

ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

УДК 533. 9: 537. 525

ОМАРОВА НАИДА ОМАРОВНА

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ
ЗАПАЗДЫВАЮЩЕМ ВОЗБУЖДЕНИИ ГЕЛИЯ
В ДЛИННЫХ ТРУБКАХ

Специальность: 01. 04. 04.—физическая электроника

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Махачкала 1997

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Неравновесная и нестационарная плазма, получаемая с помощью наносекундных импульсов в длинных разрядных трубках, находит широкое применение в технике газовых лазеров и других газоразрядных устройств. Пробой газов в таких системах происходит в виде высокоскоростных волн ионизации, распространяющихся от высоковольтного электрода к заземленному [1-3]. Высокие значения амплитуд электрического поля на фронте волны ионизации и отсутствие в наносекундном диапазоне времени существенного нагрева газа приводят к эффективному возбуждению электронных уровней атомов и ионов, определяющих в конечном итоге излучательную способность созданной таким образом плазмы. К настоящему времени достаточно хорошо изучены основные параметры волн ионизации в таких разрядах. Выявлены основные закономерности, которым подчиняются скорости волн ионизации, разобраны механизмы и времена их формирования, установлено, что при высоких амплитудах напряжений на фронте волны ионизации формируются электронные пучки и связанное с ними рентгеновское излучение [4-6].

Несмотря на значительное число исследований электрических характеристик таких разрядов в литературе практически отсутствуют работы по кинетике процессов возбуждения за фронтом волны ионизации и формированию оптического излучения такой плазмы. Между тем при разработке эффективных активных сред газовых лазеров весьма важными являются механизмы релаксации энергии быстрых электронов и выявление основных факторов, влияющих на релаксацию заселенностей возбужденных состояний атомов в условиях запаздывающего возбуждения газа

Наличие в функции распределения электронов по энергиям анизотропной части, связанной с пучковой составляющей, может привести к поляризации атомных состояний и наведению когерентности в процессах электронного возбуждения атомов [7]. Насколько нам известно, в литературе практически отсутствуют работы, посвященные таким исследованиям в наносекундных разрядах и, в частности, при запаздывающем возбуждении газа. Теоретические исследования в подобных условиях затруднительны как из-за нестационарности плазмы, так и из-за большого числа учитываемых процессов. Поэтому значительный интерес представляет экспериментальное исследование поляризационных свойств оптического излучения разряда в условиях волнового пробоя.

Целью диссертационной работы являлось:

- разработка методов комплексной диагностики плазмы наносекундных разрядов, созданной при запаздывающем возбуждении;
- построение модели формирования оптического излучения продольного наносекундного разряда и исследование поляризационных характеристик

спонтанного излучения в условиях запаздывающего возбуждения при средних давлениях газа;

-исследование кинетики процессов релаксации в плазме, созданной волновым пробоем газа.

Методы исследования: В соответствии с целями данной работы были использованы следующие экспериментальные методы:

1. Концентрация свободных, электронов оценивалась по проводимости на основе вольт-амперных характеристик, измеренных методом осциллографирования, скорости, коэффициенты затухания и структура фронтов ионизирующих волн градиента потенциала (ИВГП) изучались методом емкостных зондов.

2. Концентрации метастабильных атомов измерялись методами реабсорбции оптического излучения и лазерной абсорбционной спектроскопии.

3. Характеристики оптического излучения плазмы исследовались методами лучеиспускания и поляризационной спектроскопии

Научная новизна. В работе впервые:

-развита комплексная методика исследования процессов запаздывающего возбуждения газов, включающая в себя методы емкостных зондов, осциллографирования разряда, оптической, в том числе лазерной и поляризационной спектроскопии;

-проведено детальное экспериментальное и теоретическое исследование процессов запаздывающего возбуждения гелия в диапазоне давлений газа 1-100 Торр. Показано, что при больших коэффициентах затухания ИВГП спонтанное излучение разряда обладает асимметрией по отношению к различным концам разрядной трубки. Прослежена динамика процессов формирования заселенностей метастабильных уровней атомов при запаздывающем возбуждении газа;

-установлено, что электроны, ускоренные на фронте волны ионизации, наводят когерентность в процессах электронного возбуждения атомов и, как следствие, спонтанное излучение разряда в начальных стадиях имеет степень поляризации до 40 %. Проанализированы особенности формирования группы быстрых электронов и поляризационных характеристик оптического излучения разряда в центральных и периферийных областях разрядной трубки.

