

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.223.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ИМ. А. М. ПРОХОРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 06 октября 2025 г. № 33

О присуждении Осипову Антону Владиславовичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Лазерный синтез линейных углеродных структур» по специальности 1.3.19. Лазерная физика принята к защите 07 апреля 2025 г. (протокол заседания № 25) диссертационным советом 24.1.223.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (119991 ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, д. 38, приказ о выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук» от 12.12.2023 г. № 2290/нк).

Соискатель Осипов Антон Владиславович, 18 июня 1987 года рождения. В 2010 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет» с присвоением степени магистра техники и технологии по направлению «Оптотехника». В 2013 году закончил обучение в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых" по направлению подготовки 03.06.01 — Физика и астрономия по научной специальности 01.04.21 — Лазерная физика (физико-математические науки).

Соискатель работает в должности начальника управления проектными командами Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича

Столетовых", Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре физики и прикладной математики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Кучерик Алексей Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе и цифровому развитию Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Хайдуков Евгений Валерьевич

доктор физико-математических наук, проректор по науке и инновациям федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Поляков Дмитрий Сергеевич

кандидат физико-математических наук, доцент, научный сотрудник Института Лазерных Технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

дали положительные отзывы о диссертации со следующими замечаниями:

1. Замечания Хайдукова Е.В.:

- 1) В работе отсутствует сравнение с альтернативными методами синтеза углеродных цепей. Диссертация позиционирует лазерный синтез как превосходящий другие методы, но не проводит систематического сравнительного анализа. Насколько эффективен предложенный двухстадийный метод по сравнению с химическими методами? Каковы преимущества лазерного подхода и недостатки (стоимость, масштабируемость, чистота продукта) в сравнении с другими подходами?

- 2) Поверхностное описание механизмов формирования углеродных цепей. Хотя в диссертации упоминаются ключевые физические процессы (нуклеация, коалесценция, термодинамика плазмы), их описание часто остается на уровне обзора литературы. Не хватает глубокого теоретического анализа собственных экспериментов. Например, как именно параметры лазера (длительность, энергия, длина волны) количественно влияют на температуру, давление и, как следствие, на выход и длину цепей? Представленные формулы носят общий характер и не интегрированы в единую модель, объясняющую полученные результаты.
- 3) Субъективность интерпретации КР-спектров. Интерпретация спектров комбинационного рассеяния (КР) является ключевым доказательством образования карбина. Однако, автор часто ссылается на "характерные полосы" (например, $1900\text{--}2300\text{ см}^{-1}$, 2100 см^{-1}) без предоставления исчерпывающего анализа. Нет сравнения со спектрами эталонных образцов или подробного обсуждения возможных артефактов. Появление полосы в 1620 см^{-1} списывается в тексте диссертации либо на "наноразмерные графитовые кластеры" либо на поверхностные дефекты, хотя это требует отдельного подтверждения (например, с помощью ПЭМ или рентгеновской дифракции), так как эта полоса может иметь и другую природу. Утверждение, что "доля графитовых кластеров несравнимо мала", не подкреплено количественными данными.
- 4) Недостаточная валидация структуры углеродных нитей. Данные ПЭМ (рис. 3.12, 3.13) являются важнейшим доказательством. Однако, представленные изображения имеют низкое разрешение для однозначной идентификации моноатомных цепей. Утверждение о расстоянии между цепями 0.535 нм требует подтверждения высокоразрешающими методами (например, HRTEM с атомарным разрешением) и анализа соответствующих дифракционных картин. В литературе известны случаи, когда линейные структуры на изображениях ПЭМ оказывались артефактами или другими формами углерода.
- 5) На мой взгляд механизм стабилизации золотом описан на качественном уровне (рис. 3.9), но отсутствует прямое экспериментальное доказательство химической связи Au-C или точного места присоединения золотых наночастиц (к концам цепи или к ее середине?). Спектроскопические данные (КР, ФЛ) косвенно подтверждают стабилизацию, но не сам механизм. Без этого утверждения о "якорях" остаются гипотетическими.
- 6) В работе есть проблемы с воспроизводимостью и статистикой. В диссертации часто приводятся единичные изображения ПЭМ или

спектры. Нет данных о статистической значимости наблюдаемых эффектов. Сколько образцов было проанализировано? Какова доля успешных синтезов? Без этого трудно оценить воспроизводимость метода, которая заявлена как одно из его преимуществ.

