

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Харина Василия Юрьевича «Взаимодействие интенсивных ультракоротких низкочастотных лазерных импульсов с двухатомными гетероядерными молекулами», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Диссертационная работа В.Ю.Харина посвящена теоретическому исследованию взаимодействия молекулярных систем с интенсивными импульсами электромагнитного поля и анализу индуцированной полем динамики квантовых колебательно-вращательных волновых пакетов. Тема исследований, безусловно, является актуальной в связи с быстрым прогрессом в генерации интенсивного электромагнитного излучения и получении мощных лазерных импульсов, в том числе, ультракороткой длительности. В случае таких полей принципиально важным является использование аналитических подходов, учитывающих взаимодействие с сильным полем за рамками пертурбативных приближений и предсказание новых эффектов, возникающих в режиме сильного поля. В диссертации исследовано и впервые описано явление подавления процесса диссоциации молекул в сильном поле в режиме эффективных колебательно-вращательных переходов в пределах нижнего электронного терма. При этом, принципиальное значение имеет возможность эффективного заселения большого числа высоких вращательных состояний молекулы, что обеспечивает узконаправленное выстраивание молекул и управление их ориентацией и важно для целого ряда практических приложений и новых физических исследований в физике молекул. В частности, одним из интересных направлений является генерация поляризационного отклика молекулярных систем на низкой частоте при воздействии интенсивных электромагнитных импульсов. Эти и ряд других важных научных задач являются предметом исследования и успешно решены в диссертационной работе Харина В.Ю.

Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения. Во Введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цели и задачи исследования, показана новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту. Первая глава диссертации содержит литературный обзор, в котором рассматривается современное состояние проблем по теме диссертации.

В Главе 2 формулируется разработанный диссертантом теоретический подход для решения задачи о взаимодействии интенсивных низкочастотных ультракоротких лазерных импульсов с двухатомными гетероядерными молекулами, основанный на численном решении нестационарного уравнения Шредингера для ядерной подсистемы молекулы во внешних импульсах поля с учётом как колебательных, так и вращательных степеней свободы. Одновременный учет большого числа колебательно-вращательных состояний является необходимым в случае воздействия сильных полей на гетероядерные молекулы, но представляет собой крайне трудную вычислительную проблему и впервые реализован Хариним В.Ю. На основе разработанного подхода в данной главе проведено исследование колебательно-вращательной динамики и диссоциации молекул в интенсивных электромагнитных импульсах и обнаружено подавление диссоциации молекул в сильном низкочастотном лазерном поле. Продемонстрирован интерференционный механизм данного явления, обусловленный рамановскими переходами, идущими как через нижележащие связанные состояния, так и через вышележащие состояния колебательного континуума.

Наиболее важным представляется вывод об определяющей роли  $V$  –переходов, приводящих в процессе воздействия поля к существенному заселению нижележащих связанных колебательно-вращательных состояний гетероядерной молекулы и формированию связанного

колебательно-вращательного волнового пакета, крайне устойчивого к процессу диссоциации. Также большое значение имеют разработанные диссертантом методы экспериментального наблюдения обнаруженного эффекта стабилизации и характеристик сформированного стабильного ядерного волнового пакета, основанные на двухимпульсных схемах типа «pump-probe». Отметим, что явление интерференционной стабилизации было первоначально теоретически предсказано только для высоковозбужденных Ридберговских атомных систем, а исследование такого режима в гетероядерных молекулах в условиях эффективных колебательно-вращательных переходов в пределах одного электронного терма впервые реализовано Хариным В.Ю., что представляет собой новый и важный физический результат.

В главе 3 исследуется взаимодействие гетероядерных молекул с электромагнитными импульсами предельно короткой длительности. Помимо численного решения нестационарного уравнения Шредингера для описания колебательно-вращательной динамики молекулы в этом случае в диссертации развит аналитический подход, основанный на методе «внезапных возмущений», что позволяет получить аналитические выражения для амплитуд вероятностей заселения колебательно-вращательных состояний в произвольный момент времени после импульса. Показано, что используемая аналитическая модель абсолютно надежно воспроизводит результаты прямого численного интегрирования нестационарного уравнения Шредингера в случае достаточно коротких длительностей воздействия поля.

Принципиально важным и новым результатом, полученным в данной главе, является вывод о существенном влиянии колебательных и вращательных степеней свободы молекулы друг на друга, что определяет заселение различных состояний молекулы и формирование квантового волнового пакета под действием импульса поля. В результате имеет место заселение большого числа гораздо более высоких вращательных состояний, чем предсказывается в модели «жесткого ротатора», не учитывающей колебательные степени свободы. Таким образом, появляется возможность контролировать характеристики формирующегося колебательно-вращательного волнового пакета, что имеет большое значение для различных практических приложений.

Глава 4 посвящена анализу поляризационного отклика, возникающего в среде гетероядерных молекул в процессе распространения в ней коротких импульсов поля. В работе продемонстрировано, что в спектре дипольного отклика среды гетероядерных молекул появляются пики на частотах гораздо ниже исходной частоты воздействующего лазерного поля, вплоть до терагерцового диапазона. Возникновение этих пиков обусловлено эффективным заселением вращательных состояний молекулы, а их интенсивность может быть усилена, если пробный импульс поля распространяется по среде, предварительно возбужденной импульсом накачки. Полученный результат открывает возможность управления спектром поляризационного отклика среды и генерации излучения с требуемыми характеристиками.

В качестве замечаний отмечу:

- Все результаты работы получены с учетом переходов между колебательно-вращательными состояниями в пределах только одного начально заселенного электронного терма молекулы. Было бы полезно оценить, хотя бы качественно, как повлияет на обнаруженный эффект подавления диссоциации перезаселение колебательных состояний рамановскими переходами  $\Lambda$  – типа, идущими через вышележащий возбужденный электронный терм.

- В условиях заселения сильным полем большой суперпозиции колебательно-вращательных состояний представляется важным сформулировать границы применимости использованного в работе метода «встряски» по длительности импульсного полевого воздействия.

- Необходимо обсудить роль некогерентного заселения состояний из-за ненулевой температуры и его влияние на динамику системы и обнаруженные эффекты.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что данная диссертационная работа представляет собой важный вклад в физику взаимодействия интенсивного лазерного излучения с квантовыми молекулярными системами.

Диссертация Харина В.Ю. является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне и содержащей новые решения актуальных задач, имеющих важное общезначимое и прикладное значение. Несмотря на отмеченные замечания, достоверность результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. Результаты исследований опубликованы в ведущих научных журналах, неоднократно докладывались на Всероссийских и международных конференциях, признаны научными специалистами по данной тематике во всем мире. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

По значимости и актуальности полученных результатов диссертационная работа Харина В.Ю. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Харин В.Ю., несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Профессор кафедры теоретической физики МФТИ,

Доктор физико-математических наук

В. П. Крайнов

Подпись проф., д. ф.-м. н. Крайнова Владимира Павловича заверяю

Учёный секретарь МФТИ



Ю.И. Скалько

5 сентября 2014 г.