

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Паркевича Егора Вадимовича
**«Генерация плазмы высокой степени ионизации в наносекундном искровом
разряде в воздухе»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 - Физика плазмы

Проблема контракции газового разряда уже более столетия привлекает к себе внимание многих исследователей. Однако вплоть до настоящего времени ряд ее аспектов не получил должного объяснения, что связано с чрезвычайно сложным характером сильно нестационарных процессов ионизации различной природы, которые при определенных условиях могут приводить к значительной неоднородности газоразрядной плазмы. В этой связи диссертация Е.В. Паркевича, посвященная экспериментальному исследованию процессов развития мелкомасштабных неустойчивостей вследствие контракции импульсного наносекундного разряда, представляет собой новый важный шаг в понимании физики процессов образования микроструктуры искровых каналов, что и определяет научную новизну и практическую значимость представленной работы. Ее актуальность во многом определяется тем обстоятельством, что, с одной стороны, явление контракции успешно используется в сильноточных газоразрядных коммутаторах, для плазменно-стимулированного воспламенения горючих смесей и в других практически важных применениях, а с другой стороны, существенно ограничивает эффективность различных газоразрядных приборов - газоразрядных источников света, электроразрядных газовых лазеров и т.д.

Диссертация Е.В. Паркевича состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении к диссертации приводится обоснование актуальности выбранной темы и определяются цели исследований. Описывается научная новизна работы и ее практическая ценность, формулируются защищаемые положения. В этом же разделе приводится и краткий анализ имеющихся литературных данных по проблеме развития различных неустойчивостей объемных разрядов и неустойчивостей разрядной плазмы в приэлектродных областях, на основе которого делается вывод об отсутствии на настоящий момент ясной картины процессов контракции разряда в газах атмосферного давления на временах порядка единиц наносекунд и менее.

Первая глава диссертации носит в основном методический характер и посвящена, главным образом, описанию различных элементов экспериментальной установки для исследования процессов развития разряда в наносекундном диапазоне

длительностей. В частности, в рассматриваемой главе подробно обсуждается решение проблемы высокоточной синхронизации высоковольтного генератора разрядного тока и пикосекундного источника зондирующего лазерного излучения на основе разрядника с лазерным поджигом, необходимой для получения надежных данных о формировании плазменных каналов на наносекундных и субнаносекундных временах. В результате проведенных исследований автору удалось сократить разброс времени задержки пробоя и джиттер срабатывания разрядника до величины, не превышающей 1 нс, что, безусловно, является его существенным достижением. В этом же разделе диссертации представлены схемы оптической визуализации плазменных образований с использованием шлирен-метода и сдвиговой интерферометрии для измерений градиентов показателя преломления плазменных каналов в газовом разряде и восстановления распределения плотности электронов. Кроме того, здесь же детально описана схема специально разработанной многокадровой системы оптической регистрации исследуемых процессов, позволившей получить изображения плазменных структур с высоким временным и пространственным (до 3 мкм) разрешением, что дало возможность в дальнейшем экспериментально подтвердить эффекты дробления одиночных искровых каналов на мелкомасштабные филаменты с характерным размером поперечного сечения порядка 10 мкм.

Вторая глава диссертации посвящена описанию развитых методик получения количественной информации о параметрах плазмы исследуемого газового разряда на основе данных лазерной интерферометрии, использование которых в значительной степени определило успешное выполнение всей работы в целом. В рассматриваемой главе автором обсуждаются основные задачи, которые необходимо было решить в процессе обработки интерферограмм исследуемой плазмы и которые включали разработку методов шумоподавления, поиск максимумов и минимумов интенсивности интерференционной картины, построение трасс интерференционных полос, извлечение карты сдвига фазы. В конечном итоге обработка экспериментальных интерферограмм позволила автору получить с достаточной точностью информацию о распределении электронной плотности как вдоль, так и поперёк искровых каналов, а также оценить характерные градиенты плотности на их периферии.

Содержание третьей главы составляет описание экспериментальных результатов, полученных при выполнении работы, и их обсуждение. Первый раздел главы посвящен изучению прикатодной плазмы высокой степени ионизации на начальной стадии разряда в воздухе атмосферного давления. В экспериментах, выполненных с высоким временным разрешением, было надежно установлено, что момент трансформации

импульсного разряда в сильноточный режим с субнаносекундной точностью совпадает с моментом возникновения сильноионизированной прикатодной плазмы. Это подтверждает важную роль эмиссионных процессов на катоде в формировании интенсивных потоков электронов и в последующей генерации плазмы с высокой степенью ионизации. В диссертации отмечено, что возникновение плотной катодной плазмы, как и ожидалось, носит взрывной характер и именно она приводит к появлению первичных плазменных образований микронного размера и дает начало развитию фронта ионизации, распространяющегося для конкретных условий проведенных экспериментов со средней скоростью 70 мкм/нс.

Второй раздел рассматриваемой главы посвящен влиянию на формирование искровых каналов прианодных процессов. В этой связи большой интерес вызывает сделанный по результатам экспериментальных измерений вывод о том, что катодные и анодные пятна имеют близкие времена эволюции субнаносекундной длительности и появляются практически одновременно с моментом инициирования разряда. Более того, результаты зондирования показали существование высокой плотности электронов в прианодной плазме сравнимой с плотностью электронов в катодных пятнах.

