоя.

На базе теоретической модели коронно-стримерного разряда, горящего в условиях ограничения тока высокитм балластным сопротивлением, описаны режимы горения нестационарного коронного разряда атмосферного давления в геометрии промежутка «острие-плоскость» в широком диапазоне приложенного напряжения. Показано, что эволюция последовательных режимов функционирования коронного разряда может быть обеспечена плавным ростом напряжения на промежутке. Выявлены четыре стадии горения коронного разряда и объяснены физические причины переходов от одного режима к другому. Впервые показано, что при увеличении скорости роста напряжения на промежутке возможна смена локального механизма формирования плазмы в окрестности катодного острия.

В диссертации впервые подробно представлена теория зажигания апокампического разряда с несимметричной геометрией его развития. На примере чистого кислорода доказан стримерный механизм несимметричного зарождения и роста тонкой плазменной струи, опирающейся на изогнутый плазменный канал, и получено пороговое значение напряжённости внешнего электрического поля, необходимого для роста плазменного филамента. На примере хлора (газа с сильно выраженными электроотрицательными свойствами) показан механизм формирования множественных плазменных струй в апокампическом разряде.

Сформулированные в диссертации научные положения и выводы хорошо согласуются с известными экспериментально наблюдаемыми тенденциями и не противоречат закономерностям, полученным другими исследователями в рамках иных теоретических подходов.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 20 печатных работах: в том числе 7 представляют собой статьи в рецензируемых журналах (Письма в ЖЭТФ, ЖЭТФ, Известия вузов. Физика, Europhysics Letters), включённых в Перечень научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.

Диссертация Коковина Александра Олеговича является самостоятельной, законченной и оригинальной научно-исследовательской работой. Автор принимал непосредственное и основное участие в создании диссертационной работы, в написании статей и по тематике диссертации, в проведении расчётов и обработке экспериментальных результатов. Текст диссертации написан автором лично.

Я полагаю, что диссертация Коковина А.О. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решен ряд теоретических задач, имеющих большое значение для развития физики электрического разряда в газах и его применения в электрофизических электроустановках.

На основании изложенного полагаю, что представленная диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Коковин Александр Олегович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.13 Электрофизика, электрофизические установки.

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

Козь А. В. Козырев

28.09.2023

Подпись А.В. Козырева удостоверяю,
Ученый секретарь ИСЭ СО РАН, к.т.н.



О. В. Крысина
О. В. Крысина