- 7) Из материалов диссертации не вполне ясно, как проводилась работа и измерения после осаждения полииновых цепочек на подложку. Как правило, при контакте с внешней средой, высокореакционные тройные связи линейных углеродных цепочек разрушаются, и образуется химическая связь, в первую очередь, с кислородом. Какова была стабильность синтезированных структур?
- 8) Не смотря на заявленные перспективы применения углеродных цепей (сенсоры, транзисторы), не представлено ни одного прототипа устройства или эксперимента в прикладном контексте.

2. Замечания Полякова Д.С.:

- 1) На мой взгляд, в работе недостаточно внимания уделено обзору современных работ по теме лазерной абляции углеродосодержащих мишеней под слоем жидкости для синтеза углеродных наноматериалов. Это несколько затрудняет оценку значимости положений 1 и 2.
- 2) Не ясно, что конкретно имеется ввиду под «Квазинепрерывным режимом» в Таблице 1. Также, термин «квазинепрерывные импульсы», использованный в подписи к рис. 2.7, представляется мне неудачным.
- 3) На стр. 47, вероятно, ошибка в подписи горизонтальной шкалы к рис. 2.8. По рисунку получаются частицы с размерами более 1 мкм, хотя в тексте речь идет о частицах микронного размера.
- 4) При интенсивностях фемтосекундного импульса $\sim 10^{15}$ Вт/см² возможен пробой воды перед мишенью. Этот фактор автором не обсуждается.
- 5) Не вполне понятен смысл фразы на стр. 58 «Учитывая, что из-за малых размеров частиц они не обладают собственной теплоемкостью, ...». Речь идет о частицах с диаметром ~ 100 нм, такая частица содержит макроскопическое число частиц и использование термодинамической характеристики (теплоемкости) вполне оправдано, тем более что дальше оценивается температура частицы. Вероятно, имелось ввиду, что теплоемкостью частицы в данном случае можно пренебречь, однако это допущение в тексте не обосновывается.
- 6) Автором приводится большой список публикаций по теме диссертации. Однако есть сомнение, что статьи:
 - Laser-induced formation of semiconductor nanoparticles and structures / S. Arakelian, S. Zimin, S. Kutrovskaia, A. Kucherik, A. Makarov,

- A. Osipov // Laser Physics. - 2014. - Vol. 24. - № 7. - P. 074002. DOI: 10.1088/1054-660X/24/7/074002;
- The Synthesis of Hybrid Gold-Silicon Nano Particles in a Liquid / S. Kutrovskaya, S. Arakelian, A. Kucherik, A. Osipov, A. Evlyukhin, A. Kavokin // Scientific Reports. - 2017. - Vol. 7. - № 10284. - P. 1-6. DOI: 10.1038/s41598-017-09634-y;
 - Nanocomposite Metamaterials Based on Self-assembled Titanium Dioxide Rolls with Embedded Gold Nanoparticles / S. Kutrovskaya, A. Kucherik, A. Osipov, V. Samyshkin, A. Istratov, A. Kavokin // Scientific Reports. - 2019. - Vol. 9. - № 7023. - P. 1-7. DOI: 10.1038/s41598-019-43588-7;
 - Регистрация динамических процессов лазерного термоупрочнения поверхности изделий в реальном масштабе времени в условиях засветки от лазерного факела при передаче оптического изображения через оптический жгут с помощью лазерного усилителя яркости / С. М. Аракелян, В. Л. Евстигнеев, М. А. Казарян, М. Н. Герке., А. Ф. Галкин., С. В. Жирнова., А. В. Осипов, Г. А. Евстюнин, Е. Л. Шаманская // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. - 2018. - № 31-36. - С. 71-85. DOI: 10.15518/isjaee.2018.31-36.071-085
- имеют непосредственное отношение к работе.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирская обл., г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном Тайченачевым Алексеем Владимировичем, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником, заведующим теоретической лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук и утвержденном доктором физико-математических наук, директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук Прудниковым Олегом Николаевичем, указала, что диссертационная работа Осипова Антона Владиславовича «Лазерный синтез линейных углеродных структур» является завершённым научно-квалификационным исследованием, выполненным автором в существенной мере самостоятельно и на высоком научном уровне. Диссертация соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в редакции от 16.10.2024), а ее автор Осипов Антон Владиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика. Тематика и содержание диссертационной работы соответствуют направлениям исследований 2, 3 и 4 паспорта научной специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

