

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.04, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 30 января 2019 года публичной защиты диссертации Панарина Виктора Александровича «Транзиентные оптические явления, инициируемые потенциальным каналом импульсного разряда в воздухе, азоте, гелии и аргоне» по специальности 01.04.05 – Оптика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 20 из 25 членов диссертационного совета, в том числе 8 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика:

- | | |
|--|----------|
| 1. Майер Г. В., доктор физико-математических наук, профессор, председатель диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 2. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук, профессор, заместитель председателя диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 3. Пойзнер Б. Н., кандидат физико-математических наук, профессор, учёный секретарь диссертационного совета, | 01.04.03 |
| 4. Артюхов В. Я., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, | 01.04.21 |
| 5. Беличенко В. П., доктор физико-математических наук, доцент, | 01.04.03 |
| 6. Дмитренко А. Г., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 7. Донченко В. А., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 8. Кабанов М. В., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 9. Козырев А. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 10. Кузнецова Р. Т., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 11. Лосев В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 12. Самохвалов И. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 13. Солдатов А. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 14. Соснин Э. А., доктор физико-математических наук, | 01.04.05 |
| 15. Тарасенко В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 16. Улеников О. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 17. Фисанов В. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 18. Черепанов В. Н., доктор физико-математических наук, доцент, | 01.04.05 |
| 19. Шандаров С. М., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 20. Юдин Н. А., доктор технических наук, старший научный сотрудник, | 01.04.21 |

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – 1) диссертационный совет принял решение присудить В. А. Панарину ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.04,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук
аттестационное дело № _____**

решение диссертационного совета от 30.01.2019 № 154

О присуждении **Панарину Виктору Александровичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Транзиентные оптические явления, инициируемые потенциальным каналом импульсного разряда в воздухе, азоте, гелии и аргоне»** по специальности **01.04.05 – Оптика** принята к защите 20.09.2018 (протокол заседания № 147) диссертационным советом **Д 212.267.04**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012).

Соискатель **Панарин Виктор Александрович**, 1962 года рождения.

В 1988 г. соискатель окончил Томский Орден Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени государственный университет им. В. В. Куйбышева.

В 2018 г. соискатель очно окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук.

Работает в должности инженера лаборатории оптических излучений в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории оптических излучений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной

электроники Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – **Соснин Эдуард Анатольевич**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория оптических излучений, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Закревский Дмитрий Эдуардович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория мощных газовых лазеров, заведующий лабораторией

Синица Леонид Никифорович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория молекулярной спектроскопии, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Томск, в своём положительном отзыве, подписанном **Ипполитовым Иваном Ивановичем** (доктор физико-математических наук, профессор, лаборатория физики климатических систем, научный руководитель лаборатории), указала, что актуальность диссертационного исследования В. А. Панарина обусловлена тем, что открытие апокампического разряда (апокампа) 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. Соискателем 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; 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 пульс, движущихся со скоростями от 100 до 220 км/с; 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); предложен способ получения плазменной струи, упрощающей конструкцию источника и позволяющий получать плазменные струи атмосферного давления в воздухе без принудительной прокачки воздуха.

Соискатель имеет 96 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 34 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 19 работ (из них в зарубежных научных журналах, входящих в Web of Science и Scopus, опубликовано 5 работ; в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science и Scopus, опубликовано 10 работ; в российском научном журнале, входящем в Scopus, опубликована 1 работа), коллективная монография опубликована 1, в прочих научных журналах опубликовано 4 работы, в сборниках материалов международных и всероссийской с научным участием научных конференций опубликовано 8 работ (из них в сборниках материалов конференций, входящих в Web of Science и Scopus, опубликовано 2 работы), патентов Российской Федерации получено 2. Общий объем работ – 14,13 а.л., личный вклад автора – 4,84 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:

1. Скакун В. С. Формирование апокампического разряда в условиях атмосферного давления / В. С. Скакун, **В. А. Панарин**, Д. С. Печеницин, Э. А. Соснин, В. Ф. Тарасенко // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. – Т. 59, № 5. – С. 92–95. – 0,38 / 0,3 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Skakun V. S. Formation of an apokampic discharge under atmospheric pressure conditions / V. S. Skakun, **V. A. Panarin**, D. S. Pechenitsyn, E. A. Sosnin, V. F. Tarasenko // Russian Physics Journal. – 2016. – Vol. 59, № 5. – P. 707–711. – DOI: 10.1007/s11182-016-0825-5.