Практическая ценность. Разработанную в работе методику комплексного исследования процессов запаздывающего возбуждения газа можно использовать для диагностики мощных продольных наносекундных разрядов в широком диапазоне изменения условий в последних.

Полученные в работе новые сведения о динамике и механизмах формирования оптического излучения разряда в гелии можно использовать при разработке как ионизационных, ток и рекомбинационных газовых

лазеров, в которых используются плазменно-пучковые разряды, а также других газоразрядных технических устройств.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на VIII Всесоюзной конференции по физике низкотемпературной плазмы (Минск, 1991); I и II Международных конференциях по физике и технике плазмы (Минск, 1994, 1997), на научно-практической конференции молодых ученых ДГУ (Махачкала, 1996).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации 130 страниц, включая 3 таблицы и 29 рисунков. Библиография содержит 100 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена актуальность проблемы, дано обоснование выбора темы диссертации, перечислены решаемые в работе задачи и кратко изложены основные результаты.

Первая глава представляет собой краткий литературный обзор работ, посвященных исследованию высокоскоростных волн ионизации в длинных трубках и релаксационных процессов в плазменно-пучковых разрядах. В §1.1 кратко описаны основные свойства и особенности высокоскоростных волн ионизации. Рассмотрены различные теоретические модели, описывающие процессы формирования и распространения ИВГП. Приведены экспериментальные и теоретические закономерности, которым подчиняются скорости распространения ИВГП и формирование ее фронта. Отмечается, что волновой пробой имеет общие черты с пучковыми разрядами. В §1.2 описаны основные модели энергетической релаксации группы быстрых электронов в плазме, и рассмотрены особенности процессов возбуждения в условиях анизотропии функции распределения электронов по энергиям, обусловленной наличием группы быстрых электронов. В частности, кратко рассмотрены процессы поляризации атомных состояний, вызванные как процессами анизотропной накачки, так и релаксации. Проведенный анализ имеющихся в литературе работ показывает, что в то время как достаточно хорошо как теоретически, так и экспериментально изучены электрические характеристики ИВГП, отсутствуют работы, где проводилось бы детальное экспериментальное исследование кинетики формирования оптического излучения при запаздывающем возбуждении газа. Насколько нам известно, в литературе нет работ, в которых исследовались бы поляризационные характеристики оптического излучения при волновом пробое газов.

Вторая глава посвящена описанию комплексных методов исследования процессов запаздывающего возбуждения газа. Исследуемый разряд

происходит в стеклянных трубках длиной около 50 см с внутренним диаметром 2 и 4 мм, снабженных внутренними электродами в виде полых цилиндров. Разрядные трубки помещались в алюминиевые экраны диаметрами 1 и 2 см. Между экраном и заземленным электродом включался шунт из сопротивления типа ТВО величиной 50 Ом.

Характеристики ИВГП измерялись методом емкостных зондов. Для этих целей вдоль разрядной трубки устанавливались несколько емкостных датчиков, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. С целью исключения влияния краевых эффектов крайние датчики устанавливались от границ экрана на расстоянии, превышающем двойной диаметр металлического экрана. Сигналы с емкостных датчиков регистрировались с помощью широкополосного осциллографа типа С1-75.

Для возбуждения разряда использовались генераторы высоковольтных импульсов напряжения двух типов. Один из них вырабатывал импульсы напряжения в виде отрицательной ступеньки с регулируемой амплитудой 4 - 20 кВ с длительностью переднего фронта около 10 нс. В качестве коммутирующего устройства в этом ГИН использовался тиратрон типа ТГИ 2500/35. Второй генератор был собран по трансформаторной схеме с импульсным трансформатором с ферритовым сердечником, собранным по коаксиальной схеме. В качестве коммутирующего устройства в этом ГИН использовался керамический тиратрон типа ТГИ1-1000/25.

