

## Отзыв

о диссертации Калинина Сергея Александровича «Исследование процессов электрического пробоя газов в длинных разрядных трубках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Диссертация С.А. Калинина посвящена экспериментальному исследованию различных вопросов электрического пробоя газовых смесей в длинных разрядных трубках. Сюда относятся, прежде всего, характеристики первичного пробоя около высоковольтного электрода, распространение волны ионизации от высоковольтного к низковольтному электроду после первичного пробоя и влияние экранирования трубки на характеристики пробоя. Актуальность работы связана с использованием длинных разрядных трубок в светотехнике. Особенно важны рассматриваемые вопросы в случае, когда разряд зажигается в импульсно-периодическом режиме, который имеет существенные преимущества и выглядит перспективным по сравнению с разрядом постоянного тока из-за увеличения светоотдачи и улучшения технико-экономических показателей источников света типа люминесцентных ламп.

Диссертационная работа С.А. Калинина состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Первая глава носит обзорный характер. Во второй главе приводится описание экспериментальной установки и используемых в проведенных исследованиях диагностических методов. Третья, четвертая и пятая главы посвящены, соответственно, описанию исследования процессов пробоя в смесях аргона с ртутью, «обратного пробоя» в трубке и роли экранировки трубки при развитии пробоя.

К основным результатам работы следует отнести экспериментальное подтверждение наличия начальной стадии пробоя в длинных трубках - первичного пробоя между высоковольтным электродом и стенкой разрядной трубки, в результате чего формируется волна ионизации, распространение которой по промежутку и приводит к зажиганию разряда. Для этого были выполнены исследование динамики электрических параметров во время развития пробоя, и проведена оптическая и спектральная диагностика волны ионизации. Спектральный состав излучения в такой волне ионизации был получен впервые. Этот спектр содержит не только линии томов ртути, но и линии атомов и ионов аргона. Последнее существенно отличает этот спектр от спектра разряда постоянного тока. При обработке полученного спектра по отношению интенсивности линий для переходов с разными порогами возбуждения была получена информация о приведенном электрическом поле  $E/N$  ( $N$  – концентрация нейтральных частиц) во фронте этой волны для смесей  $Ag:Hg$  и  $Ne:Ar$ . Этот параметр особенно важен при описании свойств неравновесной плазмы, поскольку он определяет функцию распределения электронов по энергиям, их среднюю энергию и другие интегральные характеристики. Показано, что роль низковольтного электрода в развивающихся процессах становится заметной только после достижения его волной ионизации.

Также представляет несомненный интерес впервые установленное явление – «обратный» пробой между стенкой трубки, заряженной во время распространения первичной волны ионизации, и заземленным электродом. В результате от высоковольтного электрода развивается и вторичная волна ионизации (волна ионизации «обратного» пробоя), при распространении которой происходит удаление заряда с поверхности разрядной трубки. Эта волна прямо была зарегистрирована с помощью оптических наблюдений. Зависимость ее скорости от расстояния подобна аналогичной зависимости для волны ионизации при прямом пробое в случае противоположной полярности приложенного напряжения. Спектр излучения в случае волны ионизации при «обратном» пробое, как и в случае прямого пробоя, сильно отличается от спектра излучения разряда постоянного тока в тех же газовых смесях. Из спектральных измерений

*Вх. № 09/2-385 от 11.09.2019*




следует, что приведенное электрическое поле в волне ионизации при «обратном» пробое уменьшается по мере ее распространения.

Полученные в работе результаты исследования влияния экранировки разрядной трубки на характеристики пробойных процессов позволяют оценить неконтролируемое электростатическое воздействие со стороны окружающих металлических предметов на развитие пробоя в длинных трубках в предыдущих экспериментах. Показано, что скорость волны ионизации зависит от диаметра экрана немонотонным образом, проходя через максимум.

По диссертации С.А. Калинина можно сделать следующие замечания. До конца не ясно, чем определяется случайное время запаздывания первичного пробоя при положительной полярности. Также не обсуждается механизм появления затравочных электронов в этом случае. Тот же вопрос можно задать и в отношении «обратного» пробоя – от чего зависит время его наступления. Наконец, имело бы смысл прояснить вопрос о том, почему происходит ускорение волны ионизации при ее приближении к низковольтному электроду.

Несмотря на приведенные выше замечания, диссертация Калинина Сергея Александровича на тему «Исследование процессов электрического пробоя газов в длинных разрядных трубках» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Калинин Сергей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Доктор физико-математических наук, профессор,  
главный научный сотрудник, заведующий лабораторией  
импульсных плазменных систем  
Московского физико-технического института

  
Н.Л. Александров  
06.09.19

Отзыв составил Александров Николай Леонидович, профессор кафедры прикладной физики и заведующий лабораторией импульсных плазменных систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер. 9, тел. +7(495)4086385, E-mail: [nick\\_alexandrov@mail.ru](mailto:nick_alexandrov@mail.ru).



