

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО  
СОВЕТА 99.2.018.02,**

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» Министерства просвещения Российской Федерации и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по **диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 2 марта 2023 г. протокол № 4

О присуждении Доловой Оксана Александровне,  
гражданке Российской Федерации,  
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Рассеяние и связанные состояния в малочастичных планарных дипольных квантовых системах» по специальности 1.3.3. Теоретическая физика принята к защите 2 декабря 2022 года, протокол № 13-2 объединенным диссертационным советом 99.2.018.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» Министерства просвещения Российской Федерации (191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48) и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (197101 Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49) приказ № 248/нк от 03.03.2016 г.

Соискатель Доловова (Коваль) Оксана Александровна, 26 августа 1990 года рождения.

В 2011 году соискатель с отличием окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна». Присвоена квалификация бакалавр по направлению подготовки «Физика».

В 2013 году соискатель с отличием окончила государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна». Присвоена квалификация магистр по направлению подготовки «Физика».

В 2016 году соискатель окончила Учебно-научный центр Международной межправительственной организации «Объединенный институт ядерных исследований», освоила программу подготовки научных кадров в аспирантуре по специальности 01.04.02. Теоретическая физика.

С 01.08.2017 по настоящее время Доловова Оксана Александровна работает младшим научным сотрудником в лаборатории турбулентности и распространения волн федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории турбулентности и распространения волн федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ** – ГОРБУНОВ МИХАИЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией турбулентности и распространения волн федерального государственного

бюджетного учреждения науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук».

***ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:***

- АЛТАЙСКИЙ МИХАИЛ ВИКТОРОВИЧ, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник 51-го отдела федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук».

- МОРОЗОВ АНДРЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории методов математической физики и теории информации федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича Российской академии наук».

Дали положительные отзывы на диссертацию.

***ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:*** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Архангельск в своем положительном отзыве, подписанным доктором физико-математических наук, профессором кафедры фундаментальной и прикладной физики высшей школы естественных наук и технологий, главным научным сотрудником научно-исследовательского управления САФУ Матвеевым Виктором Ивановичем, указала, что в диссертационной работе проведено теоретическое исследование задач рассеяния и связанных состояний в малочастичных планарных дипольных квантовых системах. Впервые исследована зависимость сечения диполь-дипольного рассеяния в плоскости от радиуса короткодействующего взаимодействия для произвольной ориентации дипольных моментов сталкивающихся частиц. В рамках исследования были получены новые результаты:

- найдены условия возникновения резонансов в зависимости сечения дипольного рассеяния в плоскости от радиуса короткодействующего взаимодействия произвольно ориентированных диполей;

- определена зависимость критического (магического) угла наклона одного из диполей как функция направления второго диполя для случая произвольной ориентации диполей, движущихся в плоскости;

- впервые показано, что сечение дипольного рассеяния бозонов (фермионов) в плоскости, в отсутствие резонансов, растет (убывает) с уменьшением энергии в отличие от трехмерного случая, где сечение дипольного рассеяния бозонов (фермионов) имеет форму плато в низкоэнергетическом пределе. Показано, что взаимная ориентация диполей сильно влияет на форму энергетических зависимостей сечения рассеяния, которые начинают осциллировать с увеличением угла наклона диполей к плоскости рассеяния, в отличие от трехмерного рассеяния;

- в ходе выполненных автором расчетов впервые вычислены энергии низколежащих уровней квантовой частицы, движущейся в плоскости в поле квантового диполя, с относительной точностью, составившей десять в минус шестой степени.

Результаты диссертации применимы для теоретического описания свойств широкого класса малоразмерных систем полярных молекул и атомов с большим дипольным моментом. Полученные в диссертационной работе результаты закладывают основу для численного решения широкого класса задач, включающих задачи трех и более тел; задачи на связанные состояния или рассеяние с временной зависимостью потенциала конфайнмента или амплитуды внешнего поля; задачи туннелирования частиц в оптических решетках. Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в возможности их применения для описания условий стабилизации дипольных газов в планарной геометрии оптической ловушки. Полученные в диссертации результаты позволят улучшить стабилизацию и контроль

холодных дипольных газов в оптических решетках и таким образом помогут в создании кубитов на основе полярных молекул.

Результаты диссертации рекомендуются к использованию в следующих организациях: МГУ имени М. В. Ломоносова (г. Москва), Институт прикладной физики (г. Нижний Новгород), Институт физики высоких энергий (г. Москва), ФИАН им. П.Н. Лебедева (г. Москва), Univ Paris Sud 11 (г. Париж, Франция), Объединенный квантовый центр Дарема (г. Дарем, Великобритания).