Концентрация метастабильных атомов измерялась методом лазерной абсорбционной спектроскопии и модификацией метода реабсорбции излучения - методом одного плоского зеркала за трубкой. Эти методы в своих традиционных формах к условиям запаздывающего возбуждения неприменимы. В условиях волнового пробоя длина поглощающего слоя в начальный момент времени не совпадает с геометрической длиной разрядной трубки. Поскольку волна ионизации формируется вблизи высоковольтного электрода и распространяется со скоростью v в сторону заземленного электрода, то толщина столба плазмы растет со временем по закону $l = vt$ до момента перекрытия волной ионизации разрядного промежутка. Это обстоятельство учитывалось при измерении концентрации возбужденных атомов. В методе лазерной абсорбционной спектроскопии в качестве источника зондирующего излучения использовался лазер на красителе, накачка которого производилась газоразрядным азотным лазером по поперечной схеме накачки. В этом методе для определения толщины поглощающего слоя с помощью емкостных датчиков измерялась скорость ИВГП по времени задержания сигналов с двух разных емкостных датчиков. При больших скоростях ИВГП, когда время перекрытия волной ионизации разрядного промежутка было менее 10 - 15 нс, возникали технические трудности, связанные с синхронизацией разряда с зондирующим лазером. В этих условиях измерения проводились по методу одного плоского зеркала за

трубкой путем измерения полного поглощения по контуру спектральной линии излучения, отраженного от зеркала, установленного за трубкой.

Система регистрации состояла из спектрографа типа ДФС-452 со специально установленной на выходе щелью с микрометрическим винтом с дифракционной решеткой 1200 штр/мм, ФЭУ, осциллографа С1-75 и системы цифровой регистрации. С целью уменьшения погрешностей измерений разряд зажигался с частотой повторения 50 Гц, и измерения проводились путем усреднения сигнала по большому числу импульсов. Концентрации метастабильных атомов оценивались с использованием кривых роста путем измерения полного поглощения на длинах волн HeI 388,9 нм и 501,6 нм. Для спектральной линии HeI 388,9 нм учитывалась тонкая структура, обусловленная наличием трех компонент для верхнего уровня данного спектрального перехода.

Для исследования временного хода свечения спектральных линий сигнал с ФЭУ подавался по согласованному на омическую нагрузку 50 Ом кабелю на осциллограф типа С1-75 и фотографировался с его экрана.

При исследовании состояния поляризации оптического излучения на входе спектрографа устанавливались поляризатор и система из различных диафрагм. Эти диафрагмы позволяли регистрировать излучение как из центральных областей трубки, так из периферии вблизи диэлектрических стенок. Градуировка поляризатора осуществлялась по неполяризованному излучению от лампы накаливания.

Для измерения оптического излучения поперек трубки рядом с емкостными датчиками устанавливались оптические датчики в виде отрезков световодов.

Концентрация электронов оценивалась по проводимости плазмы с использованием измеренных осциллограмм напряжения и тока разряда.

Третья глава посвящена описанию результатов экспериментального исследования процессов запаздывающего возбуждения в гелии.

В работе стояла задача экспериментального исследования основных параметров процесса волнового пробоя и проведение анализа кинетики формирования оптического излучения на основе результатов такого исследования.

В §3.1 представлены электрические и электрокинетические характеристики наносекундного разряда. Были выполнены детальные исследования параметров ИВГП в гелии с использованием указанных выше двух типов ГИН в диапазоне давления газа 1 - 100 Тор и амплитудах напряжения до 40 кВ. Использование импульсов напряжения в виде ступеньки без осцилляции, характерных для трансформаторных схем, позволило исключить наложение повторных импульсов возбуждения на импульсы, отраженные от концов трубки. В процессе распространения

длительность фронта ИВГП уменьшалась. Так, при давлении гелия 15 Тор на расстоянии 30 см длительность фронта уменьшилась с 10 нс до ~ 3 нс. При некоторых условиях за фронтом волны ионизации наблюдались осцилляции, частота и амплитуда которых были различны на разных расстояниях от высоковольтного электрода. Характерная частота этих осцилляции составляла величину около 5×10^7 Гц. В исследованных условиях скорость ИВГП, в зависимости от давления газа и амплитуды напряжения, менялась в диапазоне ($10^8 - 2 \times 10^9$) см/с. При фиксированном напряжении зависимость скорости ИВГП от давления газа проходила через максимум в области давлений 10-12 Тор. Зависимости скорости ИВГП от амплитуды напряжения при фиксированном давлении газа были близки к линейному закону. Как правило, при минимальных коэффициентах затухания ИВГП наблюдались до трех отраженных от электрода импульсов. Величина коэффициента отражения от заземленного электрода регулировалась изменением сопротивления нагрузки, включенной на конце длинной линии, образованной разрядной трубкой и экраном

Оценки плотности электронов за фронтом волны ионизации дали величину порядка 10^{12} см⁻³ для импульсов напряжения в виде ступеньки и $\sim 10^{13}$ см⁻³ для трансформаторной схемы ГИН.