В заключительном разделе главы приведены наиболее важные результаты диссертации, связанные с изучением проблемы формирования микроструктур в одиночных искровых каналах. Проведенный в диссертации анализ динамики развития микроструктур во времени и в пространстве показал, что с течением времени количество филаментов микронного масштаба может достигать нескольких десятков для одного искрового канала. Также по результатам измерений было отмечено, что скорость роста микроканалов может быть существенно выше характерной скорости расширения приэлектродных слоев плазмы. При этом физика развития мелкомасштабных неустойчивостей на сегодняшний день остается неясной и в диссертации практически не обсуждается. Автор работы лишь отмечает, что механизм возникновения и развития филаментов требует дальнейшего исследования.

В Заключении к диссертации подробно излагаются основные результаты и выводы работы, подтверждающие сформулированные автором защищаемые положения.

При рассмотрении диссертационной работы Е.А. Паркевича следует остановиться и на имеющихся в ней недостатках. В первую очередь необходимо отметить, что в диссертации отсутствует полноценный обзор литературы, что, конечно, несколько затрудняет восприятие работы, учитывая, что проблемам контракции газового разряда посвящено огромное количество работ. В обзоре несомненно

следовало бы более подробно обсудить и проанализировать физику процессов, приводящих к контракции разрядов и развитию мелкомасштабных неустойчивостей, не ограничиваясь перечислением известных экспериментальных фактов.

Кроме того, при обсуждении экспериментальных данных по распределению пространственной плотности электронов в тексте диссертации практически не анализируется влияние на точность получаемых результатов вкладов в результирующий показатель преломления других компонент плазмы помимо электронов, в частности, вклада нейтральных атомов и молекул, не затрагивается роль вклада в наблюдаемую концентрацию электронов двукратной ионизации атомов среды и т.д. В этой связи представлялось бы целесообразным провести дополнительные калибровочные измерения плотности электронов независимыми методами, например, по штарковскому уширению спектральных линий.

Отмеченные недостатки, носят скорее рекомендательный характер и практически не влияют на общую высокую оценку рассматриваемой диссертационной работы. Сформулированные в ней научные положения и выводы в целом обоснованы и достоверны, что подтверждается использованием широкого набора диагностических методик, сравнением результатов работы с результатами, полученными другими авторами. Личный вклад автора работы представляется определяющим, все основные результаты диссертации получены непосредственно им лично.

В целом диссертация Е.А. Паркевича представляется законченным научным исследованием, которое вносит существенный вклад в понимание процессов контракции и образования мелкомасштабных структур в сильноточном газовом разряде наносекундной длительности. Полученные в ней результаты имеют принципиальную новизну и практическую ценность для решения актуальных задач повышения эффективности газоразрядных приборов и совершенствования плазменных технологий, широко представлены в публикациях ведущих журналов и хорошо известны специалистам. Автореферат диссертации в полной мере отражает ее содержание.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Паркевича Егора Вадимовича «Генерация плазмы высокой степени ионизации в наносекундном искровом разряде в воздухе» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Паркевич Егор Вадимович, заслуживает присуждения

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - «Физика плазмы».

Официальный оппонент

профессор, доктор физ.-мат. наук

заведующий кафедрой прикладной физики

Федерального государственного автономного

образовательного учреждения высшего образования

«Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет)»

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулоч, д.9.

E-mail: leonov@phystech.edu

Тел.: +7 905 504 2821

Леонов Алексей Георгиевич

07.06.2022 г.

Подпись А.Г. Леонова заверяю.

Ученый секретарь

Федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Московский физико-технический институт

(национальный исследовательский университет)»

канд. физ.-мат. наук



Евсеев Евгений Григорьевич

Список основных публикаций оппонента д.ф.-м.н. А.Г. Леонова по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. M. Gorbashova, I. Burdonskiy, K. Gubskiy, A. Kuznetsov, A. Ramazanov, K. Lukyanov, A. Leonov, K. Makarov, I. Timofeyev, V. Yufa, «Application of direct optical heterodyning methods for studying the processes of chondrite targets destruction by laser radiation», Journal of Physics Conference Series 941(1):012002 (December 2017).
2. Е. Ю. Аристова, А. А. Аушев, В. К. Баранов, И. А. Белов, С. А. Бельков, А. Ю. Воронин, И. Н. Воронич, Р. В. Гаранин, С. Г. Гаранин, К. Г. Гайнуллин, А. Г. Голубинский, А. В. Городничев, В. А. Денисова, В. Н. Деркач, В.С. Дрожжин, И. А. Еричева, Н. В. Жидков, Р. И. Илькаев, А. А. Краюхин, А. Г. Леонов, Д. Н. Литвин, К. Н. Макаров, А. С. Мартыненко, В. И. Малинов, В. В. Мисько, В. Г. Рогачев, А. Н. Рукавишников, Е. А. Салатов, Ю. В. Скорочкин, Г.Ю. Сморгачев, А. Л. Стадник, В. А. Стародубцев, П. В. Стародубцев, Р. Р. Сунгатуллин, Н. А. Суслов, Т. И. Сысоева, В. Ю. Хатункин, Е. С. Цой, О. Н. Шубин, В. Н. Юфа, «Лазерное моделирование разрушительного воздействия ядерных взрывов на опасные астероиды», ЖЭТФ, 153(1), 157 (Январь 2018).
3. И.Н. Бурдонский, А.Г. Леонов, К.Н. Макаров, В.Н. Юфа, «Экспериментальное исследование лазерной абляции каменных поликристаллических мишеней», Квантовая электроника, 50 (8), 763 (август 2020).
4. И.Н. Бурдонский, А.Г. Леонов, В.Н. Юфа, А.П. Голубь, С.И. Попель, А.М. Садовский, «Подъем пылевых частиц при воздействии лазерного излучения на хондритовую мишень и возможность моделирования плазменно-пылевых процессов у поверхности Луны», Письма в ЖТФ, 46 (20), 47 (Октябрь 2020).