

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Литвинова Андрея Николаевича
«Нелинейные оптические резонансы при возбуждении квантовых систем
многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической
плотностью»,

представленную на соискание степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Тема диссертационной работы А.Н. Литвинова посвящена теоретическому исследованию нелинейных оптических резонансов при возбуждении атомных систем многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической плотностью.

В первой главе диссертации рассмотрено формирование резонанса когерентного пленения населённостей (КПН) в оптически тонкой среде. Выведены основные квантовые кинетические уравнения для матрицы плотности с учётом конечного размера ячейки. Исследованы различные механизмы сужения резонанса когерентно пленения населённости — сужение Дике, лазерно-индуцированное сужение и механизм рамсеевского сужения для движущихся атомов. Проведено сопоставление полученных результатов с экспериментом. Рассмотрено формирование резонанса когерентного пленения населённости в полихроматическом поле излучения лазера со сдвинутой по частоте обратной связью.

Во второй главе исследовано явление КПН в оптически плотной среде в буферном газе при конечной температуре. Произведено обобщение теории на случай немонахроматического лазерного излучения. Выведена основная система самосогласованных уравнений для матрицы плотности и уравнений переноса спектра излучения через среду. Приведены результаты численного расчёта формы резонанса когерентного пленения населённости при прохождении излучения через среду. Показано, что при использовании широкополосного лазерного источника происходит искажение спектра излучения. Рассмотрен параметр качества для сигнала люминесценции и

сигнала прошедшей интенсивности в зависимости от различной ширины спектра лазерного источника. Исследовано влияние оптической плотности среды на межмодовые корреляции лазерного излучения.

В третьей главе исследованы чувствительные к фазе эффекты, которые проявляются при трёхфотонном резонансном возбуждении щелочных атомов. Рассмотрены дисперсионные свойства «холодных» атомов в оптически тонкой и оптически плотной средах для случая непрерывной монохроматической накачки. Показано, что в оптически плотной среде имеют место пространственные квазипериодические осцилляции интенсивности излучения. Развита теория переноса немонохроматического непрерывного излучения для замкнутого контура возбуждения в «горячих» и «холодных» атомах, находящихся в ячейке с буферным газом в оптически плотной среде. Проведен анализ чувствительных к фазе эффектов для случая импульсного возбуждения.

В четвертой главе рассмотрены поляризационные и нелинейные эффекты при прохождении лазерного излучения через оптически плотную среду в условиях резонанса КПН. Выведены основные квантовые кинетические уравнения для щелочного атома, взаимодействующего с излучением произвольной поляризации в оптически плотной среде. При этом учтена зеэмановская и сверхтонкая структура атома. На основе численного решения этих уравнений детально проанализирована зависимость формы резонанса когерентного пленения населенностей от параметров возбуждения. В ходе исследования обнаружены световые сдвиги, обусловленные тем, что среда имеет конечную оптическую плотность. Предложены методы компенсации этих сдвигов. Также рассмотрено селективное детектирование поляризационных компонент излучения. Обнаружены и проанализированы эффекты дихроизма и двойного лучепреломления, возникающие при наведении оптической анизотропии в условиях эффекта КПН в оптически плотных атомных средах. По результатам расчёта проведен анализ влияния векторных свойств поля и зеэмановской структуры уровней атома на межмодовые корреляции. Результаты расчёта сопоставлены с экспериментальными данными.

Пятая глава посвящена импульсной накачке резонанса КПН, реализующей рамсеевскую схему опроса Λ -атома в оптически плотной среде. Выведены основные уравнения, описывающие данную схему. В диссертации впервые показано, что световые сдвиги рамсеевских резонансов неэквидистантны с увеличением оптической плотности среды. Проанализирован вклад, обусловленный сверхтонкой структурой возбуждённого уровня, в световые сдвиги и предложен метод их компенсации.