2. Соснин Э. А. Феномен апокампического разряда / Э. А. Соснин, В. С. Скакун, **В. А. Панарин**, Д. С. Печеницин, В. Ф. Тарасенко, Е. Х. Бакшт // Письма в журнал экспериментальной и технической физики. – 2016. – Т. 103, вып. 11–12. – С. 857–860. – DOI: 10.7868/S0370274X16120055. – 0,32 / 0,09 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Sosnin E. A. Phenomenon of Apokamp Discharge / E. A. Sosnin, V. S. Skakun, **V. A. Panarin**, D. S. Pechenitsin, V. F. Tarasenko, E. K. Baksht // JETP Letters. – 2016. – Vol. 103, № 12. – P. 761–764. – DOI: 10.1134/S0021364016120146.

3. Соснин Э. А. Моделирование голубых струй и стартеров с помощью апокампа, формируемого при пониженных давлениях воздуха / Э. А. Соснин, **В. А. Панарин**, В. С. Скакун, В. Ф. Тарасенко // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, № 10. – С. 855–858. – DOI: 10.15372/AOO20161009. – 0,33 / 0,15 а.л.

4. Sosnin E. A. Dynamics of apokamp-type atmospheric pressure plasma jets / E. A. Sosnin, **V. A. Panarin**, V. S. Skakun, E. K. Baksht, V. F. Tarasenko // The European Physical Journal D. – 2017. – Vol. 71, № 2. – Article number 25. – 6 p. – DOI: 10.1140/epjd/e2016-70466-0. – 0,53 / 0,17 а.л. (*Web of Science*).

5. **Панарин В. А.** Лабораторная демонстрация в воздухе красных и голубых диффузных мини-струй / В. А. Панарин, В. С. Скакун, Э. А. Соснин, В. Ф. Тарасенко // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 3. – С. 243–252. – DOI: 10.15372/AOO20170310. – 0,33 / 0,16 а.л.

На автореферат поступили 9 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **С. В. Автаева**, д-р физ.-мат. наук, доц., старший научный сотрудник

лаборатории физики лазеров сверхкоротких импульсов Института лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, *с замечаниями*: В пункте 3 Положений, выносимых на защиту, сказано, что оба феномена (апокампы и голубые стартеры и струи) обладают сходными – по диапазону ($\lambda \sim 280\text{--}800$ нм) и структуре максимумов – спектрами люминесценции. Поскольку речь идет о самостоятельных разрядах, по крайней мере, в случае импульсно-периодического разряда, и отсутствии внешнего источника возбуждения, то правильнее говорить не о люминесценции апокампа, а о его излучении. Там же в пункте 4 говорится, что «С уменьшением давления $\langle \dots \rangle$ увеличивается вклад в синюю часть спектра за счет полосы $N_2^-(B2 \rightarrow X2)$, вклад в красную и оранжевую части спектра увеличивается за счет полосы $N_2(B3 \rightarrow A3)$, а соотношение второй положительной к первой положительной системе азота 2P/1P снижается». Здесь надо уточнить, что переходы $N_2^-(B2 \rightarrow X2)$ и $N_2(B3 \rightarrow A3)$ соответствуют системам полос, и речь идет о соотношении интенсивностей полос второй и первой положительных систем азота. В разделе «Научная ценность» в пункте 7 сказано «Установлено, что химическим маркером прогрева, достаточного для появления апокампа в воздухе при нормальных условиях, служит запуск термохимических механизмов образования NO_2 », и больше в автореферате ничего об этом не сказано. Надо было это утверждение пояснить в автореферате, например, привести реакцию(и) и метод контроля ее(их) начала.

2. **Н. А. Ашурбеков**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физической электроники, проректор по научной работе и инновациям Дагестанского государственного университета, г. Махачкала, *с замечаниями*: Было бы желательно оценить погрешности измерения температуры плазменной струи, поскольку на этих данных базируется определение механизма формирования стабильного апокампа. Автор при измерении температуры плазменной струи использовал контактный метод без детального анализа возможных при этом погрешностей измерений, когда датчик температуры соприкасается с плазменной струей. Аналогичные измерения температуры плазменной струи, используемой в плазменной медицине, в ряде других работах проводятся обычным термометром на основе температурного расширения.

3. **Г. Н. Зверева**, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры № 5 Физики и химии Санкт-Петербургского государственного

университета гражданской авиации, *с замечаниями*: Автор представляет апокамп как абсолютно новое явление, в то же время указывает на существование аналогичных явлений в атмосфере, а также устанавливает его связь с плазменными пулями, что представляется нелогичным. Из автореферата непонятно, какие технические применения потенциально возможны для данного типа разряда.

