

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе СПбГУ

/С.В. Аплонов/

2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Диссертация «Радиационные эффекты в неравновесной плазме дуговых и тлеющих разрядов» выполнена на кафедре оптики Санкт-Петербургского государственного университета.

В период подготовки соискатель Каланов Дмитрий Валерьевич обучался в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на кафедре оптики.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2017 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Голубовский Юрий Борисович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Настоящая работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию влияния эффектов пленения и реабсорбции излучения на свойства неравновесной плазмы дуговых и тлеющих разрядов, а также разработке новых техник расчета интегрального уравнения переноса излучения.

Для выполнения поставленных целей были поставлены и решены следующие конкретные задачи:

1. Предложен новый оригинальный метод решения уравнения Холстейна-Бибермана, который позволяет рассматривать источники плазмы произвольной трехмерной конфигурации, что делает возможным его применение в широком спектре задач, связанных с моделированием источников неравновесной

газоразрядной плазмы. Предложен эффективный алгоритм параллельного расчета задачи с использованием графических вычислительных процессоров (GPU).

2. Впервые предложена многоуровневая столкновительно-радиационная модель плазмы в аргоне, позволяющая корректно учесть пленение резонансного излучения.

3. Проанализировано влияние переноса резонансного излучения на пространственные распределения резонансных, метастабильных и высоковозбужденных атомов в дуговой плазме.

4. Впервые выполнено самосогласованное моделирование явления контракции положительного столба с учетом пленения резонансного излучения и неоднородного разогрева газа. Продемонстрированы преимущества используемого подхода в сравнении с традиционным методом установления решения нестационарной задачи.

5. Проанализирован круг вопросов, связанных с измерениями распределений возбужденных атомов с высоким пространственным разрешением в объемных источниках плазмы. Выполнено сравнение способов регистрации с помощью фотоумножителей и CCD/CMOS-камер.

6. Выполнены модификация и сравнение методов классической абсорбции и метода Line Ratios для измерения заселенностей метастабильных и резонансных атомов по излучению и поглощению спектральных линий. Выяснены достоинства и недостатки данных методов применительно к пространственным измерениям.

7. Показано влияние радиационного переноса на радиальные распределения параметров контрагированного шнура и непрерывную вольт-амперную характеристику разряда. Выполнена валидация модели путем сравнения с экспериментом.

8. Систематизирована имеющаяся информация по матричному методу для спектральных линий в геометриях плоского слоя и бесконечного цилиндра. Выведены формулы для расчетов коэффициентов матрицы переноса для этих геометрий как в предположении однородного коэффициента поглощения, так и при наличии неоднородности, а также для произвольных коэффициентов поглощения.

Все результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем лично, либо в соавторстве при его непосредственном участии.

Материалы, вошедшие в диссертацию, докладывались на 33ей и 32ой международной конференциях по явлениям в ионизованных газах (XXXIII ICPIG, Lisbon, Portugal, 2017; XXXII ICPIG, Iasi, Romania, 2015), на 23ей европейской конференции по физике атомов и молекул в ионизованных газах (XXIII ESCAMPIG, Bratislava, Slovakia, 2016), на 20ой и 21ой международных конференциях по газовым разрядам и их приложениями (20th GD, Orléans, France, 2014; 21th GD, Nagoya, Japan, 2016), на 21ом и 22ом симпозиумах по физике электрических дуг (XXI FSO и XXII FSO, Nové Město na Moravě, Czech Republic, 2015 и 2017), на международной конференции DPG-2014 (Berlin, Germany, 2014), а также конференциях "Peterhof Workshop on Laser Physics (Saint Petersburg, Russia, 2014) и Science and Progress (Saint Petersburg, Russia, 2013 и 2012).

Опубликовано 7 статей в журналах списка ВАК и индексируемых базами данных Web of Science и Scopus:

1. D. Kalanov, Y. B. Golubovskii, D. Uhrlandt, and S. Gortschakow, "Advanced approach for radiation transport description in 3D collisional-radiative models," *Plasma Phys. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 112–115, 2017.
2. D. Kalanov, Y. B. Golubovskii, S. Gortschakow, and D. Uhrlandt, "Ray tracing method for description of radiation trapping in 3D plasma domains," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 50, p. 425204, 2017.
3. Y. B. Golubovskii, D. Kalanov, and V. A. Maiorov, "Radial structure of the constricted positive column: Modeling and experiment," *Phys. Rev. E*, vol. 96, no. 2, p. 23206, 2017.
4. Y. B. Golubovskii, D. Kalanov, S. Gortschakow, M. Baeva, and D. Uhrlandt, "Excited atoms in the free-burning Ar arc: treatment of the resonance radiation," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 49, no. 47, p. 475202, 2016.
5. S. Gorchakov, M. Baeva, Y. B. Golubovskii, D. Kalanov, and D. Uhrlandt, "Effect of Resonance Radiation Trapping on the Excited State Densities in Free-Burning Arc Plasmas," *Plasma Phys. Technol.*, vol. 2, no. 1, p. 21, 2015.
6. Y. B. Golubovskii, D. Kalanov, M. Baeva, S. Gorchakov, and D. Uhrlandt, "Effect of trapping of resonance radiation in a free-burning Ar arc," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 48, no. 22, p. 225203, 2015.
7. Y. B. Golubovskii, D. Kalanov, S. Gorchakov, and D. Uhrlandt, "Nonlocal electron kinetics and spectral line emission in the positive column of an argon glow discharge," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 24, pp. 2–5, 2015.

Диссертация «Радиационные эффекты в неравновесной плазме дуговых и тлеющих разрядов» Каланова Дмитрия Валерьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Проект заключения принят на заседании экспертной группы, сформированной решением декана факультета от 28.03.2018 №24 в составе 3 чел.

Присутствовало на заседании 22 чел. Результаты голосования: «за» - 22 чел., «против» - 0, «воздержался» - 0, протокол №1 от «30» марта 2018 г.



(подпись председателя экспертной группы)

(Иванов Владимир Александрович)

(доктор физико-математических наук, профессор,
кафедра оптики, СПбГУ)