

## ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию **Мандура Мохамед Махсуб Махсуб Махсуба** на тему: «Investigation of photoplasma in mixtures of sodium vapor with inert gases based on 2D simulation» («Исследование фотоплазмы в смесях паров натрия с инертными газами на основе 2D моделирования»), представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы

Диссертационная работа Мандура М. М. М. М. посвящена исследованию фотоплазмы, создаваемой в смеси паров натрия с инертными газами в разрядной камере, состоящей из двух ячеек. Фотоплазма является особым физическим объектом. Ее свойства (характеристики) заметно отличаются от свойств «классически» получаемой плазмы (термической, газоразрядной) – большие концентрации электронов при их низкой температуре, – что сразу делает ее чрезвычайно интересным объектом исследования. К этому следует добавить довольно широкое использование фотоплазмы в научных и практических приложениях (лазерное разделение изотопов, создание ионных источников, ионная имплантация и очищение поверхностей сплавов, исследование ультрахолодной плазмы), и, конечно же, использование фотоплазмы в попытках преобразования энергии в электрическую (тепловую) при поглощении оптического (солнечного) излучения. Все это, безусловно, делает диссертационную работу автора чрезвычайно **актуальной** как с научной, так и с практической точки зрения.

Методом исследования выбрано 2D моделирование с использованием COMSOL Multiphysics Plasma Module. В рассмотрение включены все наиболее важные процессы, определяющие свойства рассматриваемой плазмы и включающие в себя фотовозбуждение атомов щелочного металла, пленение излучения, Пеннинговскую, ассоциативную и ступенчатую ионизации, диссоциативную и ударно-радиационную рекомбинации, упругие и неупругие столкновения электронов с атомами.

Основные результаты диссертации, обладающие несомненной **новизной**, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Впервые описана феноменология создания фотоплазмы при поглощении немонахроматического излучения в смеси паров натрия с инертными газами.
2. Показано, что двухкамерная ячейка более подходит для создания электродвижущей силы в фотоплазме по сравнению с однокамерной ячейкой в широком диапазоне давления инертного газа вне зависимости от конфигурации однокамерной ячейки.
3. Впервые проведено детальное описание плазмохимических процессов, участвующих в формировании исследуемой фотоплазмы. В рассмотрение включены процессы переноса заряда и излучения, что позволяет проводить разработку и оптимизацию фотоэлектрических конвертеров, содержащих пары атомов щелочных металлов. Показано, что смесь натрия-аргон является наиболее оптимальной с научной и коммерческой точки зрения.
4. Представлено описание нового явления – наличие электронных вихрей в стационарно генерируемой двумерной фотоплазме.

Без сомнений можно утверждать, что аспирант проделал большую работу. Собраны и проанализированы данные по константам процессов атом-атомных и атом-электронных столкновений в фотоплазме в смеси натрия с инертными газами, построена численная модель такой фотоплазмы. Автором предложена модель двухкамерного преобразователя

солнечного излучения в электричество на основе исследуемой фотоплазмы и рассчитаны характеристики такого фотоэлемента. Показано, что двухкамерная конструкция разряда оказывается более оптимальной по сравнению с однокамерной. Особо следует отметить тот факт, что в диссертации впервые проведен анализ плазмохимических фотопроцессов, включающих в себя возбуждение атомарных уровней от основного до высоколежащих, рождение молекулярных ионов с участием атомов щелочных металлов, поглощение резонансного излучения, различные процессы ионизации и рекомбинации, упругие и неупругие столкновения электронов с атомами.

Характеризуя диссертационную работу Мандура М. М. М. М. в целом, можно заключить, что она производит очень хорошее впечатление. Прежде всего, следует отметить прекрасный обзор результатов предыдущих исследований, который показывает нерешенность целого ряда вопросов при теоретическом и экспериментальном изучении фотоплазмы. Далее, необходимо отметить прекрасно сформулированные задачи исследования, интересные и важные полученные научные и практические результаты работы, которые в том числе включают в себя и новые обнаруженные явления (возникновение электронных вихрей).

По работе имеются некоторые **замечания**.

1. Работа носит в значительной степени расчетный характер. Поэтому более широкое сравнение с результатами экспериментальных работ украсило бы работу.
2. Используемая модель достаточно сложная, использующая большое количество включенных в модель элементарных констант, скоростей процессов и т.п. Возникает вопрос об устойчивости модели к вариациям этих вводимых извне параметров.
3. Для меня не вполне ясна причина возникновения электронных вихрей в стационарной во времени фотоплазме. Хотелось бы иметь физическое объяснение этого нового явления.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не отражаются на общей положительной оценке работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в научных журналах, рекомендованных ВАК, доложены на международных и российских научных конференциях. Работа характеризуется новизной подходов и достоверностью получения результатов. Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание диссертации, тема и материалы которой соответствуют специальности 01.04.08- «Физика плазмы». Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы в научных организациях, где исследуются газовые разряды сложной конфигурации и разрабатываются модели для описания фотоплазмы: СПбГУ, МГУ им. М. В. Ломоносова, Новосибирский ГУ и др. Результаты исследований могут также использоваться в преподавании дисциплин: физика плазмы, физика газового разряда, элементарные процессы в плазме, моделирование плазмы газового разряда.

Диссертационная работа Мандура М. М. М. М. представляет собой законченное научное исследование, соответствующее критериям, установленным «Порядком присуждения в Санкт-Петербургском государственном университете учёной степени кандидата наук, степени доктора наук», согласно Приказу от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Пункт 11 указанного Порядка не нарушен. Считаю, что соискатель **Мандур Мохамед**

**Махсуб Махсуб Махсуб** заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 - Физика плазмы.

Председатель диссертационного совета  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой оптики



Н.А. Тимофеев

31 мая 2021 г.