Экспериментальные результаты исследования релаксации оптического излучения разряда представлены в § 3.2. Поскольку оптическое излучение, регистрируемое с торцов трубки, является интегральным по длине трубки, то наряду с такими исследованиями изучалось оптическое излучение поперек трубки на различных расстояниях от высоковольтного электрода. С целью исключения влияния отраженных от электродов вторичных волн ионизации в ряде экспериментов были реализованы условия, при которых в трубке распространялась только прямая волна ионизации. Экспериментально установлено, что при больших коэффициентах затухания ИВГП (при больших давлениях газа) спонтанное излучение на длине волны HeI 388,9 нм имело асимметрию по отношению к различным концам разрядной трубки. Излучение, выходящее со стороны высоковольтного электрода, было более интенсивным, чем излучение, выходящее со стороны заземленного электрода. Исследование излучения поперек трубки показало, что длительность импульсов излучения вдоль трубки больше, чем поперек трубки. При больших коэффициентах затухания ИВГП формы импульсов излучения на различных расстояниях от высоковольтного электрода отличались друг от друга. Исследование зависимости степени асимметрии излучения от времени показало, что к концу импульса эта величина растет.

Детальное исследование релаксации оптического излучения показало, что при некоторых условиях наблюдаются два характерных времени релаксации. Примерно через 50-60 нс относительно медленный спад

интенсивности излучения сопровождается почти скачкообразным его уменьшением.

Релаксация заселенностей метастабильных состояний атомов HeI (2^3S) и HeI (2^1S) исследовалась по полному поглощению спектральных линий с длинами волн $\lambda_1 = 388.9$ нм и $\lambda_2 = 501.6$ нм. Во всех исследованных условиях плотность метастабильных атомов HeI (2^1S) была почти на порядок меньше плотности атомов HeI (2^3S). С увеличением амплитуды напряжения абсолютные значения концентраций метастабильных атомов возрастали и в максимуме составили величину $\sim 10^{13}$ см $^{-3}$. Следует отметить, что с ростом амплитуды напряжения возрастали как скорость роста концентраций метастабильных атомов в начале импульса, так и скорость их спада в конце импульса. В зависимости от амплитуды напряжения и давления газа спад плотности метастабильных атомов наблюдался через $\sim 100 - 150$ нс после начала их роста.

Заметим, что при больших давлениях газа неоднородности разряда вдоль трубки были существенными. Однако из-за зондирования разряда вдоль трубки измеренные значения плотности метастабильных атомов являются усредненными по длине трубки.

В §3.3 приведены результаты исследования поляризационных характеристик спонтанного излучения разряда. Эти исследования были выполнены для четырех разрешенных спектральных линий HeI с длинами волн $\lambda = 396.4$ нм, 492.1 нм, 587.6 нм и 388.9 нм. Экспериментально установлено, что в исследованных условиях:

-спонтанное излучение для всех указанных линий частично поляризовано и степень поляризации для разных спектральных линий отличается друг от друга как по величине, так и по знаку;

-для спектральных линий с длинами волн 396.4 нм и 492.1 нм, соответствующих синглетным разрешенным переходам, степень поляризации имеет локальный максимум в области давлений 10-12 Тор. В этой области давлений скорость ИВГП также принимает максимальное значение;

-степень поляризации излучения в начальных стадиях разряда принимает максимальное значение и далее уменьшается к концу импульса;

-степень поляризации излучения из центральных областей разряда слегка отличается от степени поляризации из пристеночных областей трубки;

-с ростом давления газа степень поляризации излучения из поздних стадий разряда уменьшается в несколько раз по сравнению с начальными стадиями.

В качестве иллюстрации характерные зависимости степени поляризации двух спектральных линий HeI с длинами волн $\lambda_1 = 492.1$ нм и $\lambda_2 = 587.6$ нм представлены на рис. 1,2.