В шестой главе рассмотрено приложение теории, развитой в предыдущих главах, к описанию работы физического блока приборов квантовой электроники — малогабаритных квантовых стандартов частоты и гироскопа на атомном спине с оптическим детектированием. В диссертации приведены расчёты зависимости кратковременной стабильности от различных параметров возбуждения резонанса КПН. На основе многофакторной оптимизации определены оптимальные параметры, такие как ширина спектра лазерного излучения, тип поляризации лазерного излучения, тип накачки, интенсивность лазерного излучения, температура ячейки физического блока квантового стандарта частоты, позволяющие достичь наибольшей стабильности квантового стандарта частоты. Построена теория гироскопа на атомном спине и проведено численное моделирование сигнала гироскопа. Выявлена сложная составная структура этого сигнала. Показано, что простые методы демодуляции не позволяют провести её детектирование с требуемой точностью. Поэтому требуется модификация методов детектирования для достижения навигационного класса точности.

В Заключение приведены основные выводы, сделанные автором по результатам выполненных исследований.

Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений, она подтверждена внутренней непротиворечивостью выбранных автором теоретических методов — аналитических и численных — и сопоставлением результатов с экспериментальными данными. Полученные в диссертации А.Н. Литвинова результаты представляют несомненный интерес для данной области исследований. Результаты данного диссертационного исследования отражены

в 32 публикациях в ведущих физических журналах. Среди них одна статья в *New Journal of Physics*, входящий в квартиль Q1, одна — в *Physical Review A* и четыре — в *Journal of Physics B*, входящих в квартиль Q2 базы Web of Science. Также имеются две публикации в журнале «Письма в ЖЭТФ». Шесть работ опубликованы в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» и шесть — в журнале «Квантовая электроника». Тематика перечисленных изданий полностью соответствует теме диссертации. По результатам диссертационной работы получены один патент на изобретение и одно авторское свидетельство на программу ЭВМ. Материалы диссертации многократно докладывались на международных и российских конференциях по тематике работы.

Основные положения диссертации А.Н. Литвинова, выносимые на защиту, обладают безусловной **научной новизной**.

Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Тем не менее, диссертация не лишена некоторых, впрочем, весьма незначительных, **недостатков**.

1. В Главах 1–4 автор предполагает, что лазерный спектр имеет огибающую в форме лоренцева контура. Однако, в работе отсутствуют комментарии по поводу того, как изменится параметр качества резонанса КРН для других моделей спектра, например, в случае гауссовой огибающей. Такие оценки были бы полезны в данной работе.

2. В главе 5 рассмотрена рамсеевская схема опроса резонанса когерентного пленения населенностей для случая неподвижных атомов. Однако, автору следовало бы качественно пояснить, как изменится амплитуда рамсеевского резонанса при учёте движения атомов, находящихся в температурном диапазоне 40° – 70° С.

3. В тексте присутствуют незначительные опечатки, в частности:

- автор использует в тексте то «рамсеевская схема...», то «схема Рэмси»;
- после формулы (6.46) и далее по тексту индексы у некоторых векторов выделены жирным шрифтом, в чём нет необходимости;
- вместо длинного тире иногда использовано короткое тире, и даже дефис;

- в сложных формулах переменные напечатаны математическим курсивом, в то время как в тексте и в простых формулах переменные напечатаны в одних случаях прямым шрифтом, а в других — курсивом.

Указанные недостатки ни в коей мере не уменьшают ценности диссертации, написанной ясным и понятным научным языком.

Диссертационная работа Литвинова А.Н. представляет собой завершённое научное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном уровне с привлечением современного аппарата теоретической и математической физики.

Считаю, что диссертационная работа Литвинова А.Н. «Нелинейные оптические резонансы при возбуждении квантовых систем многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической плотностью» полностью отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» для учёной степени доктора наук, утверждённого постановлением Правительства № 842 от 24.09.2013, а её автор, Литвинов Андрей Николаевич, безусловно заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 — Лазерная физика.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
доцент кафедры теоретической физики
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный
университет»

07.02.2020

Корнев Алексей Станиславович

Почтовый адрес:
394018, г. Воронеж,
Университетская пл., 1

Тел.: +7 903 854 50 24

Адрес электронной почты:
a-kornev@yandex.ru

