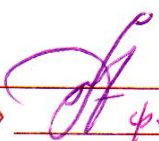




28.02.2020 № 746-13/1856
На 15319-534-01/9317 от 23.12.2019

«УТВЕРЖДАЮ»
первый зам. генерального директора -
заместитель по научной работе
ФГУП «ВНИИФТРИ», д.т.н

«27»  февраль **А.Н.Щипунов**
2020г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Литвинова Андрея Николаевича** «Нелинейные оптические резонансы при возбуждении квантовых систем многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической плотностью», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Актуальность работы

Взаимодействие бихроматического лазерного излучения с щелочными атомами представляет собой важную и актуальную задачу атомной спектроскопии и нелинейной оптики. В таких системах могут возникать нелинейные оптические резонансы, среди которых особую роль играет явление когерентного пленения населенностей (КПН). Отличительной особенностью явления КПН является наличие узкого окна прозрачности, которое может составлять несколько десятков Гц. Явление КПН

прозрачности может на несколько порядков быть уже ширины спонтанного распада возбуждённого уровня в атоме. Такая особенность эффекта КПН позволила ему найти широкий спектр практических применений. Особую роль здесь занимает использование нелинейных оптических резонансов при разработке высокостабильных малогабаритных квантовых стандартов частоты на щелочных атомах.

Современные работы по исследованию эффекта КПН показывают, что физика процессов, возникающих при наличии квантовой интерференции, является весьма актуальной областью исследований, о чём свидетельствует интерес к этому вопросу широкого круга исследователей, а также обнаружение новых физических эффектов в условиях КПН. Распространение лазерного излучения в оптически плотной атомарной среде при наличии двух- или трёх- фотонного резонансного поглощения приводит к ряду новых физических явлений, представляющих значительный интерес. Также значительный интерес представляет собой и исследование поляризационных и дисперсионных свойств излучения в условиях возбуждения нелинейных оптических резонансов. Понимание физической сути и особенностей проявления этих эффектов позволяет расширить фундаментальные представления о природе взаимодействия лазерного излучения с газами, а также использовать их в практических областях, таких, например, как квантовая метрология. Данные вопросы подробно изучены в диссертационной работе А.Н. Литвинова, что обуславливает её актуальность.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы

Научная новизна диссертации состоит в разработке теории нелинейных оптических резонансов в атомарных средах с учетом оптической плотности среды и математической модели, описывающей свойства резонансов при различных параметрах среды, которая позволяет описать фундаментальные физические явления, возникающие при взаимодействии многочастотного лазерного излучения с атомарными средами. На основе анализа решений систем уравнений (в рамках выбранной модели) теоретически исследованы свойства оптических нелинейных резонансов в щелочных атомах при учёте краевых эффектов, связанных с конечными размерами газовой ячейки; при наличии оптически плотной среды; при

наличии зеэмановской и сверхтонкой структуры атома; при возбуждении непрерывными и импульсными лазерными полями. Особое внимание уделено явлению когерентного пленения населенностей.

Полученные в рамках диссертационных исследований новые физические результаты имеют весьма актуальную и практическую значимость. Перечислим наиболее значимые из них. Диссертантом предложены способы подавления световых сдвигов при возбуждении резонанса когерентного пленения населенностей для импульсной и непрерывной накачки в оптически плотной среде. Одним из важных практических вопросов, рассмотренных в диссертации, несомненно является проведение многофакторной оптимизации и определение оптимальных параметров для достижения максимальной величины кратковременной стабильности физического блока квантового стандарта частоты на основе эффекта КПН. В работе также разработана оригинальная математическая модель физического блока гироскопа на атомном спине с оптическим детектированием. Данная модель, во-первых, позволила выявить сложную составную структуру сигнала, а, во-вторых, показала, что требуется существенная модификация методов детектирования для достижения заданного класса точности.

Достоверность выводов и научных положений

Все выполненные расчеты и аналитические выкладки были произведены в соответствии с общепринятым математическим аппаратом квантовой механики, электродинамики и статистической физики. Значительная часть теоретических результатов сопоставлена с экспериментальными данными и получено их хорошее согласование. Таким образом, достоверность результатов работы обеспечивается использованием теоретических и численных методов, и подходов, в рамках которых были получены основные результаты, представленные в диссертации.

Структура диссертации

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

Введение содержит обоснование актуальности темы, научной новизны, фундаментальной и практической значимости исследования, сформулированы цели работы. Приведены положения, выносимые на защиту.

Глава 1 диссертации посвящена описанию эффекта когерентного населенностей (КПН) в ячейке, заполненной парами щелочного металла. Взаимодействие излучения с атомами описывается в полуклассическом приближении. В данной главе атомарная среда предполагается оптически тонкой. Изучены различные механизмы сужения резонанса КПН. Исследованы особенности резонанса КПН в случае, когда пробный луч засвечивает не всю газовую ячейку, а только ее часть (так называемая зонная накачка). Представлено сравнение результатов, предсказываемых разработанной теорией резонанса КПН при зонной накачке, с результатами эксперимента.