Четвертая глава посвящена анализу и обсуждению полученных экспериментальных результатов. В §4.1 рассмотрена динамика

формирования оптического излучения при запаздывающем возбуждении газа. Теоретически проанализирован процесс формирования оптического излучения спектральных линий при запаздывающем возбуждении газа. Учитывались как затухание волны ионизации в процессе распространения, так и неоднородности реабсорбции излучения вдоль трубки. Получены соотношения для интенсивностей излучения, выходящих с различных концов разрядной трубки. Теоретически показано, что неоднородности распределения яркости потока и коэффициента поглощения вдоль трубки, обусловленные волновым механизмом пробоя, могут привести к асимметрии спонтанного излучения.

Для частного случая, когда неоднородности распределения первичной яркости потока $f(x)$ и коэффициента поглощения $\varphi(x)$ вдоль трубки описываются экспоненциальными функциями

$$f(x,t) = \exp(-\gamma_1 x),$$

$$\varphi(x,t) = \exp(-\gamma_2 x),$$

получены аналитические формулы для яркости потока, выходящего со стороны высоковольтного $K_v(\nu)$ и заземленного $K_n(\nu)$ электродов:

$$K_v = \frac{K_1}{\gamma_1} \left(1 - \frac{\chi_0 \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \right),$$

$$K_n = \frac{K_1}{\gamma_1} \left(1 - \frac{\chi_0 \gamma_1}{\gamma_2 + \gamma_1} \right).$$

Здесь $K_1(\nu)$ и $\chi_0(\nu)$ - яркость излучения единицы объема и коэффициент поглощения вблизи высоковольтного электрода, γ_1 и γ_2 - постоянные, характеризующие неоднородность распределения яркости потока и коэффициента поглощения вдоль трубки.

Приведено сравнение результатов теоретического анализа с экспериментально обнаруженными закономерностями. В частности, отмечается, что величина асимметрии должна расти к концу импульса излучения.

В §4.2 дается анализ поляризационных явлений при запаздывающем возбуждении газа высокоскоростными волнами ионизации. Рассмотрены отдельно интенсивности излучения параллельной (I_{\parallel}) и перпендикулярной (I_{\perp}) составляющих для разрешенных спектральных переходов, верхние

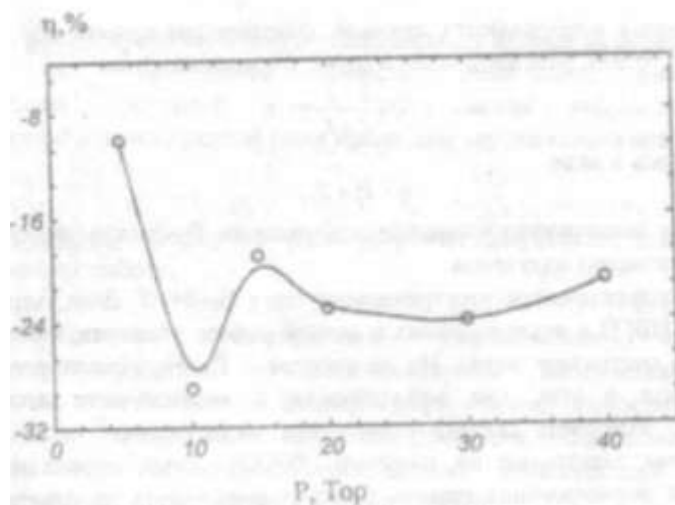


Рис. 1. Зависимость степени поляризации излучения HeI ($\lambda = 492.1\text{nm}$) вдоль разрядной трубки от давления газа. Амплитуда напряжения 16 кВ.

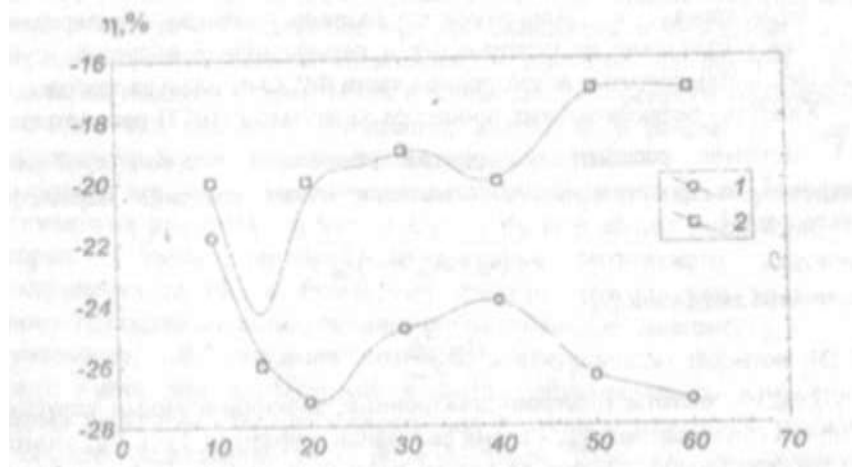


Рис.2. Зависимость степени поляризации излучения He ($\lambda = 587.6\text{nm}$) вдоль периферии разрядной трубки от давления газа, для первого (1) и второго (2) максимумов излучения.

