

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИМКЭС СО РАН, доктор
биологических наук, профессор РАН

Е. А. Головацкая

20 ноября 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института мониторинга климатических и экологических проблем
Сибирского отделения Российской академии наук
на диссертацию **Панарина Виктора Александровича**
**«Транзиентные оптические явления, инициируемые потенциальным
каналом импульсного разряда в воздухе, азоте, гелии и аргоне»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Диссертационная работа Панарина В. А. посвящена выявлению природы транзиентных световых явлений (ТСЯ), инициируемых потенциальным каналом импульсного разряда.

Актуальность исследования обусловлена тем, что открытие апокампического разряда (далее – апокамп) и доказательство сходства получаемых при этом плазменных струй с известными в атмосферной оптике феноменами голубых струй и стартеров в средней атмосфере является по существу переходом к этапу лабораторного исследования природных оптических явлений, связанных с атмосферным электричеством.

Структура и объем работы. Диссертационная работа Панарина В. А. состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Она содержит 151 страницу текста, 63 рисунка, 3 таблицы и список литературы из 228 наименований.

Во **введении** обозначена цель и дано обоснование актуальности диссертационной работы; определён круг решаемых в ней задач; сформулированы выносимые на защиту научные положения, указаны их новизна, научная и практическая значимость.

В первой главе автором представлен обзор, содержащий сведения о классификации существующих источников плазменных струй атмосферного давления, которые представляют собой весьма сложный объект для исследований и характеризуются скоротечностью отдельных актов образования и прохождения волн ионизации, а также разнообразием плазмохимических реакций в зонах образования и распространения плазмы.

Вторая глава посвящена описанию методов и экспериментальных установок получения устойчивых плазменных струй в широком диапазоне электрофизических параметров, а также способам регистрации образования и развития транзитных явлений с разрешением, достаточным для получения необходимых сведений о их динамике, спектрально-временных характеристиках и составе продуктов распада плазмы исследуемых разрядов.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований условий формирования транзитных явлений в воздухе при атмосферном давлении. Показано, что канал разряда становится источником визуально наблюдаемых световых струй, если на один из электродов подаются импульсы напряжения положительной полярности с частотой повторения – единицы-десятки кГц, а канал разряда имел естественный или принудительный изгиб. Установлено, что в воздухе при нормальных условиях апокамп формируется вблизи максимума импульса напряжения, причем важную роль играет тепловыделение в канале разряда. Полученные данные были использованы для моделирования апокампа в предположении, что он представляет собой аналог положительного стримера. В этой же главе представлены экспериментальные данные об эмиссионных спектрах апокампа в воздухе, гелии и аргоне. Спектр апокампа в воздухе при атмосферном давлении содержит полосы N_2 , N_2^+ . Для закрытого разряда подача аргона или гелия на межэлектродный промежуток приводила к трансформации спектров апокампа: для гелия основными излучающими компонентами являются He, N_2 , N_2^+ , а также O и OH; для аргона – в выходящем из сопла тонком отростке идентифицируются преимущественно компоненты Ar и N_2 , а в диффузной части струи основной вклад вносят Ar, N_2 и N_2^+ . Экспериментально показано, что формирование апокампа в воздухе сопровождается образованием NO_2 .

Четвёртая глава посвящена анализу соответствия оптических характеристик апокампа и некоторых типов ТСЯ в средней атмосфере. Для этого была создана установка для зажигания апокампа при пониженных давлениях,

соответствующих высотам природных ТСЯ. По данным лабораторного моделирования ТСЯ в средней атмосфере (эксперименты с объёмными, стримерными и потенциальными разрядами) сделан вывод о том, что наиболее перспективным для указанной цели является использование потенциальных разрядов. Область, в которой формируются протяженные стримеры в воздухе, лежит в диапазоне давлений $20 < p < 120$ Торр. В атмосфере Земли этому ориентировочно соответствуют высоты $17 < h < 25$ км. В атмосфере голубые струи состоят из яркого канала и сравнительно слабого свечения на его продолжении. Именно эта структура была зарегистрирована в экспериментах при давлениях $8 < p < 30$ Торр, что соответствует высотам от 20 до 30 км, т.е. тем высотам, до которых регистрируются голубые струи. Получены оценки скорости лабораторных стримеров при различных напряжениях: от 150 до 220 км/с, что по порядку величины совпадает со скоростями распространения голубых струй в атмосфере. Установлено, что и в лабораторном эксперименте, и в расчётах, и в природе визуально наблюдаемый цвет струй и спрайтов определяется давлением атмосферы и зависит от отношения интенсивности излучения полосы $2P\ N_2$ и красной компоненты полосы $1P\ N_2$ и изменяется при изменении давления от синего (ниже 40 км) до красного (выше 50 км).

В **Заключении** суммированы основные результаты диссертационной работы:

Научная новизна и практическая ценность.

1. Открыт феномен апокампического разряда, расширяющий номенклатуру световых явлений атмосферной оптики и физики газового разряда, выявлены условия его образования в воздухе при нормальном и пониженном атмосферном давлении. Показано, что для формирования стабильного апокампа в воздухе при нормальных условиях необходимо несколько тысяч пробоев газоразрядного промежутка, и установлено, что апокамп следует описывать как развитие положительного стримера.

