

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10 октября 2022 г. № 32

О присуждении Настулявичус Алене Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Генерация наночастиц металлов подгруппы меди лазерным излучением и их антибактериальное применение» по специальности 1.3.19 – Лазерная физика принята к защите 4 июля 2022 года, (протокол заседания № 29) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Настулявичус Алена Александровна, 13 января 1992 года рождения, окончила магистратуру Национального исследовательского ядерного университета "МИФИ" по специальности «Ядерная физика и технологии» в 2016 г. с присуждением степени магистра. С 2016 г. работает в ФИАН в должности младшего научного сотрудника. В период с 2016 г. по 2020 г. обучалась в аспирантуре ФИАН по направлению подготовки 03.06.01- Физика и астрономия». Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2022 году. По окончании аспирантуры Настулявичус А.А. была присвоена квалификация «Исследователь; преподаватель-исследователь».

Диссертационная работа Настулявичус А.А. выполнена в Отделении квантовой радиофизики им. Н.Г. Басова ФИАН.

Научный руководитель, доктор физико-математических наук Кудряшов Сергей Иванович работает в должности ведущего научного сотрудника лаборатории лазерной нанофизики и биомедицины ФИАН. Он является специалистом в области лазерной физики, нелинейной оптики и взаимодействия излучения с веществом.

Научный консультант, доктор физико-математических наук, профессор Ионин Андрей Алексеевич работает в должности руководителя Отделения квантовой радиофизики ФИАН. Он является специалистом в области лазерной физики, лазерного структурирования материалов. Необходимость привлечения Андрея Алексеевича Ионина в качестве консультанта обусловлена наличием у него большого опыта в проведении биомедицинских исследований, в том числе в разработке эффективных лазерных методов инактивации бактериальных биопленок.

Официальные оппоненты:

Петров Юрий Васильевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник сектора лазеров и плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН);

Леднев Василий Николаевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Центра биофотоники ФГБУН Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН» (ИОФ РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, в своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, профессором Кашкаровым Павлом Константиновичем, заведующим

кафедрой общей физики и молекулярной электроники и кандидатом физико-математических наук Заботновым Станиславом Васильевичем, доцентом кафедры общей физики и молекулярной электроники, и утвержденном доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, проректором Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ), начальником Управления научной политики, указала что соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Результаты диссертационной работы Настулявичус А.А. могут быть рекомендованы к использованию в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Московском Государственном университете, Санкт-Петербургском государственном университете, Институте общей физики РАН им. А.М. Прохорова, Томском государственном университете.

Соискатель имеет 45 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 14 работ, из них 7 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science и 1 патент. Результаты работы доложены на 6 международных конференциях.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения о работах, опубликованных Настулявичус А.А.

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Nastulyavichus A., Smirnov N., Kudryashov S. Quantitative evaluation of LAL productivity of colloidal nanomaterials: which laser pulse width is more productive, ergonomic and economic? //Chinese Physics B.– 2022–Vol. 31.– No.7.–P. 077832022.

2. Nastulyavichus A.A., Kudryashov S.I, Ionin A.A., Yushina Yu. K., Semenova A.A., Gonchukov S.A. Focusing effects during ultrashort-pulse laser ablative generation of colloidal nanoparticles for antibacterial applications //Laser Physics Letters. – 2022. – Vol. 19. – No. 6. – P. 065601.

3. Nastulyavichus A.A., Kudryashov S.I., Ionin A.A., Gonchukov S.A. Optimization of nanoparticle yield for biomedical applications at femto-, pico- and nanosecond laser ablation of thin gold films in water// Laser Physics Letters. – 2022. – Vol. 19. – No. 4. – P. 045603.

4. Nastulyavichus A., Tolordava E., Rudenko A., Zazymkina D., Shakhov P., Busleev N., Romanova Yu., Ionin A., Kudryashov S. In vitro destruction of pathogenic bacterial biofilms by bactericidal metallic nanoparticles via laser-induced forward transfer// Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10. – No 11. – P. 1-11.

