

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Шишпанова Александра Игоревича
“Экспериментальное исследование явлений, происходящих при пробое длинной
разрядной трубки в азоте при низком давлении”, представленную на соискание
ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 - “физика плазмы”

Диссертационная работа А.И. Шишпанова посвящена экспериментальному исследованию электрического пробоя в длинной разрядной трубке, наполненной азотом при давлении порядка 1 Торр. При этом изучаются как процессы под действием единичных импульсов напряжения, так и эффекты памяти, когда импульсы идут достаточно часто друг за другом, и повторный пробой развивается в газовой среде, заметно отличающейся по своим характеристикам от исходного состояния газа. Актуальность таких исследований связана с тем, что тлеющий разряд низкого давления используется на протяжении многих десятилетий в газоразрядных источниках света и электроразрядных лампах, в том числе – в импульсно-периодическом режиме. Кроме того, этот объект давно привлекает внимание исследователей при изучении элементарных процессов с участием заряженных и возбужденных частиц, а также свойств неравновесной слабоионизованной плазмы атомарных и молекулярных газов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, описан объект исследования и основные его задачи, показана научная новизна полученных результатов, дано краткое изложение содержания диссертационной работы, и представлен список печатных работ автора по теме диссертации.

Первая глава представляет собой литературный обзор предыдущих экспериментальных и теоретических исследований электрического пробоя в газах. Рассмотрены классические вопросы лавинного и стримерного пробоя. Особое внимание уделено пробую на основе образования и распространения ионизационной волны. Дано краткое описание эффектов памяти при электрическом пробое с несколькими импульсами напряжения в коротких разрядных промежутках.

Во второй главе описаны экспериментальная установка с газоразрядной трубкой и методики, используемые при проведении исследований. При этом регистрировались токи в цепях заземленного и высоковольтного электродов, напряжение на разрядной трубке и интенсивность излучения разряда. Исследование эффекта памяти на пробое разрядного промежутка осуществлялось при наложении последовательности пар импульсов

напряжения. Скорость волны ионизации, возникающей во время пробоя, определялась оптическими методами.

В третьей главе приведены результаты исследования эффекта «темной фазы» развития положительного столба в тлеющем разряде в азоте. Это явление сводится к образованию паузы в свечении всех спектральных линий и полос из области разрядного промежутка после начального пика в интенсивности излучения во время развития пробоя. Ранее этот эффект наблюдался в инертных газах и был связан с повышенной (по сравнению со стационарным значением) концентрацией электронов, нарабатываемых за счет ионизации в процессах с участием метастабильных атомов. Исследования, выполненные в данной работе применительно к азоту, показали, что в этом случае механизм рассматриваемого явления другой и связан с наработкой избыточной концентрации электронов в волне ионизации, распространяющейся по промежутку. Важно, что эффект темной фазы наблюдался только при положительной полярности напряжения, в отличие от случая инертных газов, где эффект регистрировался при любой полярности. Расчетная модель, созданная сотрудниками ТРИНИТИ, позволила хорошо описать наблюдения автора при отрицательной полярности. Явление же темной фазы, получаемое при положительной полярности, удавалось описать теоретически только при введении в расчет повышенной начальной плотности электронов, которые и должны были нарабатываться в промежутке волной ионизации.

Четвертая глава посвящена описанию результатов исследований характеристик и причин появления узкого пика на переднем фронте импульса тока в цепи заземленного катода при положительной полярности импульса напряжения. Экспериментально показано, что этот пик существует только в цепи заземленного катода и что имеется связь между пиком и излучением из фронта ионизационной волны. На основе оценок сделан вывод о том, что происхождение пика может быть связано с разрядкой распределенной емкости трубки через заземленный катод в момент достижения его волной ионизации, а также с передачей катоду в этот момент объемного заряда фронта волны ионизации.