уровни которых возбуждаются прямым электронным ударом из основного состояния. Степень линейной поляризации, определяемая как

$$\eta = \frac{I - I_{\parallel}}{I + I_{\perp}},$$

представлялась в виде

$$\eta = P_0 + P_f,$$

где P_0 – вклад анизотропии процессов возбуждения, P_f - вклад электрического поля в поляризацию излучения.

Для напряженности электрического поля $E_0 \sim 8 \cdot 10^4$ В/см, характерной для фронта ИВГП в исследованных в данной работе условиях, показано, что величина P_f составляет менее 1% от величины P_0 . На основе этих оценок сделан вывод о том, что наблюдаемая в эксперименте поляризация оптического излучения связана с наличием анизотропной части функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ). Далее проанализированы особенности формирования группы быстрых электронов на фронте ИВГП. Получен критерий синхронизованного движения свободных электронов с фронтом ИВГП и отмечается, что в этих условиях начальный разброс быстрых электронов по энергиям минимален. Этим фактором объясняется наблюдаемый в эксперименте максимум степени линейной поляризации оптического излучения в зависимости от давления газа.

Наблюдаемая в эксперименте разница степени поляризации оптического излучения из центральных и периферийных областей трубки объясняется зависимостью анизотропной части ФРЭЭ от радиуса трубки.

Кинетика релаксационных процессов за фронтом ИВГП рассмотрена в §4.3. Детально рассмотрены времена релаксации энергии свободных электронов за фронтом волны ионизации путем введения параметров релаксации [8]

$$k = \nu_{ee} + \delta \nu_{em} + \nu^* \bar{\tau}_{df}$$

и параметра диффузии [9]

$$P = \frac{\Gamma_{\delta}}{\Gamma_{ион}},$$

где ν_{ee} , ν_{em} , ν^* - частоты электрон-электронных, электрон-атомных упругих и неупругих столкновений; τ_{df} - время свободной диффузии, Γ_{δ} и $\Gamma_{ион}$ - потоки быстрых электронов и ионов на стенки разрядной трубки. Показано, что в исследованных условиях режим формирования ФРЭЭ является нелокальным. Непосредственно за фронтом ИВГП в процессе релаксации анизотропной части ФРЭЭ могут реализоваться условия смены режима диффузии $P > 1$ на режим $P < 1$, что вызывает скачкообразное уменьшение величины пристеночного потенциала. Этим механизмом объясняются обнаруженные в эксперименте два характерных времени релаксации оптического излучения.

Далее рассмотрена кинетика метастабильных атомов за фронтом ИВГП. Показано, что характерные времена релаксации заселенностей метастабильных состояний атомов объясняются столкновительными процессами при доминирующей роли процессов ступенчатого возбуждения и ионизации.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. Развита методика комплексного исследования продольного наносекундного разряда с запаздывающим возбуждением газа, включающая в себя методы осциллографирования, емкостных зондов, оптической и поляризационной спектроскопии. Предложен способ измерения плотности возбужденных атомов, позволяющий учитывать неодновременность ионизации газа вдоль трубки.
2. Выполнены детальные исследования динамики формирования оптического излучения продольного наносекундного разряда в гелии в диапазоне давлений газа 1 - 100 Тор и амплитудах напряжения до 40 кВ. Обнаружен и исследован эффект асимметрии спонтанного излучения по отношению к различным концам разрядной трубки. Построена модель формирования импульса спонтанного излучения при запаздывающем возбуждении газа.
3. Установлено, что быстрые электроны, ускоренные на фронте волны ионизации, наводят когерентность в процессах электронного возбуждения атомов, и, как следствие, спонтанное излучение в начальных стадиях разряда имеет степень линейной поляризации до 40%.
4. Показано, что при запаздывающем возбуждении газа существуют оптимальные значения параметра E/p на фронте волны ионизации, при которых степень линейной поляризации оптического излучения спектральных линий, возбуждаемых прямым электронным ударом из основного состояния атома, принимает максимальное значение.
5. Установлено, что релаксация оптического излучения за фронтом ИВГП может иметь два характерных времени, обусловленных изменением режима диффузии быстрых электронов к стенкам разрядной трубки в результате релаксации анизотропной части функции распределения электронов по энергиям.
6. Прослежена кинетика метастабильных атомов за фронтом ИВГП и показано, что повторные волны ионизации уменьшают плотность метастабильных атомов.

