

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию

Литвинова Андрея Николаевича

на тему: «НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСЫ ПРИ  
ВОЗБУЖДЕНИИ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ МНОГОЧАСТОТНЫМ  
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В СРЕДАХ С РАЗЛИЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ  
ПЛОТНОСТЬЮ»

по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

на соискание степени доктора физико-математических наук

### **1. Актуальность выбранной темы**

Диссертация А.Н. Литвинова посвящена проблеме взаимодействия оптического излучения с активными щелочными атомами в средах с различной оптической плотностью. Данная проблема является весьма актуальной, поскольку распространение лазерного излучения в оптически плотной атомной среде при наличии двух- или трёх- фотонного резонансного поглощения приводит к ряду новых физических явлений, представляющих фундаментальный интерес. При исследовании данных явлений в щелочных атомах существенную роль в формировании нелинейных резонансов играют такие факторы как: концентрация буферного газа и газа щелочных атомов, наличие стенок ячеек, некогерентность лазерного излучения, наличие поглощения в среде, поляризационные свойства лазерного излучения. При этом рассмотрение каждого фактора по отдельности не означает его аддитивности вклада в формирование линии резонанса. А.Н. Литвиновым в диссертации рассматриваются все вышеперечисленные факторы, причём отличительной особенностью диссертации является то, что эти факторы рассматриваются как по отдельности, так и при одновременном учёте. Исследование формирования оптических нелинейных резонансов при рассмотрении всех вышеперечисленных особенностей возбуждения, главным из которых является наличие оптически плотной среды, несомненно, подчёркивает актуальность выбранной тематики исследований.

Стоит отметить, что несмотря на то, что основной вектор исследований диссертации А.Н. Литвинова - это фундаментальность, детальный теоретический анализ поляризационных свойств излучения в условиях возбуждения нелинейных оптических резонансов имеет широкое практическое применение и позволяет определить оптимальные параметры

работы таких квантовых приборов, как квантовые стандарты частоты и гироскопы на атомном спине.

## **2. Содержание и апробация работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, приложений и списка литературы. Она содержит 271 страниц текста, включая 99 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 206 наименований.

По материалам диссертации опубликовано 34 печатные работы, из них 32 работы в рецензируемых журналах из списка ВАК. Также по результатам диссертационной работы получен один патент на изобретение и одно авторское свидетельство на программу ЭВМ. Кроме того, результаты диссертационной работы многократно докладывались на всероссийских и международных специализированных конференциях.

## **3. Достоверность результатов исследований**

Математическое описание динамических закономерностей, учитывающие все перечисленные факторы, реализуется А.Н. Литвиновым через систему кинетических уравнений для матрицы плотности. При этом учёт взаимодействия со стенкой ячейки реализуется путём введения граничных условий; поглощение проходящего через ячейку излучения, а также векторные свойства поля учитываются путём совместного решения уравнений Максвелла с квантовыми кинетическими уравнениями для матрицы плотности; динамика эволюции квантовой системы учитывается путём решения нестационарных уравнений для матрицы плотности; наличие стохастичности в амплитудах, частотах и фазах электромагнитного поля приводит к тому, что система квантовых кинетических уравнений становится стохастической.

Подходы, описанные выше, и используемые А.Н. Литвиновым в диссертации, ещё раз подчёркивают, что построенная теория и математические модели произведены в строгом соответствии с общепринятым математическим аппаратом квантовой механики, электродинамики и статистической физики. Достоверность полученных результатов дополнительно подтверждается хорошим согласованием с экспериментом.

## **4. Научная значимость результатов**

Если обобщить научную значимость результатов в целом, то можно отметить, что А.Н. Литвиновым построена теория нелинейных оптических резонансов (в том числе явления когерентного пленения населенностей (КПН)) в газовых ячейках для немонахроматического излучения в оптически плотных средах. В рамках этой теории автором получены следующие наиболее значимые результаты:

- Показано, что при возбуждении атомной среды широкополосным лазерным источником с ростом оптической плотности существенно искажается форма линия поглощения в условиях резонанса КПН.

