

В диссертационный совет  
Д 003.024.01 при Институте лазерной физики СО РАН  
630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 13/3.

## ОТЗЫВ

официального оппонента, д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики Рождественского Юрия Владимировича, на диссертационную работу Ильинкова Романа Ярославовича «Двухуровневый атом в поле стоячей световой волны: полный квантовый учет эффектов отдачи и пространственной локализации», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «Лазерная физика»

### Актуальность темы диссертации

В настоящее время техники лазерного охлаждения и физика холодных атомов стали неотъемлемой частью как фундаментальной, так и прикладной науки. В этой новой и важной области исследуются новые состояния вещества (конденсация Бозе-Эйнштейна, и Ферми-газ), которые позволяют непосредственно моделировать физические процессы происходящие в твердых телах и нейтронных звездах, и создаются новые высокостабильные стандарты частоты нового поколения на основе холодных атомов и ионов. Диссертационная работа Р.Я. Ильинкова посвящена теоретическому исследованию лазерного охлаждения двухуровневых атомов в стоячей световой волне с полным квантовым учетом эффектов отдачи и локализации атомов. Учитывая, что двухуровневое приближение является основным в задачах лазерного охлаждения, а также то что наиболее сложным является исследование взаимодействия атома с полем стоячей световой волны при учете эффекта отдачи, выбранная тема диссертационной работы безусловно актуальна. Подобное исследование позволяет глубже понять взаимодействие атомов с лазерными полями и исследовать ранее слабоизученные режимы взаимодействия, а также оптимизировать проведение экспериментальных исследований.

## **Новизна и достоверность результатов**

Научная новизна представленной работы заключается в ряде новых результатов:

- 1) Предложен новый подход к теоретическому описанию кинетики ансамбля атомов в поле встречных волн с полным учетом эффекта отдачи и пространственной локализации. Данный метод позволяет получать стационарные распределения атомов в импульсном, координатном и фазовом пространствах.
- 2) Впервые исследованы границы применимости квазиклассического приближения и режим большой энергии отдачи.
- 3) Впервые обнаружен эффект аномальной локализации атомов в поле сильной стоячей световой волны.
- 4) Разработан общий метод статистического анализа динамики квантовых систем, который не требует решения полной динамической задачи.
- 5) Указанный метод применен к исследованию динамики атома в двухуровневом приближении, как для полного квантово механического расчета, так и для квазиклассического приближения на основе уравнения Фоккера-Планка. Найдены зависимости времени установления средней кинетической энергии атома от частоты Раби, частоты отдачи и отстройки лазерного поля.

Научную новизну и значимость результатов подтверждают публикации в рецензируемых журналах, и представление данных результатов в рамках российских и международных конференций.

Диссертационная работа Р.Я. Ильинкова состоит из Введения, трех глав и Заключения, содержит 98 страниц текста и 129 ссылок на литературу.

**Во Введении** дан краткий обзор истории лазерного охлаждения и исследований посвященных теоретическому описанию взаимодействию оптических полей с атомными системами, а также обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель и основные задачи работы.

**В Главе 1** разрабатывается математический формализм подхода, описывающего взаимодействие света с ансамблем атомов, выводятся уравнения исследуемой системы с учетом спонтанной релаксации, пространственной локализации и эффекта отдачи. К матрице плотности, записанной в векторном виде

(что превращает систему уравнений операцию над матрицами) применяется разложение в ряд Фурье, что позволяет составить рекуррентную зависимость между соседними гармониками.

**Глава 2** посвящена анализу стационарных импульсных, пространственных и фазовых распределений атомов для различных режимов и параметров задачи.

Проводится сравнение результатов точного квантового расчета с результатами квазиклассического приближения, показано, что в сильных световых полях квазиклассическое приближение нарушается при меньшей частоте Раби. В режиме большой частоты отдачи наблюдаются узкие импульсные распределения, имеющие ширину порядка импульса одного фотона, а их положение зависит от величины частоты Раби. Для двухуровневого атома такие структуры можно интерпретировать как проявление селективного по скорости когерентного пленения населенностей. Проводится сравнение с результатами секулярного приближения, в области применимости имеется качественное согласование, а вне ее наблюдаются отличия форм импульсных распределений.

Обнаружен новый эффект аномальной пространственной концентрации атомов в сильных световых полях при отстройке частоты в красную область спектра в зависимости от значений кинетической энергии. Так атомы концентрируются или в точках соответствующих максимуму оптического потенциала или в пространственных точках, соответствующих склону потенциала, что сопровождается немонотонным импульсным распределением атомов. Данному явлению дается простая интерпретация: в сильных полях атомы имеют не нулевую наиболее вероятную скорость и, если соответствующая этой скорости кинетическая энергия больше глубины потенциала, то атомы замедляются и концентрируются в точках максимума оптического потенциала, если же кинетической энергии атомов, в среднем, недостаточно для преодоления потенциального барьера, то атомы концентрируются в точках поворота.

В **Главе 3** формулируется универсальный статистический подход к динамике лазерного охлаждения, который позволяет получать различную информацию о времени установления стационарного распределения без решения прямой динамической задачи. Метод применяется к точному квантовому подходу и к квазиклассическому приближению на основе уравнения Фоккера-Планка.

Проводится исследование зависимости установления средней кинетической энергии от параметров задачи. Показано, что точный квантовый расчет дает меньшее время охлаждения, чем квазиклассический и эта разница увеличивается с ростом частоты отдачи. Обнаружено, что имеется оптимальная, с точки зрения времени охлаждения, частоты отстройки, соответствующая области допплеровского охлаждения.

**В Заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации, обсуждается практическая и теоретическая значимость работы.

## **Общая оценка работы**

Автором исследована кинетика двухуровневых атомов в поле стоячей световой волны с полным учетом эффектов отдачи и пространственной локализации: получены стационарные распределения, разработан и апробирован метод позволяющий получать информацию о времени переходного процесса. Работа представляет связный, целостный научный труд, отличающейся системным подходом при решении поставленных задач. Полученные результаты и подходы, разработанные в диссертационной работе, могут быть использованы в таких областях науки и техники как создание стандартов частоты и времени, квантовой информатике, и атомной нанолитографии.

В качестве недостатков работы можно указать следующее.

1. Не обосновано почему средняя кинетическая энергия атома была выбрана в качестве величины, которая может характеризовать время охлаждения.
2. Не полностью ясен вывод уравнение для величины средний квадрат атомного импульса.
2. В работе имеется ряд досадных опечаток.

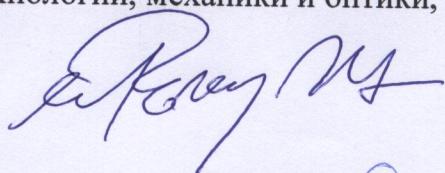
Тем не менее, указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы, результаты которой являются оригинальными, а сама работа выполнена на высоком профессиональном уровне. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию представленной работы. Таким образом, представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК, а ее автор Ильенков Р.Я., без сомнений, заслуживает присуждения ему ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 –  
«Лазерная физика»

Официальный оппонент:

в.н.с., Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики,

д.ф.-м.н.



Ю.В. Рождественский

Подпись Ю.В. Рождественского удостоверяю.