2. Установлен спектральный состав элементов апокампического разряда (канал разряда, отросток, область диффузной струи) в воздухе, азоте, аргоне и гелии при нормальном и пониженном атмосферном давлении, выявлена динамика процесса формирования апокампа и показано, что струи апокампа формируются как набор плазменных пуль, движущихся со скоростями от 100 до 220 км/с.

3. Установлено, что в воздухе, при низких давлениях, плазменные струи в режиме с апокампом обладают теми же свойствами, что и транзиентные световые явления в средней атмосфере (голубые струи и стартеры).

4. Предложен способ получения плазменной струи, упрощающей конструкцию источника и позволяющий получать плазменные струи атмосферного давления в воздухе без принудительной прокачки воздуха.

Положения, выносимые на защиту, находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 34 публикациях (19 из которых представлены в журналах из списка ВАК, а 16 – в научных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus), 1 коллективной монографии и 2 патентах. Представленные результаты докладывались на международных конференциях.

Достоверность результатов обусловлена воспроизводимостью феномена апокампа, использованием стандартных методов спектрометрии, совпадением параметров плазменных струй в режиме апокампа с параметрами голубых струй и стартеров при систематизации данных лабораторных и космических наблюдений.

Недостатки работы и замечания. По представленной работе имеются следующие замечания.

1. В первом защищаемом положении указано « ... *канал разряда имеет естественный или принудительный изгиб ...* ». В работе утверждается, что для экспериментов в условиях открытого разряда оптимальным является угол между осями электродов $\alpha \sim 120^\circ$, а в случае закрытого разряда – $\alpha \sim 140-160^\circ$. Однако отсутствует описание тех экспериментов, которые позволили установить данные значения углов. Остается также неясным, меняется ли эта величина (а если меняется, то как) в зависимости от изменения давления и диаметра трубки.

2. В работе неоднократно подчеркивается, что возбуждение апокампа возможно лишь после интенсивного прогрева разрядного промежутка, и приводится серия подтверждающих экспериментов с изменяющимся числом разрядов N (числом пробоев между электродами). Однако прогрев этого промежутка определяется не только напряжением U_p и числом разрядов N , но и длительностью каждого из них. В диссертации анализ зависимости числа разрядов N , необходимого для возбуждения апокампа, от длительности разряда отсутствует.

3. Представляется не вполне обоснованным выбор элементов участка цепи, находящейся под плавающим потенциалом (стр. 39–40, рис. 3.1).

4. При анализе спектра апокампа (табл. 3.1), помимо интенсивных линий, принадлежащих азоту и исследуемым газам (гелий и аргон), зарегистрированы линии Ne (640,2; 703,2; 724,5 нм). В какой из смесей газов присутствует неон, какова его концентрация, как он может повлиять на спектральные характеристики – об этом в работе нет ни слова.

5. При постановке экспериментов по исследованию спектров апокампа, возбуждаемого закрытым разрядом в окружающей установке смеси воздуха и исследуемых газов (гелий и аргон), нигде не приводятся данные о процентном содержании отдельных компонент газовой смеси. Указана только оптимальная скорость подачи газа в разрядную трубку (1 л/мин). Почему она именно такая – в работе не обсуждается.

6. На рис. 3.19 и 3.20 приведена информация о необходимом числе импульсов для возбуждения апокампа при давлениях 3/5 и 1 атмосфера. Вряд ли является целесообразным помещение в работе двух идентичных рисунков, если влияние на возбуждение апокампа разницы в давлениях здесь никак не обсуждается.

7. В тексте диссертации и автореферата встречаются неудачные выражения, синтаксические ошибки, например: в выводах к Главе 3 (стр. 85) есть п. 6, но нет п. 5; в автореферате (стр. 15) в описании рис. 10 есть «7 – *диэлектрическая пластина*», а на самом рис. 10 её нет, хотя в диссертации (стр. 46, рис. 3.6) она присутствует; на рис. 3.21 (стр. 63) шкала градаций приведена вверху слева, а не вверху справа (как указано в подписи к рисунку).

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки выполненного диссертационного исследования и не влияют на высокую научную значимость полученных автором основных результатов.

Заключение. Содержание диссертации, выдвинутые научные положения и сформулированные выводы дают основание считать, что цель исследования достигнута, а поставленные в диссертации задачи успешно решены. Диссертация Панарина Виктора Александровича «Транзиентные оптические явления, инициируемые потенциальным каналом импульсного разряда в воздухе, азоте, гелии и аргоне» является научно-квалификационной работой, полностью соответствующей требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01 октября 2018 г.), а её автор, В. А. Панарин, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Автореферат диссертации в полной мере отражает её содержание, а опубликованные работы раскрывают основные положения диссертационного исследования.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании лаборатории физики климатических систем ФГБУН Института мониторинга климатических и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук 30 октября 2018 г., протокол № 38.

Научный руководитель лаборатории
физики климатических систем ИМКЭС СО РАН,
доктор физико-математических наук
(специальность 01.04.05 – Оптика),
профессор

Ипполитов Иван Иванович

20 ноября 2018 г.

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический 10/3

Телефон: (3822) 49-22-65

Адрес электронной почты: post@imces.ru

Адрес официального сайта: <http://www.imces.ru>

Подпись И. И. Ипполитова удостоверяю

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН,

кандидат технических наук



О. В. Яблокова