

## ОТЗЫВ

официального оппонента Пенькова Фёдора Михайловича на диссертационную работу Руднева Владимира Александровича «Исследование новых эффектов в стационарных и нестационарных системах нескольких тел», представленную на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

### **Актуальность темы диссертации**

В диссертации В.А. Руднева «Исследование новых эффектов в стационарных и нестационарных системах нескольких тел» отражены результаты исследований, нашедшие применение в широком наборе работ, связанных с квантовыми системами нескольких частиц. На основе прямого решения стационарных и нестационарных задач нескольких тел автор получил результаты, позволившие выявить новые эффекты и закономерности как для стационарных систем, так и для систем, взаимодействующих с внешними полями. Высокая цитируемость работ В.А. Руднева в областях атомной и молекулярной физики, находящихся в центре внимания экспериментаторов, не оставляет сомнений в актуальности исследований диссертанта.

### **Научная новизна**

Автором диссертации получены новые важные физические результаты. Удалось выявить связь между эффектом Ефимова и линией Филлипса. Обнаружены и исследованы серии окологороговых резонансов в рассеянии ориентированных полярных молекул, выявлена связь между величиной полного сечения рассеяния и анизотропией дифференциального сечения рассеяния. Диссертантом был предсказан эффект влияния фазы электромагнитного импульса на фотодиссоциацию молекулярных систем, подтвердившийся впоследствии на эксперименте, построена общая теория влияния фазы между несущей и огибающей импульсного воздействия на конечное состояние квантовой системы. Были выявлены общие качественные, касающиеся любых квантовых систем, условия, при которых фаза импульса может влиять на конечное состояние системы.

Эти результаты получены на основе разработанных и реализованных автором вычислительных методик, включающих использование асимптотически оптимальных сеток в трёхчастичных расчётах, новых подходов к преобуславливанию системы уравнений Фаддеева, реализации высокоэффективных методов решения уравнения Шрёдингера для нестационарных состояний.

### **Содержание диссертации**

Диссертация состоит из Введения, двух частей, включающих по три главы, и Заключения.

Во Введении автор обосновывает актуальность работы, формулирует её цели и задачи, суммирует положения, выносимые на защиту.

Первая часть посвящена пороковым эффектам в системах нескольких тел. В первой главе рассматриваются высокоэффективные вычислительные схемы решения уравнений квантовой механики в стационарной постановке. Автор формулирует принципы построения таких схем, рассматривает использование асимптотически оптимальных сеток в трёхчастичных расчётах, предлагает новый подход к преобуславливанию дискретизованных



систем уравнений Фаддеева, позволяющий сократить эффективную размерность пространства решения.

Во второй главе метод, разработанный в первой главе, применяется к решению трёхчастичных задач. В первом разделе главы описано подробное тестирование реализованной вычислительной схемы на примере системы трёх атомов гелия. Подробно проанализированы источники погрешности, способные повлиять на согласованность результатов разных авторов. Диссертант продемонстрировал, что для потенциальных моделей, определённых в единицах температуры, разработанная схема решения задачи позволяет выполнять вычисления с точностью, определяемой неопределённостью постоянной Больцмана. Во втором разделе главы исследуется корреляция энергии околопорогового связанного состояния трёх частиц и длины рассеяния частицы на связанной паре, подобная линии Филлипса. Выявлен универсальный характер поведения такой корреляции в режиме взаимодействия, близком к ефимовской универсальности, и получено новое соотношение для околопороговых наблюдаемых при таких условиях взаимодействия.

В третьей главе исследуется пороговое поведение сечения рассеяния ориентированных полярных молекул. Показано, что при вариации поляризующего поля пороговое поведение сечения рассеяния определяется универсальной серией резонансов. Приведена классификация таких резонансов, выявлена связь величины полного сечения с анизотропией рассеяния.

Вторая часть посвящена исследованию влияния фазы между несущей и огибающей электромагнитного импульса на взаимодействующие с ним квантовые системы.

Глава 4 посвящена решению нестационарной квантовой задачи трёх тел на основе метода скалированных координат. Получен новый результат, связывающий асимптотическое поведение волновой функции в скалированных координатах с волновой функцией в импульсном представлении. Это новое соотношение позволяет получать распределение фрагментов реакции по импульсам без использования интегральных преобразований. Обсуждается использование метода для исследования моделей фотодиссоциации положительного молекулярного иона водорода в поле короткого сильного лазерного импульса. Автором предсказана чувствительность конечного состояния к фазе электромагнитного импульса, которая может наблюдаться в угловом распределении фрагментов реакции и в ещё более существенной мере влияет на распределение фрагментов реакции по скоростям.