Глава 2 посвящена обобщению теории на случай атомарной среды с произвольной оптической толщиной. При этом учтено движение атомов (температура предполагается порядка комнатной), а также конечная ширина спектра пробного излучения. Рассмотрены газовые ячейки, в которых, помимо активных атомов щелочного металла, находится также буферный газ. Проанализированы модификации спектра поглощения при прохождении излучения через оптически плотную газовую ячейку. По содержательному наполнению, эта глава является основополагающей в диссертационном исследовании.

В главе 3 главе проведено обобщение теории, которая развита в предыдущей главе, на случай наличия радиочастотного излучения, резонансного переходу между подуровнями основного состояния атомов. Это радиочастотное поле, действуя на атомы совместно с двумя компонентами оптического сигнала, создает замкнутый контур возбуждения. Описан ряд новых эффектов. В качестве нового эффекта, полученного в диссертации, можно указать открытие квазипериодических пространственных осцилляций показателя преломления и коэффициента поглощения.

Глава 4 посвящена исследованию поляризационных эффектов, имеющих место при распространении излучения в оптически плотной среде. Большое внимание уделено изучению световых сдвигов резонанса КПН. Проанализирована зависимость светового сдвига от различных параметров, таких как температура, ширина спектра пробного излучения, его интенсивность, а также концентрация атомов. В частности, подробно проанализирован случай, когда обе частотные компоненты пробного излучения являются линейно поляризованными. Показано, что по мере распространения в оптически плотной среде, излучение приобретает

эллиптическую поляризацию. В данной главе приведено подробное сравнение теоретических и экспериментальных результатов. Ширина резонанса, предсказываемая теорией, воспроизводится в эксперименте, но в амплитуде сигнала при определенных параметрах обнаружено небольшое расхождение.

В главе 5 рассмотрен метод Рэмси применительно к детектированию резонанса КПН в оптически плотной среде. Обнаружен ряд новых результатов, обусловленных учетом оптической плотности среды. В частности, показано, что световые сдвиги резонансов рамсеевской гребенки могут быть неэквидистантными. Особое внимание в данной главе уделено вопросу о компенсации световых сдвигов.

Глава 6 посвящена описанию практических приложений. Эта глава состоит из двух частей. В первой части рассмотрено применение развитой теории для описания работы малогабаритного квантового стандарта частоты, основанного на эффекте когерентного пленения населенностей. Во второй части описан гироскоп на атомном спине. Проведено сравнение выводов теоретических исследований с экспериментом, и показано, что сигнал магнитного резонанса гироскопа может быть с хорошей точностью описан в рамках разработанной теории.

В заключении суммируются основные итоги работы и приведён перечень основных результатов.

Замечания по содержанию диссертационной работы:

1. Формализм матрицы плотности положен в основу теоретического подхода диссертационной работы. Между тем, в тексте диссертации не уделено должного внимания обоснованию преимуществ данного подхода в сравнении с альтернативными методами, используемыми для решения круга задач, рассматриваемых в диссертационном исследовании;

2. В разделе 1.2 диссертации предложен новый механизм сужения КПН-резонанса, вызванного зонной накачкой при условии постоянства продольной скорости атомов при упругом рассеянии. А каковы численные оценки вероятности для таких упругих столкновений?

3. В разделе 6.1 приведен график кратковременной нестабильности КПН-часов за время накопления за 1 с в зависимости от отношения интенсивностей и

поляризационных свойств лазерных полей. Использование автором атомной системы единиц для отображения вариации Аллана (на этом графике, а также на других графиках данного раздела) создает дополнительные трудности в оценках полученных результатов;

4. Модельные ограничения на состав буферных газов (азот) и длину ячейки (2 см) приводят к весьма существенному сужению области применения полученных результатов диссертации в реалиях современного эксперимента;

5. Концовка раздела 6.1, относящаяся к описанию квантового стандарта частоты на изомерном переходе в ядре Th-229, не имеет никакого отношения к тематике диссертационного исследования.

Сделанные замечания носят, скорее, рекомендательный характер и не затрагивают основные положения диссертационной работы, а также общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Оценивая диссертационную работу Литвинова Андрея Николаевича в целом, можно сделать следующее заключение:

- тема диссертации актуальна, диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области исследования нелинейных оптических резонансов при возбуждении атомарных систем многочастотным лазерным излучением в средах с различной оптической толщиной;

- результаты диссертации обладают научной новизной, практической значимостью, прошли апробацию, в достаточной степени представлены в научных трудах автора;

- результаты диссертационных исследований имеют перспективу использования при разработке стандартов частоты нового поколения на КПН-эффекте, а также гироскопов на атомном спине;

- диссертация соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Литвинов Андрей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Отзыв ведущей организации составлен на основе обсуждения содержания диссертационной работы на заседании Ученого совета ФГУП «ВНИИФТРИ» (секция № 7, протокол № 8 от 12.07.19 г.).

Секретарь Ученого совета ФГУП «ВНИИФТРИ» (секция № 7)



В.В.Пьявкина

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник ГМЦ ГСВЧ,
ФГУП «ВНИИФТРИ», отделение НИО-7,

д.ф.-м.н.



В.Г.Пальчиков