4. **Б. А. Козлов**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры «Электронные приборы» Рязанского государственного радиотехнического университета, *без замечаний*.

5. **А. Н. Малинин**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры квантовой электроники Ужгородского национального университета (Украина), *без замечаний*.

6. **В. Н. Очкин**, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник отдела оптики низкотемпературной плазмы Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, г. Москва, *с замечаниями*: Термин «транзиентные» есть воспроизведение англоязычного слова, которое имеет русскоязычные адекватные переводы; автору приходится его расшифровывать, например, «скоротечные» (а можно было бы – «переходные», «нестационарные», «импульсно-периодические» и т.п.). В разделе «Научные положения» написано, что канал разряда служит источником «световых струй» ...» – вряд ли это удачно. Говоря о возможных аналогиях с явлениями, уже наблюдавшимися и наблюдаемыми в атмосфере Земли в летных и спутниковых экспериментах, следовало бы привести пример(ы), когда (и где) условия в них близки к условиям лабораторных экспериментов. Встречаются опечатки, неточности. Например, ТСЯ используется то в единственном, то во множественном числе, и трудно понять, идёт речь о конкретном явлении или какой-то их совокупности. Аналогично: «открыт феномен апокампического разряда, расширяющих номенклатуру», «гипотезы, предложенной сотрудником Г.В.Найдисом и Н.Ю.Бабаевой», «использовали двумерная» и т.д. Есть ссылка на рис.3.25в (с. 17), а такого рисунка нет; *и с вопросами*: Часто используется термин «потенциальный канал разряда». Бывают разряды с каналом без потенциала? В выражении «по мере удаления от сопла» не ясно, о каком сопле речь?

7. **В. Л. Паперный**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой общей и космической физики Иркутского государственного университета, *с замечанием*: Недостаточно внимания уделено физическим

аспектам изучаемого явления, в частности, из автореферата остается неясным механизм формирования апокампа: какова роль изгиба разрядной струи, чем определяется размер поперечного сечения и длина струи, каковы причины принципиально дискретного характера разряда и чем определяется скорость плазменных сгустков («пульс»), и т.д. 8. **К. М. Фирсов**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры лазерной физики Волгоградского государственного университета, *без замечаний*. 9. **В. А. Ямшиков**, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, директор филиала Института электрофизики и электроэнергетики РАН, г. Москва, *с вопросом*: В работе предложено описать апокамп как развитие стримера. При этом необходимо, чтобы на один из электродов были поданы импульсы напряжения положительной полярности. Как это согласуется с тем, что обычный стример может развиваться при разных полярностях напряжения на электродах? *и с замечанием*: Следует обратить внимание, что, помимо сходства плазменных струй, формируемых в режиме апокампиического разряда и ТСЯ, отмеченного в автореферате, также имеется их сходство с разрядом в воздухе, основанным на комбинации импульсно-периодического барьерного разряда и коронного разрядов в трехэлектродной системе. Такой разряд выглядит в виде голубой плазменной завесы, перекрывающей протяженный воздушный промежуток (см., например, Zastawny H. et al., 2008; Sosa R. et al., 2009).

В отзывах указывается, что интерес к направлению диссертационного исследования В. А. Панарина определяется широким кругом фундаментальных и прикладных задач, связанных с исследованием разряда в газах, разработкой методов бесконтактной диагностики газов и молекул в возбужденных и ионизированных состояниях и др. Образование протяженных световых струй в местах изгиба потенциального канала импульсно-периодического разряда (апокамп) было обнаружено в лаборатории оптических излучений Института сильноточной электроники СО РАН, соискатель – в числе авторов данного открытия. Работа В. А. Панарина является началом изучения данного принципиально нового физического явления в области оптики и газового разряда, требующего широкомасштабного и очень тщательного изучения с целью детального выяснения механизмов его формирования, развития и гибели с последующим