Цитируемая литература:

1. Асиновский Э.И., Василяк ЯМ, Марковец В.В. // ТВТ, 1983. Т.21, №3.- С.577-590.
2. Лагарьков А.Н., Руткевич И.М. Волны электрического пробоя в ограниченной плазме.-М. Наука, 1989 - 207 с.
3. Синкевич О.А., Трофимов Ю.Б.// ДАН СССР, 1979. Т.249, №3.-С. 579-600.
4. Дашук П.Н., Кулаков СЛ.// Письма в ЖТФ, 1981. Т.7, №21.- С. 1315-1320.
5. Амиров Р.Х., Асиновский Э.И., Марковец В.В и др.: Препринт ИВТАН, №3-183. М. 1986 33 с.
6. Василяк Л.М., Костюченко СВ., Кудрявцев Н.Н., Филюгин И.В.// УФН, 1994. Т.164, №3.-С.263-292.
7. Александров Е.Б., Хвостенко Г.И., Чайка М.П. Интерференция атомных состояний - М.: Наука, 1987. 256 с.
8. Цендин Л.Д., Голубовский Ю.Б.//ЖТФ, 1977 Т.47-№9 - С1839-1851.
9. Демидов В.И., Колоколов Н.Б., Торонов О.Г. // Физика плазмы, 1986. Т. 12, Вып.6-С 702-707

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Омарова Н.О., Таибов К.Т. Релаксация возбуждения в наносекундном разряде в гелии в условиях волнового пробоя// В сб.: Материалы VIII Всесоюзной конференции по ФНТ1 Минск. 1991.-С 87-88.
2. Ашурбеков Н.А., Курбанисманлов В.С., Омаров О.А., Омарова Н.О., Таибов К.Т. Лазерная методика диагностики процессов волнового пробоя.// В сб.: Материалы I Международной конференции по физике и техники плазмы. Минск. 1994.-С.97-98.
3. Ашурбеков Н.А., Омарова Н.О., Таибов К.Т. Способ измерения плотности возбужденных атомов в продольном наносекундном разряде.// Патент РФ №2082963. Приоритет от 24 мая 1994г.
4. Ашурбеков Н.А., Омарова Н.О., Иванова Е.В. Структура фронта волны ионизации в гелии.// Вестник ДГУ. 1996. №1. С. 14-16.
5. Ашурбеков Н.А., Омарова Н.О., Курбанисманлов В.С. Особенности формирования оптического излучения при запаздывающем возбуждении газа // Вестник ДГУ.1997.№1.-С8-14.
6. Ашурбеков Н.А., Омарова Н.О., Соколенко А.В. Влияние неоднородностей среды на процессы поглощения лазерного излучения.// В сб: Материалы научной конференции молодых ученых ДГУ Махачкала. 1996.-С. 113-115.
7. Ашурбеков Н.А., Иминов К.О., Курбанисмаилов В.С., Омаров О.А., Омарова Н.О. Динамика формирования оптического излучения наносекундного разряда // В сб.: Материалы II Международной конференции по физике и технике плазмы. Минск. 1997.-С. 167-168.

Наида Омаровна Омарова

КИНЕТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕМ ВОЗБУЖДЕНИИ ГЕЛИЯ В ДЛИННЫХ
ТРУБКАХ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

*Редактор И.Магомедова
Корректор Т.Фомичева*

Подписано в печать 14.11.97
Печать офсетная.
Тираж 100 экз.

Формат 60x84 1/16
Усл.п.л. 1 0
Заказ № Уч.-Изд. 0,9

Издательско-полиграфический центр ДГУ
г.Махачкала, ул. 26 Бакинских комиссаров, 59е