В пятой главе подробно рассмотрен вопрос о наблюдаемости предсказанных в четвёртой главе фазовых эффектов в реалистическом сценарии эксперимента. Автор заключает, что для наблюдения фазовых эффектов в угловом распределении фрагментов, диссоциирующих из некогерентного начального состояния, необходимо либо обеспечить геометрию эксперимента, гарантирующую равномерное распределение интенсивности излучения по объёму мишени, либо выполнять селекцию результатов по интенсивности внешнего поля. В то же время, наиболее просто наблюдать фазовые эффекты можно на хвостах распределений фрагментов реакции по энергии, что не требует ни подготовки когерентного состояния мишени, ни сложной геометрии эксперимента. Показано, что наблюдение фазовых эффектов в диссоциации молекулярных ионов водорода наиболее благоприятно при интенсивностях поля, когда вероятности ионизации и диссоциации системы оказываются сравнимыми.

Глава 6 посвящена построению теории фазовых эффектов при взаимодействии



произвольной квантовой системы с импульсом электромагнитного поля. Автором получено представление, позволяющее явным образом восстановить зависимость волновой функции квантовой системы, взаимодействующей с электромагнитным импульсом, от фазы импульса по решению уравнения, не зависящего от фазы. Это представление дало возможность интерпретировать любые фазовые эффекты в терминах интерференции квазиэнергетических состояний, отвечающих различному числу поглощённых либо испущенных фотонов. Подробно рассмотрена модель двухуровневой системы, взаимодействующей с электромагнитным полем. Эта модель позволила выявить качественные условия возникновения фазовых эффектов. В частности, показано, что для появления фазовых эффектов импульс должен быть достаточно интенсивным, длительность импульса при этом может играть второстепенную роль.

**Наиболее важные результаты**, полученные диссертантом:

- разработан высокоэффективный метод прямого решения квантовой задачи трёх тел;
- открыты новые универсальные закономерности, связывающие околопороговые наблюдаемые в задаче трёх тел в ефимовском режиме, подобные линии Филлипса;
- предсказаны универсальные серии околопороговых резонансов в рассеянии ориентированных диполей и описаны их свойства;
- предсказан эффект влияния фазы между несущей и огибающей электромагнитного импульса на диссоциацию молекул;
- получены практические оценки наблюдаемости фазового эффекта в диссоциации молекулярного иона водорода;
- построена теория, объясняющая эффекты влияния фазы между несущей и огибающей электромагнитного импульса на взаимодействующую с ним квантовую систему, и объяснены качественные условия их появления.

По представленной диссертации замечаний, касающихся научной или результативной составляющей, нет. Тем не менее необходимо отметить ошибки оформления диссертации:

- Объем диссертации содержит 248 страниц, тогда как в автореферате указывается объем из 249 страниц.
- В оглавлении нет раздела “Заключение”, который находится на 212 странице.
- В тексте содержатся указатели на английском типа Eq., Eqs., Fig. и Table.
- Название колонок таблиц содержат английские термины. Например, “Potential”, “References”, “Molecule”.
- Нарушается последовательность нумерации ссылок. Так, во Введении на стр. 5 после ссылки [5] идет ссылка [79] и далее – ссылки [88,89].
- Понятия, используемые при описании метода скалирования в главе 4, например, вероятность диссоциации по выделенному каналу, раскрываются только в следующей главе.
- Нет явного определения области проектирования  $\Omega$  на каналы диссоциации (стр.157-158).
- Количество положений, выносимых на защиту, по моему мнению, слишком велико и может быть уменьшено путем объединения 1 и 2 положений, 4 и 5, а также 6 и 8 положений, сводя таким образом их общее количество до шести.



Эти замечания не влияют на высокую оценку представленной работы, качества и важности полученных научных результатов. Результаты *хорошо обоснованы*, что подтверждается публикациями автора в высокорейтинговых физических журналах, включая Physical Review Letters. Широкое цитирование работ автора, положенных в основу диссертации, подтверждает *высокую практическую значимость* представленной работы. Часть сделанных теоретических предсказаний недавно нашла экспериментальное подтверждение. Полученные диссертантом результаты могут быть использованы в СПбГУ, ОИЯИ, НИЦ «Курчатовский институт», ИЯФ Министерства энергетики Республики Казахстан и других научных центрах.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне, и удовлетворяет требованиям Постановления 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года «Положение о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор – Руднев Владимир Александрович – заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Официальный оппонент Пеньков Фёдор Михайлович,  
доктор физико-математических наук  
по специальности – 01.04.02 «теоретическая физика»,  
заведующий Лабораторией теоретической ядерной физики,  
Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан,  
050032, Казахстан, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1.  
Рабочий телефон: +7 727 386 65 35  
E-mail: [penkov@inp.kz](mailto:penkov@inp.kz)

14 мая 2018 года

Подпись зав. ЛТЯФ ИЯФ д.ф.-м.н. Ф.М. Пенькова удостоверяю,

Ученый секретарь РГП ИЯФ



У.П. Козтаева