

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Доловой Оксаны Александровны
на тему: «Рассеяние и связанные состояния в малочастичных
планарных дипольных квантовых системах»
по специальности 1.3.3 Теоретическая физика
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Актуальность темы.

Тема диссертационной работы актуальна в связи с недавними успехами в экспериментах с полярными молекулами, охлаждаемых и удерживаемых в одномерных магнито-оптических ловушках. В последние годы активно обсуждается использование таких систем в качестве кубитов для создания квантовых компьютеров.

Особый интерес представляет изучение влияния параметров взаимодействия полярных молекул на возникновение вылетов (потерь) молекул из магнито-оптической ловушки и возможностей стабилизации системы в эксперименте. Диссертационная работа посвящена численному исследованию влияния параметра короткодействующего взаимодействия, взаимного расположения двух диполей (полярных молекул) и значения критического угла на возникновение осцилляций полного сечения рассеяния, на формы кривых энергетических зависимостей, дифференциального сечения рассеяния. Выявлены условия возникновения осцилляций полного сечения рассеяния. В диссертации О.А. Доловой изучаются планарные системы, в которых движение частиц ограничено плоскостью. В последние годы в экспериментах впервые получены холодные газы в одномерных магнито-оптических ловушках, но стабильности системы молекул достигнуть еще не удалось. Таким образом, все проведенные исследования посвящены актуальным проблемам современной квантовой теории молекул.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В диссертации подробно описаны все этапы используемой автором вычислительной схемы. Применены современные известные численные методы и алгоритмы, прошедшие многократную обработку.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Результаты, полученные О.А. Доловой, были многократно апробированы на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в статьях в рецензируемых научных

журналах, индексируемых Web of Science и/или Scopus и входящих в перечень ВАК по специальности Теоретическая физика.

Новизна результатов. Все основные результаты, положенные в основу диссертации являются оригинальными. Впервые сформулированы и обоснованы положения:

1. Найдены условия возникновения резонансов в зависимости сечения дипольного рассеяния в плоскости от радиуса короткодействующего взаимодействия произвольно ориентированных диполей;

2. Показано, что сечение дипольного рассеяния бозонов (фермионов) возрастает (убывает) с уменьшением энергии в двумерном случае в отличие от трехмерного случая. Найдено влияние взаимной ориентации диполей на энергетические распределения сечения рассеяния. Определен критический (магический) угол для произвольно направленных диполей;

3. Продемонстрировано возникновение осцилляций в зависимости сечения дипольного рассеяния в плоскости от угла наклона диполей для больших энергий при различных значениях радиуса короткодействующего взаимодействия;

4. Получены пороговые значения радиуса короткодействующего взаимодействия, определяющие отсутствие осцилляций в зависимостях сечения рассеяния от угла наклона диполей. Выявлен нецентральный характер угловых распределений дифференциальных сечений дипольного рассеяния бозонов и фермионов вдали от резонансов;

5. Получены значения энергии низколежащих уровней в проблеме связанных состояний квантовой частицы в поле квантового диполя в плоскости и оценена их погрешность.

Положения, вынесенные на защиту, достаточно убедительно обоснованы, все полученные результаты являются новыми и не противоречат известным представлениям.

Значимость работы. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные в диссертационной работе результаты, несомненно, важны как для понимания физики процессов в дископодобных слоях одномерных оптических ловушек с холодными полярными газами, так и для лучшей стабилизации и контроля холодных дипольных газов в оптических решетках, что может помочь в создании кубитов на основе полярных молекул. Развитые в диссертации методы и подходы представляют интерес для организаций, в которых ведутся как теоретические, так и экспериментальные исследования свойств ультрахолодных атомов и молекул холодных газов в оптических решетках: МГУ им. М. В. Ломоносова (г. Москва), Институт прикладной физики (г. Нижний Новгород), ФИАН им. П.Н. Лебедева (г. Москва), Univ

Paris Sud 11 (г. Париж, Франция), Объединенный Институт Лабораторий Астрофизики (JILA, г. Боулдер, США).

Содержание диссертации.

Диссертационная работа О.А. Доловой изложена на 100 страницах, содержит 28 рисунков и 5 таблиц. Работа состоит из введения, обзора литературы, трех глав, заключения, списка публикаций автора по теме и списка цитируемой литературы, содержащего 106 наименований. Автореферат достаточно полно отражает основные результаты работы.

Введение оформлено правильно и содержит все необходимые пункты: актуальность работы, научная новизна, цели и задачи работы, теоретическая и практическая значимости, положения, выносимые на защиту, апробация результатов, публикации, личный вклад автора.