К представленной диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

- 1) Во введении при изложении теоретической и практической значимости работы в пункте 1 написано, что «Экспериментально доказана эффективность методов лазерной абляции в жидкости для получения углеродных частиц с узкой размерной дисперсией». Следует отметить, что данный факт уже известен относительно давно. В данном пункте не хватает информации по характеристикам лазерного излучения и условиям проведения экспериментов для достижения узкой размерной дисперсии. Чем по мнению автора достигается узкое распределение частиц по размеру?
- 2) Изложенный литературный обзор, посвященный линейным углеродным структурам (разделы 1.4 и 1.5), недостаточно отражает современное состояние исследований по синтезу таких структур, отражено лишь 5 работ, опубликованных после 2020 г.
- 3) Проводилась ли оценка квантового выхода фотолюминесценции исследуемых линейных углеродных структур?
- 4) Обнаруженные неточности и опечатки: - в тексте диссертации сокращение УНТ вводится на стр.23, расшифровка только на 28 стр., отсутствует расшифровка сокращению ЛАЖ (стр. 33); - на стр.35 в 4-ом предложении в слове «учитываются» опечатка, правильно «учтены»; - в таблице 1 п т - написаны по-английски; - в тексте диссертации опечатка в слове «лабораторный» на стр. 99.

Сформулированные замечания и вопросы не являются принципиальными и носят в основном рекомендательный характер.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 18 работ, 12 из которых входят в международные базы Web of Science и Scopus. В рецензируемых научных изданиях опубликовано 18 работ, посвященных комплексному исследованию линейных углеродных цепей, методам их синтеза и стабилизации, в указанных работах соискатель принял непосредственное участие при постановке и проведении теоретических и экспериментальных работ, обработке экспериментальных данных и оформлении (написании) публикаций.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Список наиболее значительных работ:

1. Polarization-Sensitive Photoluminescence from Aligned Carbon Chains Terminated by Gold Clusters / A. Kucherik, **A. Osipov**, V. Samyshkin [et al.] // *Physical Review Letters*. - 2024. – Vol. 132. - №. 5. - P. 056902. DOI: 10.1103/physrevlett.132.056902.
2. Formation of linear carbon chains in a combined field of an arc discharge and laser radiation / **A. Osipov**, S. Kutrovskaya, V. Samyshkin [et al.] // *Optical and Quantum Electronics*. - 2023. - Vol. 55. - P. 830. DOI: 10.1007/s11082-023-05007-0.
3. Laser Fabrication of Gold-sp-Carbon Films / S. Kavokina, **A. Osipov**, V. Samyshkin [et al.] // *Condensed Matter*. - 2023. - Vol. 8. - № 4. - P. 96. DOI: 10.3390/condmat8040096.
4. Exciton radiative lifetime in a monoatomic carbon chain / S. Kutrovskaya, S. Demirchyan, A. Kavokin, **A. Osipov**, V. Samyshkin, A. Kucherik, S. Baryshev, A. Zasedatelev, P. Lagoudakis, O. Pulci, D. Grassano, I. Gontrani, R. Hartmann, M. Portnoi // *New Journal of Physics*. - 2021. - Vol. 23. - № 3. - P. 033007. DOI: 10.1088/1367-2630/abe505.
5. Exciton energy spectra in polyyne chains / S. Kutrovskaya, S. Demirchyan, A. Kavokin, **A. Osipov**, S. Baryshev, A. Zasedatelev, P. Lagoudakis // *Physical Review Research*. - 2021. – Vol. 3. - № 1. – P. 013071. DOI: 10.1103/PhysRevResearch.3.013071.
6. Excitonic Fine Structure in Emission of Linear Carbon Chains / S. Kutrovskaya, S. Demirchyan, A. Kavokin, **A. Osipov**, V. Samyshkin, A. Kucherik, S. Baryshev, A. Zasedatelev, P. Lagoudakis, O. Pulci, D. Grassano, I. Gontrani, R. Hartmann, M. Portnoi // *Nano Letters*. – 2020. - Vol. 20. - № 9. - P. 6502-6509. DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02244.
7. Photosensitive free-standing ultra-thin carbyne-gold films / V. Samyshkin, A. Lelekova, **A. Osipov** [et al.] // *Optical and Quantum Electronics*. – 2019. – Vol. 51. – P. 394. DOI: 10.1007/s11082-019-2114-3.
8. Laser-induced synthesis of nanostructured metal-carbon clusters and complexes / S. Arakelian, S. Kutrovskaya, A. Kucherik, **A. Osipov**, A. Povolotckaia, A. Povolotskiy, A. Manshina // *Optical and Quantum Electronics*. - 2016. - Vol. 48. - P. 505. DOI: 10.1007/s11082-016-0776-7.
9. Reliable and well-controlled synthesis of noble metal nanoparticles by continuous wave laser ablation in different liquids for deposition of thin films with variable optical properties / S. M. Arakelyan, V. P. Veiko, S. V. Kutrovskaya, A. O. Kucherik, **A. V. Osipov**, T. A. Vartanyan, T. E. Itina // *Journal of Nanoparticle Research*. - 2016. - Vol. 18. - P. 155. DOI: 10.1007/s11051-016-3468-0.
10. The Synthesis of Hybrid Gold-Silicon Nano Particles in a Liquid / S. Kutrovskaya, S. Arakelian, A. Kucherik, **A. Osipov**, A. Evlyukhin, A. Kavokin // *Scientific Reports*. - 2017. - Vol. 7. - № 10284. - P. 1-6. DOI: 10.1038/s41598-017-09634-y.
11. Nanocomposite Metamaterials Based on Self-assembled Titanium Dioxide Rolls with Embedded Gold Nanoparticles / S. Kutrovskaya, A. Kucherik, **A.**

