

Заключение

диссертационного совета 24.2.331.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13 октября 2021 г. № 10

О присуждении Гавдушу Арсению Алексеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование комплексной диэлектрической проницаемости конденсированных сред на основе новых методов терагерцовой импульсной спектроскопии» по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния принята к защите 02.07.2021 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом 24.2.331.06, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г., полномочия которого установлены приказом Минобрнауки России № 561/нк от 03 июня 2021 г. на срок действия номенклатуры научных специальностей.

Соискатель Гавдуш Арсений Алексеевич, 7 марта 1993 года рождения, в 2016 году окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», в настоящее время соискатель осваивает программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния (год окончания 2021).

Диссертация выполнена на кафедре физики научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — доктор физико-математических наук, Юрченко Станислав Олегович, профессор кафедры физики научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки», главный научный сотрудник Научно-образовательного центра «Фотоника и ИК-техника», декан факультета «Биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Научный консультант — кандидат технических наук, Зайцев Кирилл Игоревич, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией широкополосной диэлектрической спектроскопии отдела субмиллиметровой спектроскопии федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

Горшунов Борис Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией терагерцевой спектроскопии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»;

Назаров Максим Михайлович, кандидат физико-математических наук, начальник лаборатории сверхсильных световых полей федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук, Москва, г. Троицк, в своем положительном отзыве, подписанном Рыжовым Валентином Николаевичем, доктором физико-математических наук, заместителем директора по науке и утвержденном Бражкиным Вадимом Вениаминовичем, доктором физико-математических наук, академиком РАН, директором, указала, что диссертация Гавдуша А. А.,

посвященная исследованию комплексной диэлектрической проницаемости конденсированных сред с использованием новых методов терагерцовой (ТГц) импульсной спектроскопии, является законченной, самостоятельной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком уровне. В отзыве ведущей организации подтверждена теоретическая и практическая значимость полученных в диссертации результатов, отмечено, что Гавдушем А.А. предложен метод оценки спектрально неоднородной погрешности восстановления комплексной диэлектрической проницаемости образцов путем проведения численного моделирования. Впервые систематически исследованы диэлектрические и оптические свойства водных растворов гиперосмотических агентов для просветления биотканей в ТГц диапазоне спектра. Возможность использования ТГц импульсной спектроскопии при осуществлении медицинской диагностики новообразований, в том числе интраоперационной, подтверждена результатами спектроскопии глиом мозга человека различной степени злокачественности. Впервые измерена комплексная диэлектрическая проницаемость лабораторных аналогов межзвездного и околозвездного льда CO при температуре ~15 К.

Соискатель имеет 33 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 28 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 28 работ, 15 из которых – в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов научных работ и индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации 33,72 п.л., из которых 12,98 п.л. принадлежат лично соискателю. Требования п.п. 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции постановления Правительства РФ от 20.03.2021 г. № 426), предъявляемые к публикации основных научных результатов диссертации, выполняются. Требования, установленные п. 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, соблюдаются. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Terahertz dielectric spectroscopy of human brain gliomas and intact tissues ex vivo: double-Debye and double-overdamped-oscillator models of dielectric response / A.A. Gavidush, N.V. Chernomyrdin, G.A. Komandin [et al.] // *Biomedical Optics Express* 2021. Vol. 12, № 1. P. 69-83. (1,73 п.л. / 0,87 п.л.).

2. Nanoporous SiO₂ based on annealed artificial opals as a favorable material platform of terahertz optics / V.E. Ulitko, A.K. Zotov, A.A. Gavdush [et al.] // Optical Materials Express 2020. Vol. 10, № 9. P. 2100-2113. (1,62 п.л. / 0,54 п.л.).

3. Optical Properties of Hyperosmotic Agents for Immersion Clearing of Tissues in Terahertz Spectroscopy / G.R. Musina, A.A. Gavdush, N.V. Chernomyrdin [et al.] // Optics and Spectroscopy. 2020. Vol. 128, № 7. P. 1026-1035. (1,16 п.л. / 0,58 п.л.).

4. Terahertz spectroscopy of gelatin-embedded human brain gliomas of different grades: a road toward intraoperative THz diagnosis / A.A. Gavdush, N.V. Chernomyrdin, K.M. Malakhov [et al.] // Journal of Biomedical Optics. 2019. Vol. 24, № 02. Article 027001. (0,58 п.л. / 0,29 п.л.).

5. Broadband spectroscopy of astrophysical ice analogues: I. Direct measurement of the complex refractive index of CO ice using terahertz time-domain spectroscopy / B.M. Giuliano, A.A. Gavdush, B. Müller [et al.] // Astronomy and Astrophysics. 2019. Vol. 629. P. A112. (1,39 п.л. / 0,69 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Курлова В. Н.**, доктора технических наук, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией профилированных кристаллов ФГБУН «Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна» РАН; **Черкасовой О. П.**, доктора биологических наук, заведующей лабораторией лазерной биофизики ФГБУН «Институт лазерной физики» СО РАН; **Соколовского Г. С.**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, заведующего лабораторией интегральной оптики на гетероструктурах ФГБУН «Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе» РАН; **Кудряшова С. И.**, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией лазерной нанофизики и биомедицины Отделения квантовой радиофизики ФГБУН «Физический институт им. П. Н. Лебедева» РАН; **Решетова И. В.**, академика РАН, доктора медицинских наук, директора Института кластерной онкологии им. профессора Л. Л. Левшина ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Минздрава России; **Тучина В. В.**, члена-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой оптики и биофотоники ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского».