определением наиболее приемлемых областей применения. Автором проведены систематические исследования импульсного разряда в канале с изгибом в различных газовых средах, выявлены условия образования протяженных световых струй в таком разряде, изучена динамика и спектральные характеристики образующихся струй; процесс развития плазменной струи изучен экспериментально с помощью методов высокоскоростной визуализации и теоретически в рамках стримерной модели; получены спектры различных частей апокампа в воздухе, азоте и инертных газах; доказано сходство апокампа с аналогичными явлениями в средней атмосфере. Полученные результаты объясняют природу обнаруженного явления. Диссертационная работа В. А. Панарина вносит существенный вклад в оптику, спектроскопию газовых сред и оптику сред при внешних воздействиях. Полученные результаты могут быть использованы в учебной литературе по физике атмосферы и газового разряда. Экспериментальная установка для исследования особенностей формирования апокампиического разряда позволит делать качественные выводы о динамике развития явления без использования техники высокоскоростной оптической визуализации, а способ построения профилей интенсивности излучения апокампиического разряда позволит качественно судить о процессах тепловыделения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Д. Э. Закревский** – известный специалист в области создания физико-технических основ, исследования и реализации лазерных источников и фундаментальных вопросов физики газового разряда; **Л. Н. Сеница** – высококвалифицированный специалист в области спектроскопии внутри- и межмолекулярных взаимодействий; на базе **Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН** проводятся исследования атмосферного электричества, климатических и геофизических систем, в том числе на основе оптических и радиоволновых методов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан экспериментальный метод получения протяженных плазменных структур в местах изгиба плазменного канала импульсно-периодического разряда;

введены понятия и соответствующие термины «апокамп» и «апокампиический разряд» для характеристики нового явления;

получена новая экспериментальная информация об условиях формирования и спектрах апокампиического разряда в воздухе, азоте, аргоне и гелии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

раскрыты существенные признаки явления, отличающие его от других оптических и электрических явлений;

применительно к проблематике диссертации результативно использована модель положительного стримера при описании диффузной части апокампа с учётом экспериментальных данных о пространственно-временных параметрах формирования апокампа и тепловыделения в канале разряда;

изложены доказательства визуального и оптического сходства лабораторного апокампиического разряда и транзиентных световых явлений средней атмосферы Земли.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработан способ получения плазменной струи атмосферного давления, который упрощает конструкцию источника, не требует принудительной прокачки воздуха и газовых сред, содержащих смеси легкоионизируемых газов с электроотрицательными газами;

предложен подход к лабораторному моделированию транзиентных световых явлений, который облегчает и ускоряет получение физических данных;

получены данные о спектральном составе и продуктах распада плазмы апокампа, полезные для постановки новых научных экспериментов и практических приложений явления.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Полученные результаты могут быть применены для моделирования природных явлений средней атмосферы и могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведений в курсах лекций по методологии эксперимента.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность результатов исследования обосновывается воспроизводимостью найденного феномена в указанных условиях не хуже 90 %;

использованы современные оптические методы и методики регистрации спектров и высокоскоростной оптической съемки быстропротекающих явлений; для моделирования использована современная программная среда BOLSIG+;

приведено сравнение полученных линий He, N₂, N₂⁺, O, OH и Ar в диапазоне длин волн 280-1100 нм с известными спектральными данными NIST Atomic Spectra Database;

выявлено согласие измеренных значений скорости волн ионизации в воздухе при нормальных условиях с величинами, полученными другими авторами; параметров апокампа с параметрами голубых струй и стартеров, полученных в наземных и космических наблюдениях за ними.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

обнаружено явление апокампиического разряда и выявлены условия его образования в воздухе, азоте и аргоне;

установлен спектральный состав элементов апокампиического разряда (канал разряда, отросток, область диффузной струи) в воздухе, азоте, аргоне и гелии;

найден пять признаков сходства апокампов и транзиентных световых явлений средней атмосферы Земли (голубых стартеров и струй);

установлен состав продуктов распада плазмы апокампиического разряда в воздухе при нормальных условиях;

установлено, что химическим маркером прогрева, достаточного для появления апокампа в воздухе при нормальных условиях, служит запуск термохимических механизмов образования NO₂.

Личный вклад соискателя состоит в: участии в постановке задач исследования; самостоятельном планировании и проведении экспериментов, создании экспериментальных установок, относящихся к определению условий устойчивого образования апокампиического разряда, определению спектрального состава и морфологии явления, в подготовке материалов для научных публикаций и выступлений на конференциях.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, состоящей в установлении условий образования нового оптического и электрического явления – транзиентных световых явлений, возникающих на изгибе канала импульсно-периодического разряда, для формулировки гипотезы относительно их природы и выявления их аналогов в природе, имеющей значение для развития атмосферной оптики.

На заседании от 30.01.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Панарину В. А.** учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель

диссертационного совета

Майер Георгий Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета

Пойзнер Борис Николаевич

30.01.2019