5. Nastulyavichus A.A., Kudryashov S.I., Tolordava E.R., A.A. Rudenko, D.A. Kirilenko, Gonchukov S.A., Ionin A.A., Yushina Yu. K. Generation of silver nanoparticles from thin films and their antibacterial properties //Laser Physics Letters. – 2022. – Vol.19.– No.7 – P. 075603.

6. Ионин А.А., Гончуков С. А., Зазымкина Д.А., Кириченко А.Н., Кудряшов С.И., Настулявичус А. А., Романова Ю.М., Сараева И.Н., Смирнов Н.А., Толордава Э.Р. Гибридные лазерные нанотехнологии для борьбы с резистентными бактериальными биопленками // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84. – № 11. – С. 1537-1541.

7. Толордава Э.Р., Кудряшов С.И., Настулявичус А.А., Ионин А.А., Романова Ю.М. Аппликационный лазерный перенос наночастиц металлов на бактериальные биопленки // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 2019. – Т. 37. – № 4. – С. 192-195.

Получен патент:

1. Патент № 2737417 С1 Российская Федерация, МПК А61L 2/08. Способ борьбы с бактериальными биопленками: № 2019138420: заявл. 27.11.2019: опубл. 30.11.2020 / С. И. Кудряшов, А. А. Ионин, Э.Р. Толордава, Ю.М. Романова, А. А. Настулявичус; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН).

На автореферат диссертации поступили отзывы от доктора биологических наук Николаева Юрия Александровича, заведующего лабораторией выживаемости микроорганизмов Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр" Фундаментальные основы биотехнологии", и кандидата физико-математических наук Емельяненко Кирилла Александровича, старшего научного сотрудника лаборатории поверхностных сил Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН.

В отзыве доктора биологических наук Николаева Ю.А. отмечается, что полученные результаты имеют высокое научное и практическое значение. В качестве замечаний отмечено излишнее акцентирование в целях и выводах на биоцидном действии наночастиц против именно пищевых патогенов, так как это сужает выводы автора о выраженном антибиопленочном действии наночастиц меди и недостаточное описание методов микробиологической части.

В отзыве кандидата физико-математических наук Емельяненко К.А. отмечено, что работа актуальна и представляет ценность, как в научном, так и в практическом отношении, изложение материала работы последовательно, логично и композиционно выстроено. В качестве замечаний отмечено использование сложных оборотов и длинных предложений, что затрудняет понимание текста и ряд опечаток.

Во всех отзывах на автореферат указано, что Настулявичус А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор оппонентов и ведущей организации обоснован их значительным опытом работы по тематике диссертации, что подтверждается большим количеством публикаций в рецензируемых, в том числе ведущих в этой области, печатных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что в диссертации экспериментально исследована эффективность генерации коллоидных золотых наночастиц в дистиллированной воде лазерным излучением в диапазоне длительностей импульса от субпикосекунд до наносекунд.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Предложен и апробирован критерий сравнения эффективности генерации золотых наночастиц при сопоставимых параметрах лазерных систем с различной длительностью импульса (произведение объема коллоидного раствора на коэффициент экстинкции в области межзонных переходов на длине волны 380 нм) в пересчете на импульс и на единицу энергии лазерного излучения. Для подтверждения данного критерия используется измерение потери массы мишени.
2. Показано, что абляция золотой мишени в дистиллированной воде лазерными импульсами с наносекундной длительностью и энергией  $\sim 0.1-1$  мДж лимитируется формированием субкритической эрозионной плазмы и обеспечивает наибольшую эффективность генерации наночастиц в воде в пересчете на один лазерный импульс и может быть качественно описана с учетом площади области абляции известным универсальным размерным соотношением для плазменно-контролируемого потока массы в газах.
3. Показано, что лазерные импульсы пикосекундой длительности, свободные от влияния нелинейных эффектов при используемых энергиях  $\sim 1-10$  мкДж, обеспечивают эффективность в пересчете на единицу энергии импульса излучения на 1-2 порядка выше, чем для наносекундной длительности импульса.
4. Обнаружено смещение максимума эффективности (коэффициента экстинкции и потери массы мишени) генерации золотых наночастиц в расчете на один лазерный импульс слабофокусированными ( $NA \sim 0.05$ ) ультракороткими лазерными импульсами (0.3-10 пс) с длиной волны 1030

нм в дистиллированной воде (толщина слоя жидкости над поверхностью мишени 2 мм) в сторону центра плазменного канала, положение которого зависит от пиковой мощности излучения.

