

Август 7, 2019

Отзыв члена диссертационного совета Михаила Наумовича Шнейдера на диссертацию Калинина Сергея Александровича "Исследование процессов электрического пробоя газов в длинных разрядных трубках", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Диссертация С.А.Калинина посвящена экспериментальному изучению процесса зажигания тлеющего разряда в разрядном промежутке, длина которого много больше его поперечного диаметра и размеров электродов. За разрядными объемами такой геометрии в литературе утвердилось название «длинная разрядная трубка». Хотя разряд этой формы как источник неравновесной низкотемпературной плазмы изучается уже более 100 лет, исследование его свойств и протекающих в нем процессов продолжается по настоящее время. Это говорит о том, что еще не всё выяснено в физике (а часто и химии) этих процессов. Тем более это справедливо по отношению к нестационарной стадии установления разряда, и прежде всего к начальному ее этапу – пробую, в результате которого первоначально непроводящий газ становится проводящим. Хотя отдельные работы в этой области велись начиная с конца 30-х годов прошлого века, систематические исследования начались только с конца 80-х, и до настоящего времени картина развития пробоя в длинной трубке остается неполной. В то же время разрядные устройства, имеющие форму длинной трубки, широко распространены. Это газоразрядные источники света, в том числе компактные люминесцентные лампы, газоразрядные лазеры, лампы для накачки активной среды лазеров, лазерные гирокомпасы и др. Это обуславливает актуальность темы диссертации.

Диссертация состоит из пяти глав, введения, заключения и двух приложений. **Во Введении** формулируется тематика и цели работы и обосновывается ее актуальность. **Первая глава** представляет собой обзор литературы по теме исследований. Обзор содержит ссылки на 66 публикаций, покрывающих временной диапазон более 100 лет. **Во второй главе** описывается экспериментальная установка. Созданная диссертантом и использованная в работе аппаратура позволяла проводить комплексные исследования пробойных процессов, регистрируя электрические и оптические характеристики плазмы разряда. Следует отметить современный уровень технического решения конструкции электронных узлов установки, благодаря чему достигнуто высокое временное разрешение и синхронизация работы всех узлов аппаратуры.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процессов пробоя в смеси аргон-ртуть. Такая смесь содержится в осветительных и бактерицидных лампах. Главным результатом этой части работы является прямое подтверждение существования первичного пробоя между высоковольтным электродом и стенкой трубки. Такое подтверждение ранее отсутствовало, хотя его наличие было постулировано еще в 1960 году в основополагающей работе Недоспасова и Новика. Проведенная в диссертации синхронная диагностика электрических и оптических сигналов показала в деталях сценарий развития пробоя и привела к однозначному выводу о существовании первичного пробоя. Еще одним важным результатом является получение оценки напряженности электрического поля в предпробойной волне ионизации с помощью спектроскопической диагностики. Такой метод является неинвазивным, в отличие от ранее использовавшихся электростатических методов.

В четвертой главе представлены результаты исследования обнаруженного в работе "обратного пробоя". Он происходит в разрядной трубке с незаземленным

Вх. N 09/2-356 от 04.09.2019



низковольтным электродом после окончания импульса напряжения питания и, как и первичный пробой, сопровождается прохождением волны ионизации. Эта волна аналогична волне первичного пробоя, но заряд, который она оставляет на стенке трубки, имеет противоположный знак. В результате, как показано в работе, волна обратного пробоя полностью снимает со стенки заряд, оставленный волной первичного пробоя. Следствием этого является обнаруженный в работе эффект, состоящий в том, что повторный импульс напряжения не вызывает первичный пробой, если в промежутке между импульсами не успел произойти обратный пробой. Еще одним интересным результатом является демонстрация того, что начальные стадии пробоя – первичный пробой и прохождение волны ионизации – протекают одинаково для разрядной трубки с заземленным или незаземленным ("плавающим") низковольтным электродом. Это является доказательством правильности современных представлений о механизме пробоя в длинных трубках.

Пятая глава посвящена изучению воздействия электростатического экранирования разрядной трубки на протекание пробоя. Электростатические экраны использовались в большинстве предыдущих исследований пробоя в длинных трубках. Это делалось с целью предотвратить возможное электрическое взаимодействие разряда с окружающим пространством. Но при этом не изучалось и даже не обсуждалось влияние экрана на пробойные процессы. В диссертации показано, что это влияние может быть чрезвычайно сильным и поэтому его необходимо учитывать при анализе результатов предыдущих работ. В **Заключении** формулируются основные результаты, полученные в диссертации. В **Приложении А** приводятся электрические схемы и диаграммы работы электронных узлов установки. В **Приложении Б** описаны детали расчетных электротехнических моделей, описывающих пробой.

К работе могут быть высказаны следующие **замечания**.

1. Из результатов диссертации следует, что при одинаковых условиях скорость положительной волны ионизации больше, чем отрицательной. К сожалению, причины такой закономерности в диссертации не обсуждаются.

2. В литературе по пробоям длинных трубок встречается термин «возвратная» (*return*) волна ионизации. В диссертации не поясняется, в чем ее отличие от волны ионизации обратного (*reverse*) пробоя, обнаруженной в данной работе.

3. Приведенная напряженность электрического поля в волне ионизации, судя по результатам, полученным в работе, достигают величины 500 Таунсенд. Не будет ли заметен в таком поле эффект убегания электронов?

Указанные замечания не снижают бесспорно положительной оценки работы. По моему мнению, диссертация С.А.Калинина "Исследование процессов электрического пробоя газов в длинных разрядных трубках" соответствует критериям, установленным Приказом от 01.09.2016 №6821/1 "О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете", а ее автор Сергей Александрович Калинин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Mikhail Shneider

Mikhail Shneider, PhD, DSc
Senior Research Scholar,
Applied Physics Group,
MAE Department,
Princeton University,
Princeton, NJ 08544
Tel.: 609-258-1022
E-mail: shneyder@Princeton.EDU

(Михаил Шнейдер, д.ф.-м.н.)