Osipov, V. Samyshkin, A. Istratov, A. Kavokin // Scientific Reports. - 2019. - Vol. 9. - № 7023. - P. 1-7. DOI: 10.1038/s41598-019-43588-7.

12. Electric field assisted alignment of monoatomic carbon chains / S. Kutrovskaya, I. Chestnov, **A. Osipov**, V. Samyshkin, I. Sapegina, A. Kavokin, A. Kucherik // Scientific Reports. - 2020. - Vol. 10. - № 9709. - P. 1-7. DOI: 10.1038/s41598-020-65356-8.

13. Электрофизика углеродных 1D-структур, полученных в лазерном эксперименте: модели и демонстрация / С. В. Гарнов, Д. В. Абрамов, Д. Н. Бухаров, Т. А. Худайберганов, К.С. Хорьков, **А. В. Осипов**, С. В. Жирнова, А. О. Кучерик, С. М. Аракелян // Успехи физических наук. – 2024. – Т. 194. - № 2. – С. 115-137. DOI: 10.3367/UFNr.2023.12.039620.

14. Long linear carbon chain - Laser-induced structures and possible applications / S. V. Kutrovskaya, S. M. Arakelian, A. O. Kucherik, **A. V. Osipov**, S. V. Garnov // Laser Physics. – 2019. – Vol. 29. - № 8. – P. 085901. DOI: 10.1088/1555-6611/ab183a.

15. Laser-induced formation of semiconductor nanoparticles and structures / S. Arakelian, S. Zimin, S. Kutrovskaya, A. Kucherik, A. Makarov, **A. Osipov** // Laser Physics. - 2014. - Vol. 24. - № 7. - P. 074002. DOI: 10.1088/1054-660X/24/7/074002.

16. Two-stage laser-induced synthesis of linear carbon chains / A. O. Kucherik, S. M. Arakelian, S. V. Garnov, S. V. Kutrovskaya, D. S. Nogtev, **A. V. Osipov**, K. S. Khorkov // Quantum Electronics. – 2016. – Vol. 46. - № 7. – P. 627-633. DOI: 10.1070/QEL16128.

17. Лазерно-индуцированный синтез металлоуглеродных материалов для реализации эффекта гигантского комбинационного рассеяния / А. Кучерик, С. Аракелян, Т. Вартамян, С. Кутровская, **А. Осипов**, А. Поволоцкая, А. Поволоцкий, А. Маньшина // Оптика и спектроскопия. – 2016. – Т. 121. - № 2. – С. 285-293. DOI: 10.7868/S0030403416080109.

18. Лазерная абляция углеродных мишеней, помещенных в жидкость / А. А. Антипов, С. М. Аракелян, С. В. Гарнов, С. В. Кутровская, А. О. Кучерик, **А. В. Осипов** // Квантовая электроника. - 2015. - Т. 45. - С. 731-735. DOI: 10.1070/QE2015v045n08ABEH015681.

На автореферат поступили 3 отзыва. Все отзывы положительные, но есть некоторые замечания:

1. От Комолова Алексея Сергеевича, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры электроники твердого тела Санкт-Петербургского государственного университета:

1) В разделе «Методология» заявлено об использовании методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ), спектроскопии комбинационного рассеяния света. Однако в автореферате практически отсутствуют данные АСМ, которые были бы

крайне полезны для подтверждения данных ПЭМ и независимой оценки морфологии и высоты получаемых нанопленок. Неясно, была ли применена эта методика, и что она показала, или же ее упоминание является формальностью.