5. Разработан и запатентован метод инаktivации биопленок патогенных бактерий на основе метода прямого наносекундного лазерного переноса (длина волны — 1064 нм, длительность импульса - 100 нс, энергия в импульсе — 0.2 мДж) серебряных и медных пленок с полимерной прозрачной подложки в виде наночастиц с высокой концентрацией (20-30 мкг/см<sup>2</sup>).

Научная новизна полученных результатов связана с предложенными критериями массовой и энергетической эффективности генерации коллоидных наночастиц в растворах, сравнительной демонстрации массовой и энергетической эффективности генерации коллоидных наночастиц в растворах для лазерного излучения субпико-, пико- и наносекундной длительности, выявлении определяющих эффектов экранирования мишени субкритической эрозионной плазмой и мультифиламентации ультракоротких лазерных импульсов в жидкости. Впервые показано, что наночастицы серебра и меди, осажденные с высокой дозой (до 30 мкг/см<sup>2</sup>) при помощи метода прямого наносекундного лазерного переноса на биопленки грам-положительных и грам-отрицательных бактерий пищевых патогенов, обладают высокой антибактериальной активностью.

Практическая значимость результатов, полученных Настулявичус А.А., связана с введением параметра сравнения массовой и энергетической эффективности лазерной генерации наночастиц в жидкости, который позволяет сравнивать разные лазерные системы в отношении наработки коллоидных наночастиц в растворах. Предложено выражение, позволяющее оценить массовый выход коллоидных наночастиц при наносекундной лазерной абляции в жидкости в режиме субкритической эрозионной плазмы, в зависимости от основных параметров лазерного излучения. Установлено влияние нелинейного фокуса, возникающего для лазерных импульсов

субпико- и пикосекундной длительности, на эффективность генерации золотых наночастиц в дистиллированной воде. Разработан новый эффективный метод инактивации бактериальных биопленок пищевых патогенов на основе лазерного прямого переноса наночастиц серебра и меди.

Результаты работы А.А. Настулявичус оригинальны и научно обоснованы. Их достоверность подтверждается адекватным выбором экспериментальных методик, использованием современного сертифицированного оборудования, успешным представлением на международных конференциях и публикациями в ведущих мировых научных журналах.

Все результаты диссертации получены лично автором или при его непосредственном участии. Автором был предложен эффективный метод нанесения наночастиц на бактериальные биопленки. Настулявичус А.А. лично провела описанные эксперименты и обработала полученные данные. Подготовка результатов к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Настулявичус А.А. аргументировано ответила на заданные ей вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

В диссертационной работе решена задача определения влияния параметров лазерного излучения на эффективность генерации модельных золотых наночастиц при абляции в дистиллированной воде лазерными импульсами субпико-, пико- и наносекундной длительности, а также обуславливающих ее физических процессов экранирования наносекундной субкритической эрозионной плазмой и мультифиламентации. Предложен новый подход к решению задачи инактивации бактериальных биопленок путем прямого лазерного переноса наночастиц и проведена его успешная апробация.

На заседании 10 октября 2022 года диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития



лазерной физики, присудить А. А. Настулявичус учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.19 — Лазерная физика), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени -18,

против присуждения учёной степени - 1,

недействительных бюллетеней - 1.

Заместитель председателя диссертационного совета  
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Пудалов Владимир Моисеевич

Учёный секретарь диссертационного совета  
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

10 октября 2022 г.