

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Коваля Евгения Александровича «Квантово-механический анализ двухчастичных систем с анизотропией взаимодействия во внешнем поле в двумерном пространстве», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Диссертация Коваля Е.А. посвящена теоретическому исследованию свойств двухчастичных квантовых систем, характеризующихся анизотропным взаимодействием в двумерной геометрии, таких как двумерный атом водорода в магнитном поле или система двух взаимодействующих диполей на плоскости.

**Актуальность темы диссертации** несомненна ввиду того, что в настоящее время исследование квантовых систем пониженной размерности вызывает большой фундаментальный и практический интерес. Это обусловлено целым рядом новых эффектов, обнаруженных в наноструктурах и малоразмерных квантовых системах, характеризующихся пространственным квантованием. Еще одним важным аспектом современных физических исследований является анализ многочастичных квантовых объектов, динамика которых существенным образом определяется взаимовлиянием входящих подсистем друг на друга. В частности, исследование двухчастичных взаимодействий в двумерном пространстве актуальны для интерпретации и планирования экспериментов по исследованию квазидвумерных квантовых газов ультрахолодных атомов или молекул в магнитооптических ловушках. При этом во многих задачах необходимо учитывать анизотропность потенциала взаимодействия. Поэтому анализ свойств и динамики взаимодействующих двухчастичных квантовых систем в двумерном пространстве представляет собой важную для исследования область, многие задачи в которой, еще не решены. Таким образом, тема диссертационной работы, безусловно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и двух приложений. Общий объем диссертации — 102 страницы, содержит 25 рисунков и 11 таблиц. Список литературы состоит из 108 наименований. Во введении представлен краткий обзор современного уровня исследований и известных результатов по теме диссертации, сформулированы цели и задачи работы, ее актуальность и научная новизна, апробация и практическая значимость полученных результатов, положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации содержит описание используемого в работе численного алгоритма, основанного на методе дискретизации по угловой переменной, а также его применение в задаче поиска связанных состояний двух атомов в оптической ловушке. Продемонстрированы и обсуждаются основные преимущества используемого подхода.

Во второй главе детально описывается алгоритм для численного анализа двумерного анизотропного квантового рассеяния. Продемонстрирована эффективность данного алгоритма на примере решения модельной задачи рассеяния квантовой частицы на круговом и эллиптическом потенциальных барьерах. Впервые исследована задача двумерного рассеяния двух произвольно ориентированных диполей. Выявлены режимы, когда рассеяние носит резонансный характер, что является важным новым результатом.



Обнаружено сужение резонансной области с одновременным уменьшением амплитуды резонансных осцилляций при увеличении угла между плоскостями поляризации диполей. Необходимо отметить, что разработанный подход позволяет исследовать столкновительную динамику полярных молекул в квазидвумерной геометрии, а также может быть обобщен для анализа резонансных явлений, индуцированных эффектами пространственного квантования.

Третья глава диссертации посвящена численному исследованию двумерного атома водорода и двумерного экситона в произвольно ориентированном магнитном поле. Изложена формулировка проблемы связанных состояний двумерного атома водорода и двумерного экситона в наклонном магнитном поле, показано согласие с результатами других теоретических работ для двумерного атома водорода в магнитном поле, направленном перпендикулярно к плоскости движения частиц. Получены энергии и волновые функции собственных состояний двумерного атома водорода и экситона в произвольно ориентированном магнитном поле и исследованы их свойства. Диссертантом обнаружен эффект значительного нелинейного уменьшения энергии основного и возбужденных состояний при уменьшении наклона вектора напряженности магнитного поля к плоскости локализации исследуемой системы. Наиболее интересным результатом данной главы является обнаруженное существенное изменение свойств исследуемых квантовых систем с увеличением степени анизотропии суммарного потенциала взаимодействия. Кроме того, полученные результаты имеют не только фундаментальную, но и прикладную значимость, поскольку они могут быть непосредственно применены к анализу реальных квантовых систем, таких как экситоны в двумерной квантовой яме GaAs/Al<sub>0.33</sub>Ga<sub>0.67</sub>As.

В четвертой главе представлены результаты исследования статистических свойств энергетических спектров двумерного атома водорода и экситона в произвольно ориентированном магнитном поле. Выявлено, что при увеличении угла наклона между вектором напряженности магнитного поля и нормалью к плоскости двумерной системы вырожденные до этого уровни расщепляются, уменьшаются интервалы между кластерами энергетических уровней. Сделан вывод, что результаты для квантового случая находятся в полном согласии с классической динамикой, что подтверждает утверждение об установлении в системе хаотического режима с увеличением угла наклона магнитного поля.