2. От Казака Александра Васильевича, кандидата химических наук, доцента Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный университет»:

- 1) В тексте не до конца раскрыт механизм стабилизации. Утверждается, что наночастицы золота «закрепляют» концы цепей и приводят к их легированию, но не предложена конкретная химическая или физическая модель этого взаимодействия (например, образование координационных или ковалентных связей Au-S, хемосорбция, плазмон-индуцированные эффекты).
- 2) В положении на защиту №1 указан широкий диапазон размеров получаемых частиц (от 50 до 1300 нм). Для большинства практических применений необходимо узкое распределение получаемых частиц по размерам. В автореферате не показано, как именно можно добиться контроля и сужения этого распределения в рамках предложенного метода, что является ключевым для его практической значимости.
- 3) В работе заявлено о создании «высокоориентированных» массивов и «молекулярных кристаллов». Однако для однозначного доказательства кристаллической природы и определения точных параметров решетки критически не хватает данных рентгеноструктурного анализа или данных электронной дифракции в ПЭМ. Без этого доказательства кристаллической структуры являются косвенными.

3. От Заботнова Станислава Васильевича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей физики и наноэлектроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова:

- 1) В положениях, выносимых на защиту, и в научной новизне заявлено о достижении длин цепей до 100 нм и формировании кристаллов, однако в представленных данных (рис. 5с) визуализированы и проанализированы преимущественно более короткие цепи (8-24 атома). Таким образом, не видно однозначного соответствия между заявленными достижениями и представленными доказательствами.
- 2) На странице 16 утверждается, что практически все наблюдаемые линейные участки содержат четное число атомов, что соответствует «правилу селекции для разрешенных переходов». Данное правило не является общеизвестным и требует более развернутого комментария или ссылки на соответствующие теоретические работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой степенью их компетенции в вопросах лазерной физики, подтвержденной большим числом публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, что позволяет им оценить достоверность полученных результатов и научно-практическую значимость рассматриваемой в диссертации проблемы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Предложен и экспериментально обоснован способ получения углеродных наночастиц, основанный на лазерной абляции в жидкость и обеспечивающий узкое распределение частиц по размерам относительно среднего размера в диапазоне диаметров 50–1300 нм с сохранением степени кристаллизации исходного материала.

Разработан метод синтеза стабилизированного линейного углерода, включающий лазерную фрагментацию углеродных коллоидных систем и введение наночастиц золота в раствор для стабилизации образующихся цепей.

Предложен метод капельного осаждения высокоориентированных стабилизированных углеродных цепей на твердую поверхность за счет прилипания границы капли и дальнейшего движения по наклонной поверхности.

Доказано, что легирование массива параллельных линейных цепей золотыми наночастицами, прикрепившимися к их концам, позволяет легировать систему свободными электронами, что на порядок усиливает её люминесценцию.

Доказано существование сильной зависимости поглощения света от угла между вектором поляризации и направлением вытянутых линейных углеродных структур.

Доказано образование экситонов в углеродном молекулярном кристалле, формирующихся в условиях неравновесной фемтосекундной лазерной накачки с временем жизни такого возбужденного состояния ~ 1 нс.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в рамках диссертационной работы была установлена фундаментальная зависимость поглощения поляризованного света от угла его поляризации в ориентированных системах углеродных цепей. **Предложен** механизм формирования и стабилизации экситонных состояний в ван-дер-ваальсовом кристалле из полииновых цепей. Теоретически обосновано, что наблюдаемая триплетная тонкая структура в спектрах фотолюминесценции при низких

температурах соответствует излучательным переходам нейтральных экситонов и заряженных трионов, образующихся согласно дипольной поляризации цепей.

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

Разработан метод лазерной абляции в жидкости для синтеза углеродных наночастиц с узкой размерной дисперсией, что открывает возможности для создания высококачественных наноматериалов для применения их в различных областях, таких как электроника, фотоника и оптоэлектроника.

Разработан метод лазерного синтеза углеродных наночастиц с сохранением степени кристаллизации исходного материала, способствующий получению более устойчивых и функционально активных материалов, которые могут быть применены в создании катализаторов и новых типов энергосберегающих устройств.