По теме диссертации опубликовано 9 работ общим объемом 5,46 п.л. авторский вклад 3,42 п.л., из них 4 работы (2,69 п.л./ 1,70 п.л.) в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, 2 статьи (2,19 п.л./ 1,40 п.л.) в рецензируемых журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК по специальности Теоретическая физика, 3 работы (0,58 п.л./ 0,32 п.л.) в других изданиях. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

#### **Наиболее значимые работы:**

- 1. Koval, O. A. Aspects of arbitrarily oriented dipoles scattering in a plane: Short-range interaction influence / E. A. Koval, O. A. Koval // Physical Review A. — 2020. — Vol. 102, no. 4. — P. 042815-1–042815-11.**
- 2. Доловова, О. А. Системы двухатомных полярных молекул в одномерной геометрии оптических и магнито-оптических ловушек / О. А. Доловова, М. Е. Горбунов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. — 2021. — № 4. — С. 86—95.**
- 3. Коваль, О. А. Численный анализ энергетических уровней квантовой частицы в поле двумерного диполя / О. А. Коваль, Е. А. Коваль // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. — 2020. — № 3. — С. 23—37.**

4. Koval, O. A. Energetic dependencies of total cross section of quantum anisotropic scattering in two dimensions / E. A. Koval, O. A. Koval // AIP Conference Proceedings. — 2019. — Vol. 2163, no. 1. — P. 090009-1–090009-4.
5. Koval, O. A. Short Range Interaction Impact on Two Dimensional Dipolar Scattering / E. A. Koval, O. A. Koval // European Physical Journal Web of Conferences. — 2018. — Vol. 173. — P. 06008-1–06008-4.
6. Koval, O. A. Binding energies of quantum dipole in plane / E. A. Koval, O. A. Koval // European Physical Journal Web of Conferences. — 2019. — Vol. 201. — P. 09008-1–09008-5.

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва, их прислали:

1. Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник отдела физики Технического университета Кайзерслаутерна, город Кайзерслаутерн, Германия Терёхин Павел Николаевич.

Отзыв положительный. Содержит замечание:

- Стоит отметить, что в тексте диссертации имеются пунктуационные ошибки и опечатки, что не снижает ее научный уровень.
2. Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Института информационных технологий МИРЭА - Российский технологический университет Ромеро Рейес Илакаи Владиславовна.

Отзыв положительный. Отзыв без замечаний.

3. Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук Плёнкин Андрей Валерьевич.

Отзыв положительный. Содержит замечания:

- Недостаточно подробно описан используемый численный метод "сеточное представление дискретной переменной" (Discrete Variable Representation);
- Диссертацию следовало бы дополнить приложениями с исходным кодом программы и подробным описанием.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и достижениями в соответствующей отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также решением объединенного диссертационного совета 99.2.018.02 от 2 декабря 2022 г., протокол № 13-2 в соответствии пунктам 22, 24 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции).

### ***ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ ОТМЕТИЛ, ЧТО НА ОСНОВАНИИ ВЫПОЛНЕННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ ИССЛЕДОВАНИЙ***

– **обнаружены** резонансы в зависимости полного сечения рассеяния двух полярных молекул друг на друге от радиуса короткодействующего межмолекулярного взаимодействия, удерживаемыми в слое дископодобной оптической ловушки при сверхнизких температурах;

– **определен** предельный (критический) угол наклона одного из диполей в зависимости от направления второго диполя, при превышении предельного угла возникают резонансы;

– **вычислены** энергетические зависимости полного сечения двумерного рассеяния двух полярных молекул при различной ориентации их дипольных моментов;

– **показано**, что при двумерном рассеянии двух полярных молекул в слое дископодобной ловушки (квазидвумерный случай) сечение дипольного рассеяния бозонов возрастает, а сечение рассеяния фермионов убывает с уменьшением энергии, в отличие от сечения трехмерного дипольного рассеяния, которое как для бозонов, так и для фермионов имеет вид плато в отсутствии резонансов;

– **установлено**, что значения полных сечений дипольного рассеяния фермионов по порядку величины близки к значениям сечений рассеяния

бозонов в квазидвумерном случае, в отличие от значений сечений трехмерного дипольного рассеяния фермионов, которые гораздо больше, чем значения сечений трехмерного дипольного рассеяния для бозонов;

– **выявлено**, что в зависимостях сечения двумерного дипольного рассеяния от угла наклона диполей возникают осцилляции, исчезающие с увеличением радиуса короткодействующего взаимодействия между двумя диполями.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– полученные результаты по двумерному диполь-дипольному рассеянию могут быть использованы в исследованиях многочастичной динамики дипольных газов в оптических ловушках, а также процессов туннелирования между ячейками оптической решетки;

– построена масштабируемая модель диполь-дипольного рассеяния для параметров широкого класса полярных молекул и атомов.