- В случае наличия дополнительного радиочастотного излучения, формирующего замкнутый контур возбуждения, имеется область параметров, где наблюдаются пространственные квазипериодические осцилляции интенсивности излучения.

- Выявлено, что в оптически плотных средах в условиях резонанса КПН имеет место поворот плоскости поляризации и возникновение эллиптичности линейно поляризованного излучения на входе по мере прохождения через ячейку

- Световые сдвиги рамсеевских резонансов неэквидистантны по мере увеличения оптической плотности среды.

Полученные результаты являются новыми и имеют высокую научную значимость в области лазерной физики и исследований явления КПН в целом.

## **5. Практическая значимость результатов проведенных исследований**

Отличительной особенностью данной диссертации является то, что она имеет существенную ценность для практического применения, несмотря на теоретический характер. Так, А.Н. Литвиновым, на основе разработанной теории, создана математическая модель физического блока микроволнового квантового стандартов частоты и гироскопа на атомном спине с оптическим детектированием. На основе данной модели А.Н. Литвиновым проведена многофакторная оптимизация, которая позволила выявить наиболее оптимальные параметры работы квантового стандарта частоты, такие как: интенсивность лазерного излучения, ширина спектра лазерного излучения, величина магнитного поля, тип поляризации лазерного излучения, давление буферного газа, концентрация активных атомов, тип накачки. Анализ модели гироскопа на атомном спине с оптическим детектированием показал, что

известные методы демодуляции не позволяют определить с необходимой точностью значения частот механического вращения. Также в диссертации отмечается, что классическая модель не достаточна для того, чтобы, отрабатывать алгоритмы демодуляции, выбирать их параметры и анализировать ожидаемые точностные характеристики. Для более адекватного анализа алгоритмов демодуляции необходимо использовать результаты расчетов на основе разработанной квантовой модели, учитывающей непосредственное квантовое описание динамики магнитных моментов в системе. Это несомненно важный практический и теоретический результат, который даёт новый толчок к проблеме развития методов демодуляции сигнала сложных квантовых устройств.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

1) В Первой главе автором рассматривается формирование резонанса КГН в оптически тонкой среде при учёте конечных размеров ячейки. Было бы полезным, хотя бы, качественно объяснить, как будет выглядеть распределения населённости возбуждённого уровня в зависимости от координаты. Также хотелось бы услышать от автора, как скажется наличие поглощения в среде на пространственное распределение населённости возбуждённого уровня.

2) В третьей главе на рис. 3.15 приведены зависимости распространения энергетических спектров оптических полей вдоль координаты, на которых наблюдаются пространственные квазипериодические осцилляции этих спектров. В связи с этим возникает вопрос, по какому критерию были выбраны значения для частот Раби?

3) В тексте также встречаются опечатки, в частности:

- в тексте вместо знака «много больше» используется знак «два раза больше»

- одинаковые обозначения в тексте имеют в ряде случаев шрифт курсив, а в другом месте обычный шрифт

- текст подписей к рисункам в одних местах отформатирован с полуторным интервалом, а в других с одинарным

- на рис. 5.3 и 5.4 используется слишком мелкий шрифт в подписях осей

- на рис. 6.15 расшифровки названий, поясняющих схему установки, даны на английском языке

## 7. Заключение

Отмеченные замечания ни в коем случае не снижают научной значимости проведенных исследований, не ставят под сомнение новизну и достоверность полученных результатов и общую положительную оценку диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и вносит существенный вклад в развитие теории нелинейных оптических резонансов в щелочных атомах.

Диссертационная работа «Нелинейные оптические резонансы при возбуждении квантовых систем многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической плотностью» полностью отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» №842 предъявляемым к докторским диссертациям. Считаю, что автор диссертации – Литвинов Андрей Николаевич – заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц), доцент,  
проректор по научно-инновационному развитию,  
заведующий кафедрой фундаментальной и прикладной физики  
федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова»

М.К. Есеев



Почтовый адрес:

Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

Телефон/факс: +7 (8182) 41-28-45

Электронный адрес: m.eseev@narfu.ru