Обзор литературы достаточно полно изложен и представляет подробный обзор развития рассматриваемой области исследования.

Первая глава посвящена подробному описанию используемой вычислительной схемы на примере задачи связанных состояний квантовой частицы в поле диполя. Приведены численные методы решения двумерного уравнения Шрёдингера. Алгоритм использует дискретизацию по угловой координате и Фурье-интерполяцию радиальных компонент волновой функции. Определены значения уровней энергии и соответствующие им собственные волновые функции квантовой частицы в поле двумерного диполя. Использованы методы с известной оценкой ошибки аппроксимации, что позволило автору впервые оценить относительную погрешность вычисленных значений энергий низколежащих связанных состояний.

Во Второй главе изложены модель двумерного рассеяния двух произвольно направленных диполей и численный алгоритм решения задачи рассеяния. Короткодействующее взаимодействие двух диполей аппроксимируется бесконечно высокой потенциальной стенкой и более реалистичным потенциалом Леннарда-Джонса. Определен критический (магический) угол наклона одного диполя в зависимости от направления второго диполя для случая взаимодействия произвольно ориентированных диполей. Впервые выявлено, что резонансы полного сечения рассеяния возникают только при превышении этого угла (который при одинаковых углах наклона диполей изменяется от 35.3° и до 45° при вращении одного из диполей). Построено обобщение борновского приближения на случай рассеяния произвольно направленных диполей в плоскости.

Третья глава посвящена основным результатам диссертационной работы: возникновение резонансов при анизотропном диполь-дипольном рассеянии произвольно направленных идентичных бозонов и фермионов в плоскости; в

низкоэнергетическом и высокоэнергетическом диапазонах энергий столкновений диполей определены «пороговые» значения радиуса короткодействующего взаимодействия, определяющие отсутствие осцилляций в зависимостях сечения рассеяния от угла наклона диполей; представлены энергетические зависимости сечения дипольного рассеяния в плоскости; определено отличие сечений дипольного рассеяния бозонов (фермионов) в области малых энергий в двумерном и трехмерном случаях; показано, что в двумерном случае сечения дипольного рассеяния фермионов при высоких энергиях по порядку величины близки к сечениям рассеяния бозонов, в отличие от трехмерного случая, где сечения рассеяния фермионов гораздо больше, чем для бозонов.

К каждой главе приводятся выводы.

В заключении подводятся итоги и перечислены основные научные результаты диссертационной работы.

Замечания.

В качестве замечаний и пожеланий укажем на следующее. Автор не учитывает пространственных эффектов, например, присутствующего в экспериментах ангармонизма удерживающего потенциала оптической ловушки или процессов туннелирования частиц в соседние слои. Приведенные эффекты могут приводить к появлению дополнительных резонансов в экспериментах. Однако, явный учет третьей координаты требует решения, зависящего от времени уравнения Шрёдингера и, безусловно, сильно усложняет задачу. Замечание следует рассматривать как рекомендацию для дальнейших исследований.

Также в тексте диссертации присутствуют опечатки и неточности в формулировках:

- стр. 45 отсутствуют пробелы между текстом и формулами 2.8 и 2.9;
- в рисунках 3.19 – 3.14 было бы лучше использовать вместо deg единицу измерения на русском языке град.;
- стр. 58 используется единица измерения mсec, хотя на той же странице ниже используется ее вариант на русском языке мс;
- стр. 60, 72, 80 отсутствуют пробелы между словом Рисунок и номером рисунка;
- стр. 98, пункт 84 указано две заглавных буквы в названии книги.

Эти замечания не влияют на положительное впечатление и заключение по диссертационной работе.

Заключение.

Диссертационная работа Оксаны Александровны Доловой, в которой исследованы связанные состояния и влияние на рассеяние характеристик взаимодействия и направлений дипольных моментов в двухчастичной планарной дипольной квантовой системе, является актуальным законченным научным трудом, выполненным на высоком

уровне. По структуре, полноте изложения, оформлению соответствует законченной научно-квалификационной работе. Она выполнена лично автором и является достоверной и оригинальной. Автореферат отвечает всем требованиям и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Оксаны Александровны Доловой удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика, а её автор, Долова О.А., заслуживает присуждения ей искомой ученой степени.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
Лаборатории Методов математической
физики и теории информации
федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт проблем передачи
информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук
почтовый адрес: 127051, г. Москва, Большой Каретный переулок, д.19 стр. 1,
телефон: +7 (915) 280-58-91,
адрес электронной почты: andrey.morozov@itep.ru


/Морозов А.А./

9 февраля 2023 г.

Подпись официального оппонента заверяю

