

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Тимофеева Николая Александровича на диссертацию Мехова Игоря Борисовича на тему: «Квантовая оптика ультрахолодных квантовых газов: открытые системы за рамками диссипации», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.6. Оптика.

Диссертационная работа И. Б. Мехова посвящена развитию теории новых явлений, объединяющих две широкие и интенсивно развивающиеся области современной физики: квантовую оптику и физику ультрахолодных квантовых газов. Квантовая оптика и физика ультрахолодных квантовых газов в настоящее время являются двумя активно развивающимися областями современной физики и основой развития новых прикладных квантовых технологий, квантовой информации и квантового искусственного интеллекта. Однако до недавнего времени взаимодействие между этими двумя областями практически отсутствовало. До сих пор все эксперименты и подавляющее большинство теоретических работ в данной области совершенно не учитывали квантовую природу света. Главная задача диссертационной работы – объединить эти две области и разработать теорию новых явлений, в которых квантовая природа атомных волн вещества и световых волн одинаково важна. Тематика исследований, безусловно, чрезвычайно интересна. Быстрый прогресс в данной области исследований, необходимость разработки новых теорий и объединения квантовой оптики и физики квантовых газов, а также перспективы использования результатов диссертации в квантовой информации и в квантовых технологиях делают работу И. Б. Мехова своевременной и актуальной.

Главной целью работы является развитие теории новых явлений, объединяющих две широкие и интенсивно развивающиеся области современной физики: квантовую оптику и физику ультрахолодных квантовых газов. Эта теория рассматривает свет и движение многочастичных систем на равной квантовой основе.

Для решения поставленных задач использованы теоретические подходы как из квантовой оптики, так и из физики многих тел. Квантово-оптические методы включают уравнения Гейзенберга–Ланжевена, основное уравнение, стохастическое основное уравнение, стохастические уравнения в форме Ито и Стратоновича, моделирование волновой функции квантовым методом Монте-Карло. Многочастичные методы включают приближение среднего поля, задачи многомерной оптимизации и моделирование методом ренормализационной группы матрицы плотности.

К основным результатам работы, полученным впервые, можно отнести следующие.

1. Разработана модель, описывающая взаимодействие ультрахолодных атомов (бозонов и фермионов), захваченных в оптических решетках, с одной или несколькими квантованными модами света.
2. Доказано, что при определенных условиях измерение света представляет собой неразрушающее (вплоть до физически привлекательного квантового неразрушающего уровня) измерение многочастичных переменных ультрахолодной атомной системы. Это контрастирует с абсолютным большинством современных методов, являющихся разрушающими.
3. Найдены соотношения между измеряемыми свойствами света и квантовыми статистическими переменными квантового газа, такими как флуктуации и многоточечные пространственные корреляции плотности. Доказано, что функции

распределения различных атомных переменных могут быть напрямую отображены в спектре пропускания высокодобротного резонатора.

4. Показано, что рассеяние света чувствительно не только к плотности атомов в узлах решетки, но также и к интерференции полей вещества на минимально возможном расстоянии в оптической решетке (периоде решетки), которая определяет такие важные свойства, как туннелирование, атомные токи и фазовые градиенты атомных волн.
5. Показано, что рассеяние света на атомных решетках представляет собой квантовое измерение с контролируемой формой обратного действия. Таким образом, используется измерение как активный инструмент для приготовления многочастичных атомных состояний. При этом класс возникающих многочастичных состояний может быть выбран с помощью оптической геометрии и частоты света.
6. Доказано, что обратное действие квантовых измерений представляет собой новый источник конкуренции в атомных многочастичных системах в дополнение к стандартным туннелированию и короткодействующему взаимодействию атомов.
7. Продемонстрировано множество новых явлений: генерация и макроскопические осцилляции мод поля вещества, далеко коррелированное туннелирование и истинно многочастичное модовое перепутывание, как защита, так и разрушение фермионных пар путем измерения, а также индуцированный измерениями антиферромагнитный порядок.
8. Предсказан новый необычный тип квантовой динамики Зенона вследствие комбинационных (рамановских) переходов через виртуальные состояния вне подпространства Зенона. Расширено понятие квантовой динамики Зенона на область неэрмитовой квантовой механики, объединяя, таким образом, две концепции.
9. Расширена концепция управления обратной связью от управления квантовым состоянием (известного в квантовой метрологии) до управления фазовыми переходами в квантовых системах. Показано, что квантовые слабые измерения и цепь обратной связи могут вызывать фазовые переходы, выходящие за рамки диссипативных.
10. Продемонстрировано, что квантовая и динамическая природа оптических потенциалов приводит к новым квантовым фазам ультрахолодных атомов, недостижимым в сравнимых заданных классических оптических решетках. Показано возникновение не только параметров порядка плотности, таких как сверхтвердое состояние и волны плотности, но и параметров порядка амплитуд (связей) волн вещества, таких как сверхтекучие и сверхтвердые димеры. Сформулирована концепция квантовых симуляторов, основанных на коллективном взаимодействии света и вещества.

Следует отметить то, что тематика диссертации и полученные результаты находятся на самом передовом рубеже современной физики. Работа написана прекрасным языком. Постановка задач, пути решения и выводы сформулированы ясно и понятно. Достоверность результатов не вызывает сомнений, что подтверждается широкой и всесторонней апробацией и публикациями в высокорейтинговых реферируемых журналах.

По работе у меня нет серьезных замечаний. Ограничусь пожеланием, которое высказывали многие мои коллеги и к которому я тоже присоединяюсь. Полученные результаты чрезвычайно интересны. Поэтому было бы целесообразно на их основе

подготовить монографию, которая для широкой научной общественности будет более доступна, чем докторская диссертация.

Диссертация Мехова Игоря Борисовича на тему: «Квантовая оптика ультрахолодных квантовых газов: открытые системы за рамками диссипации» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Мехов Игорь Борисович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.6. Оптика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Председатель диссертационного совета
Доктор физико-математических наук, профессор



Н. А. Тимофеев.

22 ноября 2021 г.