В пятой главе представлены результаты исследования эффекта памяти при пробое длинной разрядной трубки с азотом. Этот эффект представлял собой зависимость динамического напряжения пробоя от задержки импульса напряжения относительно предыдущего импульса. Эффект памяти исследовался в двух режимах: с использованием последовательности одиночных импульсов и при подаче последовательности пар импульсов напряжения. В режиме с одиночными импульсами при различных периодах следования импульсов получалась как растущая, так и падающая зависимость напряжения пробоя от крутизны переднего фронта импульса. В экспериментах также измерялась

скорость волны ионизации, и была продемонстрирована ее связь с динамическим напряжением пробоя. Одним из наиболее интересных эффектов, полученных в работе, является аномальный эффект памяти, который наблюдался в режиме с парами импульсов при положительной полярности и сводился к тому, что напряжение пробоя вторым импульсом было выше напряжения пробоя первым импульсом. Его объяснение было дано на основе волны ионизации, которая в этих условиях развивалась в первом импульсе и отсутствовала во втором. В результате пробой во время второго импульса был затруднен. Были исследованы условия, в которых наблюдался аномальный эффект памяти. В конце пятой главы были рассмотрены различные механизмы обычного и аномального эффектов памяти. В частности, было предположено, что аномальный эффект памяти возникает из-за того, что при положительной полярности и соответствующих задержках между импульсами волна ионизации не возникает, поскольку в этом случае наличие остаточных электронов от предыдущего импульса приводит к снижению скачка потенциала между анодом и стенкой трубки.

В заключении приведены основные результаты, полученные в данной диссертационной работе. Их новизна и обоснованность не вызывает сомнений.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием надежных экспериментальных методов и хорошим согласием с имеющимися расчетно-теоретическими результатами.

Материал диссертации изложен ясно, диссертация хорошо структурирована и оформлена.

Результаты диссертационной работы опубликованы в журналах из перечня ВАК РФ. Работа в целом является законченным исследованием, направлена на решение важной и актуальной задачи и выполнена на высоком научном уровне. Полученные новые результаты могут быть полезны при проектировании современных источников света на основе разрядных трубок, а также при тестировании расчетно-теоретических моделей явлений, происходящих в неравновесной газоразрядной плазме.

По диссертации можно сделать следующие замечания.

1. Изучавшийся в работе эффект памяти при электрическом пробое газов исследовался ранее применительно к совершенно разным условиям. Так, изучались повторный СВЧ пробой газов, восстановление электрической прочности после образования дуги и разряд молнии, которая обычно включает несколько так называемых компонентов – отдельных разрядов по каналу, оставленному предыдущим разрядом. Все эти явления и их исследования имело бы смысл упомянуть в обзорной главе диссертации.

2. Невозможность развития волны ионизации при достаточно большой плотности

остаточных электронов, наработанных в предыдущем импульсе, связывается в работе с недостаточно большим скачком потенциала между анодом и стенкой разрядной трубки. Следует заметить, что имеются расчетные работы, показывающие затруднение или даже невозможность развития волны ионизации в среде с высокой плотностью остаточных электронов и в отсутствии стенок. Иными словами, может быть несколько иная интерпретация наблюдаемых авторами эффектов.

3. Положения, выносимые на защиту, и новизна исследований содержатся в тексте Введения диссертационной работы. Однако они не представлены в виде отдельных пунктов, как это сделано в автореферате, что несколько затрудняет чтение работы.

Указанные замечания не затрагивают основных выводов работы и не снижают общей высокой ее оценки. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Шишпанов А.И. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08. – физика плазмы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Официальный оппонент

доктор физ.-мат. наук, профессор

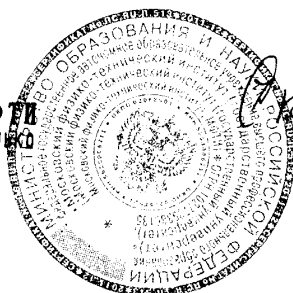
зам. зав. кафедрой прикладной физики

Московского физико-технического института



Н. Л. Александров

ЗАВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УЧЕНОГО СОВЕТА МФТИ
Ю. И. Скалкин



Скалкин