Все отзывы положительные, однако дан ряд замечаний. Отмечена не-

которая схематичность изложения результатов диссертации в автореферате (Тучин В. В.). Приведенные зависимости диэлектрических и оптических характеристик льда СО в автореферате недостаточно подробно прокомментированы (Соколовский Г. С.). Из текста автореферата не ясно, могут ли быть дифференцированы различные типы глииом (Решетов И. В.). Отмечено недостаточно точное определение объекта исследования, отсутствие в тексте автореферата описания методики получения околозвездных и межзвездных льдов, а также недостаточная корректность графического представления данных спектроскопии глииом, выраженная в низком разрешении изображения (Кудряшов С. И.).

В отзывах сделан вывод о том, что диссертация Гавдуша Арсения Алексеевича отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются компетентными специалистами в области физики конденсированного состояния. Максим Михайлович Назаров является специалистом в области методов генерации и применения терагерцовых импульсов, Борис Петрович Горшунов – специалист в области терагерцовой спектроскопии конденсированных сред. Выбор ведущей организации обусловлен тем, что ФГБУН «Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина» известен своими экспериментальными и теоретическими исследованиями свойств конденсированных сред.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана экспериментальная методика получения образцов лабораторных аналогов межзвездных и околозвездных льдов для ТГц импульсной спектроскопии с последующим восстановлением их комплексной диэлектрической проницаемости;

предложены методы восстановления комплексной диэлектрической проницаемости многослойных образцов с одновременной оценкой толщины слоев образца при обработке сигналов ТГц импульсного спектрометра в геометрии эксперимента на пропускание и с учетом корректировки неопределенности положения отражающей поверхности образца в геометрии эксперимента на отражение;

доказана возможность дифференциации глиом головного мозга человека различной степени злокачественности методами ТГц импульсной спектроскопии;

введены понятия спектрально неоднородных погрешностей при оценке точности восстановления оптических и диэлектрических характеристик методами ТГц импульсной спектроскопии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано постоянство морфологии лабораторных аналогов межзвездных и околозвездных льдов в большом диапазоне толщин;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы экспериментальные методы физики конденсированного состояния, вычислительной физики, математической статистики, лабораторной астрофизики;

изложены доказательства возможности использования ТГц импульсной спектроскопии для проведения медицинской диагностики злокачественных новообразований;

раскрыта проблема интерпретации экспериментальных данных моделями диэлектрической проницаемости Дебая и Лоренца;

изучена взаимосвязь между экспериментально измеренными значениями комплексной диэлектрической проницаемости образцов нанопористого SiO_2 на основе искусственных опалов, их пористостью и температурами отжига;

проведено улучшение методов оценки спектрально неоднородной погрешности восстановления комплексной диэлектрической проницаемости образцов.

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

разработана экспериментальная методика получения образцов лабораторных аналогов межзвездных и околозвездных льдов для ТГц импульсной спектроскопии, методика проведения ТГц импульсной спектроскопии биотканей, жидкостей;

определены возможности осуществления медицинской диагностики злокачественных новообразований при помощи ТГц спектроскопии;

созданы подходы к определению погрешностей восстановления комплексной диэлектрической проницаемости различных образцов, исследованных с применением методов ТГц импульсной спектроскопии;

представлены возможности применения нанопористого SiO₂ на основе искусственных опалов в качестве перспективных материалов ТГц оптики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты получены на сертифицированном современном оборудовании, воспроизводимость результатов не вызывает сомнений;

теории построены на основе корректного использования методов физики конденсированного состояния, методов экспериментальной физики, электродинамики, математической статистики;

идеи базируются на обобщении междисциплинарных литературных данных и на анализе результатов, полученных экспериментальными методами;

использовано сравнение полученных результатов с ранее опубликованными теоретическими, вычислительными и экспериментальными результатами (в том числе, при сопоставлении результатов с работами В. В. Тучина, V. Wallace, G.A. Barrata и других авторов);

установлено количественное и качественное совпадение полученных в работе результатов с независимыми экспериментальными данными;

использованы современные методы обработки полученных результатов, соответствующие целям и задачам исследований.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке и создании экспериментальных стендов и установок, подготовке и проведении экспериментальных работ, разработке теоретических моделей и проведении численного моделирования, обработке, анализе и интерпретации экспериментальных результатов. Все представленные результаты получены автором лично либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: метод, разработанный Гавдушем А.А., замечательный, но методика, то есть способ реализации, требует проработки отдельных деталей; решение обратной задачи прозвучало не очень убедительно.

Соискатель Гавдуш А. А. ответил на вопросы, задаваемые ему в ходе заседания членами диссертационного совета д.ф.-м.н. Горбуновым А.К., д.ф.-м.н. Шагаевым В.В., д.т.н. Столяровым А.А., д.ф.-м.н. Стреловым В.И., д.т.н. Корнюшиным Ю.П., согласился с замечаниями д.ф.-м.н. Тучина В.В., д.ф.-м.н. Соколовского Г.С., д.м.н. Решетова И.В., а также привел собственную аргументацию на замечания ведущей организации, официальных оппонентов

и д.ф.-м.н. Кудряшова С.И.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертационная работа Гавдуша А. А. «Исследование комплексной диэлектрической проницаемости конденсированных сред на основе новых методов терагерцовой импульсной спектроскопии» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой. Она соответствует критериям, установленным п.п. 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции постановления Правительства РФ от 20.03.2021 г. № 426) и паспорту специальности Физика конденсированного состояния.

На заседании 13 октября 2021 года диссертационный совет принял решение – за решение важной для физики конденсированного состояния научной задачи, связанной с определением комплексной диэлектрической проницаемости различных конденсированных сред в терагерцовом диапазоне электромагнитного спектра и созданием новых методов обработки результатов ТГц импульсной спектроскопии в условиях нестандартной геометрии эксперимента или при отсутствии сведений о некоторых геометрических параметрах исследуемых образцов – присудить Гавдушу А. А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления заключения 13 октября 2021 года.