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

в диссертационной работе выявлены ключевые характеристики рассеяния (радиус короткодействующего взаимодействия, направления дипольных моментов), при которых отсутствуют резонансы при столкновениях молекул и достигается стабилизация дипольных газов в дископодобных оптических ловушках, в настоящее время являющихся перспективным кандидатом для реализации кубитов.

**Достоверность результатов исследования обусловлена тем, что:**

– в диссертационной работе использовались общепризнанные и апробированные методы квантовой теории рассеяния с подробными выкладками;

– полученные результаты находятся в согласии с известными результатами работ других авторов.

**Личный вклад соискателя состоит в его непосредственном участии на всех этапах научного исследования:**

– в постановке цели и задач исследования;



- в анализе литературы по квантовой теории рассеяния, квантовой физике систем нескольких тел, динамике холодных газов в дископодобных оптических ловушках;
- в выборе методов исследования;
- в построении вычислительных схем и их реализации в компьютерных кодах;
- в проведении вычислений с использованием выбранных методов;
- в анализе полученных результатов и сравнении с существующими теоретическими данными;
- в апробации результатов на международных и отечественных конференциях;
- в подготовке публикаций по результатам исследования.

**Диссертация Доловой Оксаны Александровны «Рассеяние и связанные состояния в малочастичных планарных дипольных квантовых системах»** является самостоятельной, завершённой научно-квалификационной работой, которая посвящена актуальному исследованию связанных и несвязанных состояний малочастичных планарных дипольных квантовых систем. В работе обнаружены резонансы в зависимости полного сечения рассеяния от радиуса короткодействующего взаимодействия между двумя полярными молекулами, удерживаемыми в слое дископодобной оптической ловушки при сверхнизких температурах. Вычислены энергетические зависимости полного сечения двумерного рассеяния двух полярных молекул при различной ориентации их дипольных моментов. Вычислены и проанализированы зависимости сечения двумерного дипольного рассеяния от угла наклона диполей. Полученные результаты вносят вклад в развитие физики холодных дипольных газов в оптических ловушках.

В ходе защиты диссертации были высказаны некоторые критические замечания и заданы вопросы, касающиеся:

- рекомендации учета изменения направления дипольных моментов взаимодействующих молекул в ходе вычислений сечения рассеяния для

приближения произведенных расчётов к реальной задаче квантового компьютеринга;

– рекомендации учета пространственных эффектов, таких как ангармонизм удерживающего потенциала и процессы туннелирования частиц в соседние слои оптической ловушки;

– рекомендации учета взаимодействия сталкивающихся молекул с молекулами соседних слоев ловушки, а также учет пространственной неоднородности электрического поля оптической ловушки.

Соискатель Доловова О.А. ответила на вопросы, заданные ей в ходе заседания, и привела собственную аргументацию, пояснив следующее:

– в работе вычислены сечения рассеяния полярных молекул при условии, что направление дипольных моментов полярных молекул до и после взаимодействия неизменно. В будущей работе для приближения произведенных расчётов к реальной задаче квантового компьютеринга планируется исследовать изменение и контроль направления дипольных моментов взаимодействующих молекул с помощью внешнего лазерного поля;

– целью работы являлось исследование сечения диполь-дипольного двумерного рассеяния в слое дископодобной оптической ловушки. Процессы туннелирования частиц в соседние слои и другие пространственные эффекты будут изучены в дальнейших работах;

– столкновения двух молекул холодного газа рассматривались в одном слое дископодобной оптической ловушки с однородным электрическим полем. Изучение влияния взаимодействия молекул соседних слоев дископодобной ловушки и учет пространственной неоднородности электрического поля оптической ловушки будут выполнены в дальнейших исследованиях.

**На заседании 2 марта 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Долововой Оксаны Александровны «Рассеяние и связанные состояния в малочастичных планарных дипольных квантовых системах» представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой**

степени кандидата наук (п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции)), и принял решение присудить Доловой О.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика за разработку физической модели, описывающей рассеяние двух полярных молекул в слое дископодобной оптической ловушки, позволяющей установить влияние параметра короткодействующего взаимодействия молекул и направлений дипольных моментов на возникновение резонансов сечения рассеяния молекул, что имеет существенное значение для развития нерелятивистской квантовой теории рассеяния в приложении к физике холодных газов в оптических ловушках.

**При проведении тайного голосования диссертационный совет** в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 12, «против» – 1, «недействительных бюллетеней» – 0.

Председатель  
диссертационного совета

Колобов Александр Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Яковлева Светлана Анатольевна

«2» марта 2023 г.