Таким образом, в диссертации получен целый ряд важных приоритетных результатов, **новизна** и высокая **научная значимость** которых, не вызывает сомнений. Результаты получены **впервые**. **Научная значимость** полученных результатов подтверждается их публикацией в рейтинговых научных журналах и апробацией на отечественных и международных конференциях. **Достоверность** полученных результатов подтверждается, прежде всего, грамотной формулировкой и корректным решением поставленных задач, а также совпадением с известными более частными модельными решениями. **Практическая значимость** диссертации состоит в применимости полученных результатов для теоретического описания свойств взаимодействующих ридберговских атомов и полярных двухатомных молекул с диполь-дипольным взаимодействием, а также в анализе и предсказании новых эффектов в реальных квазидвумерных квантовых системах

и планарных наноструктурах в произвольно ориентированных магнитных полях, таких как двумерные экситоны и квантовые точки в полупроводниковых гетероструктурах. Полученные результаты могут быть также использованы с целью управления спектрами поглощения и испускания таких систем с помощью изменения параметров приложенного магнитного поля.

Однако, диссертационная работа не свободна от недостатков:

1. Представляется важным выявление физических механизмов возникающих резонансов, обнаруженных в сечении двумерного анизотропного квантового рассеяния в зависимости от угла ориентации диполей.
2. При исследовании энергий и волновых функции собственных состояний двумерного атома водорода и экситона в произвольно ориентированном магнитном поле необходимо проанализировать и объяснить свойства возникающих распределений плотности вероятности, особенно для возбужденных состояний экситона, и связать их с характеристиками анизотропного эффективного потенциала.
3. Представляется важным анализ свойств собственных состояний двумерного атома водорода и экситона в магнитном поле в условиях, когда не имеет места полное разделение степеней свободы центра масс и относительного движения. Используемый теоретический подход позволяет это сделать. В этом случае можно ожидать интересных эффектов из-за влияния различных степеней свободы исследуемой системы друг на друга.
4. В четвертой главе диссертации аналогия между квантовым и классическим хаосом представляется не совсем корректной. Также при анализе стационарных состояний квантовой системы представляется не совсем уместным использование термина квантовая динамика, который обычно соответствует решению начальной задачи.
5. По работе также имеется ряд технических замечаний:
  - имеется некоторая нелогичность в изложении в главе 1, поскольку описанный метод дискретизации по угловой переменной апробируется на системе с аксиально симметричным потенциалом, при этом используется разложение по парциальным волнам и учитывается только  $s$ -волна. Таким образом, основные преимущества использованного подхода не верифицируются в такой модельной задаче.
  - В ряде случаев конкретный вид решения подставляется в исходное уравнение, вид которого не конкретизирован, что затрудняет восприятие материала. Например, разложение (1.3) подставляется в стационарное уравнение Шредингера (1.1) предельно общего вида.
  - В ссылках на англоязычные статьи использован русский текст для обозначения тома и страниц
  - Представляется не совсем корректным использование термина «неполяризованный диполь»

Приведенные замечания не снижают общую достоверность, актуальность и научную значимость диссертационного исследования. Диссертация соответствует заявленной специальности 01.04.02 – теоретическая физика. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Представленные к защите результаты полностью опубликованы в 9 публикациях (5 статей в рецензируемых научных изданиях и 4 тезиса в сборниках трудов конференций) и апробированы на отечественных и международных конференциях.



Таким образом, диссертация Ковалья Е.А. является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена на высоком научном уровне, содержит новые решения актуальных задач и представляет собой важный вклад в физику малоразмерных анизотропных квантовых систем. По значимости и актуальности полученных результатов диссертационная работа Ковалья Е.А. удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Коваль Евгений Александрович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры  
атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники  
физического факультета  
Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова

О.В. Тихонова

« 17 » апреля 20 18 г.

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

Адрес:

119991, г. Москва, Ленинские Горы, 1, физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
Эл. почта: ovtikhonova@mail.ru,  
раб. тел. +7(495) 939-49-54

Подпись профессора О.В. Тихоновой удостоверяю.

Декан физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
профессор



Н.Н. Сысоев