Представлен эффект стабилизации линейного углерода в коллоидных системах за счет добавления наночастиц золота, который может привести к разработке новых методов создания высокоэффективных материалов с уникальными электрооптическими свойствами для применения в сенсорах и других нанотехнологиях.

Представлена зависимость поглощения линейно поляризованного света, длиной волны 375 нм, от угла поляризации для ориентированных систем углеродных цепей, открывающая возможности для создания более чувствительных оптических приборов и систем, что является важным аспектом в области оптики, спектроскопии и фотомодификации материалов.

Определены условия возбуждения экситонов в цепочечных углеродных структурах, включая возможность генерации нестационарных экситонных состояний в объеме углеродного квазикристалла, что открывает новые перспективы для разработки высокоэффективных устройств фотоники. Возможность управлять экситонными свойствами может привести к созданию новых типов лазеров, фотодетекторов и других оптоэлектронных компонентов, что является актуальным направлением в области квантовой оптики и нанофотоники.

Представлен метод синтеза наноструктур с активно выраженными квантовыми свойствами. Эксперимент с высокой степенью повторяемости результатов позволяет говорить о готовой уникальной методике синтеза стабилизированных линейных углеродных цепей с необходимыми свойствами.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в получении комплекса новых экспериментальных и теоретических результатов, позволяющих изучить алгоритмы синтеза протяженных линейных углеродных цепей, а также в подробном изучении фундаментальных физических процессов, влияющих на конечные свойства получаемых объектов в наноразмерном масштабе. Результаты, описывающие новизну диссертационной работы, могут быть сгруппированы следующим образом:

1. Разработан двухстадийный метод лазерно-индуцированного синтеза линейных углеродных наноструктур. Показана возможность целенаправленного управления их структурными свойствами за счет изменения условий лазерного воздействия.

2. Показано, что фрагментация частиц шунгита в коллоидных системах с добавлением наночастиц золота, обеспечивают стабилизацию пучков линейных углеродных цепей, что препятствует их сворачиванию и превращению в другие формы.

3. Впервые продемонстрирована возможность формирования наноразмерных кристаллов, состоящих из параллельных массивов линейных углеродных цепей. Показано, что такой кристалл сохраняет свойства молекулярной структуры, и в нем возможно оптическое возбуждение экситонов, при накачке на длинах волн 370 – 390 нм.

4. Показано, что прикрепление к концам углеродных цепей золотых наночастиц приводит к насыщению первых электронами, при этом интенсивность люминесценции подобных комплексов вырастает на порядок, относительно нестабилизированных цепей.

5. Впервые показано, что комплексы из наночастиц золота и линейного углерода имеют спектры фотолюминесценции смещенные не только в «красную» область относительно излучения накачки, но и в «голубую» сдвинутую на 30 – 80 нм от длины волны лазера накачки 532 нм, обеспечивающего эффективную накачку структур плазмонами.

6. Экспериментально подтверждено, что ориентированный пучок линейных углеродных цепей взаимодействует с линейно поляризованным лазерным излучением в субволновом масштабе.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все выводы диссертации обоснованы и подтверждены сравнением полученных экспериментальных результатов с известными опубликованными достижениями и их практической реализацией. Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается высоким уровнем современного научно-исследовательского оборудования, методами и методиками обработки результатов и подтверждается публикациями в ведущих научных журналах и выступлениями на научных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в проведении синтеза линейных стабилизированных углеродных нитей, реализованного автором лично и/или

под его непосредственным руководством. Большая часть экспериментальных данных, касающиеся получения/фрагментации/стабилизации коллоидных частиц, а также их осаждения и их агломератов на поверхности твердой подложки, включая изучение их морфологических, оптических и электрических характеристик, получена в соавторстве при его непосредственном участии.

Соискатель Осипов Антон Владиславович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, замечания ведущей организации, оппонентов и на замечания, приведённые в отзывах на автореферат. Согласился с некоторыми замечаниями и привёл собственную аргументацию.

На заседании 06 октября 2025 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития лазерной физики и заключающееся в развитии методов лазерного синтеза высокоориентированных углеродных наноструктур и изучении их электрооптических свойств, присудить Осипову Антону Владиславовичу учёную степень кандидата физико - математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 13, «против» 0, недействительных бюллетеней 1.

Зам. председателя диссертационного совета
докт. физ.-мат. наук.



Цветков
Владимир
Борисович

Ученый секретарь диссертационного совета
канд. физ.-мат. наук

Осадчий
Александр
Валентинович

07 октября 2025 г.