

В диссертационный совет Д 212.267.04
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Сорокина Дмитрия Алексеевича
«Оптические свойства плазмы высоковольтного наносекундного разряда,
инициируемого убегающими электронами, и ее применение»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика

В настоящее время большое внимание уделяется разработке газоразрядных источников низкотемпературной плазмы атмосферного давления. Интерес к таким источникам связан с широким полем приложений неравновесной плазмы: источники спонтанного УФ и ВУФ-излучения, эксимерные лазеры, стационарные и импульсные источники термоядерных (D-D и D-T) нейтронов и т.д.

Одним из перспективных методов создания неравновесной плазмы в плотных газах (при атмосферном давлении и выше) является высоковольтный наносекундный разряд, инициируемый убегающими электронами (ВНРУЭ) (в литературе для обозначения такого разряда обычно используется аббревиатура ОРИПЭЛ). Данный тип разряда позволяет создать достаточно однородную неравновесную плазму атмосферного давления в заметных объемах – единицы-десятки см³.

Диссертационная работа Д.А. Сорокина посвящена исследованию основных параметров параметров ВНРУЭ (концентрация и температура электронной компоненты, температура колебательных, вращательных и поступательных степеней свободы газовой компоненты, приведенная напряженность электрического поля в плазме), спектральных и усилительных свойств плазмы ВНРУЭ в бинарных смесях инертных газов (Ar-Kr, Ar-Xe) в зависимости от парциального давления компонент смеси, а также исследованию возможности использования ВНРУЭ в качестве импульсного генератора термоядерных D-D нейтронов с длительностью импульса ~ 1 нс. Отметим, что задачи создания низкорогового газоразрядного узкополосного источника ВУФ-излучения, а также ВУФ-лазера, и источника D-D нейтронов с малой длительностью импульса представляют значительный практический интерес, поэтому актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

В результате проведенных исследований Д.А. Сорокиным определены значения основных параметров плазмы высоковольтных наносекундных разрядов в плотных газах, инициируемых убегающими электронами.

Так, им измерены плотности электронов (на уровне 10^{15} см^{-3}) в гелиевой и аргоновой плазме диффузного разряда ($P_{\text{He}} = 1-6 \text{ атм}$; $P_{\text{Ar}} = 0,5-2 \text{ атм}$), возбуждаемого однократными и периодическими наносекундными импульсами напряжения амплитудой 250 и 50 кВ соответственно. В случае импульсного и импульсно-периодического наносекундного диффузного разряда в азоте атмосферного давления определены электронная концентрация, приведенная напряженность электрического поля, а также электронная, колебательная, вращательная и газовая температуры.

Важным результатом, полученным в диссертации, является экспериментальное доказательство того, что плазма высоковольтного ($U = 250 \text{ кВ}$) наносекундного разряда в бинарной смеси Ar-Xe при давлении 400 Торр и содержании ксенона 1 % проявляет усилительные свойства в отношении узкополосного излучения вблизи длины волны 147 нм (длинноволновый пик, который в диссертации ассоциируется с излучением гетероядерного димера ArXe*).

Интересным является зарегистрированное автором испускание нейтронов на уровне $\cdot 10^4$ нейтронов за импульс в результате DD-реакции, протекающей в условиях высоковольтного разряда с убегающими электронами в дейтерии при давлении доли-единицы Торр. Наиболее важным результатом представляется получение импульса нейтронов рекордно малой длительности – на уровне $\sim 1 \text{ нс}$, что на порядок меньше длительности импульса нейтронов, которая может быть достигнута с помощью плазменного фокуса (длительность импульса 10-40 нс, максимальный выход D-D нейтронов около 10^{11} за импульс).

Результаты исследований опубликованы и доложены на международных научных конференциях.

По автореферату диссертации можно сделать следующие замечания:

1) в автореферате на стр. 13 указано, что при определении температуры электронов плазмы использовалось максвелловское распределение электронов по скоростям. Известно, что для установления в плазме максвелловского распределения необходимо выполнение условий $1/v_{ee} \ll \tau$ и $v_{ee} \gg v_{ea}$, где τ - характерная длительность импульса тока, v_{ee} и v_{ea} - частота столкновений электронов с электронами и нейтральными частицами. В автореферате показано, что характерное время установления максвелловского распределения электронов составляет $1/v_{ee} \sim 1 \text{ нс}$, т.е. первое условие выполняется. Проверка выполнимости второго условия в автореферате отсутствует;

2) на стр. 18 автореферата указано, что при возбуждении смеси Ar-Xe ВНРУЭ (длина катода-лезвия 30 мм) при установке на одном из выходных торцов Al зеркала наблюдалось увеличение интенсивности ВУФ-излучения примерно в 3 раза. Такое увеличение интенсивности в автореферате объяснено эффектом усиления ВУФ-излучения гетероядерного димера ArXe*

при увеличении «эффективной» длины активной среды (за счет установки зеркала). Однако чуть выше было отмечено, что увеличение длины катод-лезвия с 30 до 50 мм не происходит заметного увеличения интенсивности ВУФ-излучения, что странно, ведь в данном случае длина активной среды также возросла почти в два раза. Объяснение этого расхождения в автореферате не приведено.

3) на стр. 19 автореферата представлены оптимальные условия для получения максимального выхода D-D нейтронов – $1,2 \cdot 10^4$ нейтронов за импульс. Необходимо отметить, что для возможности практического использования нужно обеспечить выход нейтронов на уровне 10^6 и выше (лучше 10^8 , как в нейтронных источниках типа ИНГ-03, ИНГ-031 и т.д. производства ВНИИАМ им. Н.Л. Духова). Имеются ли пути повышения выхода D-D нейтронов при использовании ВНРУЭ? В автореферате такой информации нет.

В целом, судя по автореферату, диссертация представляет собой законченное целенаправленное исследование, выполненное на высоком научно-техническом уровне, и содержит ряд важных экспериментальных результатов, которые имеют несомненное практическое значение. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Д.А. Сорокин безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук специальности 01.04.05 – Оптика.

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

Начальник научно-исследовательского отдела ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
специальность по диплому 03.03.01 – прикладные математика и физика
Алексей Александрович Пикулев
607190, Россия, Нижегородская область, г. Саров, ул. Мира 37, ФГУП
«РФЯЦ-ВНИИЭФ»
www.vniief.ru
Телефон: 8 (950) 60-56-826
E-mail: pikulev@expd.vniief.ru


10.11.2015 /А.А. Пикулев/

Подпись А.А. Пикулева заверяю

Ученый секретарь федерального государственного унитарного предприятия «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)

доктор физико-математических наук




11.11.2015

А.Н. Сизов