

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Раднатарова Дабы Александровича

**«Свойства резонанса когерентного пленения населенностей при
нестационарном возбуждении в парах ^{87}Rb »,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика

Актуальность темы диссертации.

Эффект когерентного пленения населенностей (КПН) в парах щелочных металлов, в частности рубидия-87, лежит в основе современного подхода к созданию малогабаритных атомных стандартов частоты (АСЧ). Несмотря на большой прогресс в последние десятилетия в данной области, остается потребность во все более миниатюрных стандартах частоты с меньшим энергопотреблением и весом. Этим определяется внимание исследователей к изучению и совершенствованию подходов к возбуждению и детектированию реперных резонансов в таких устройствах. Таким образом, актуальность диссертационной темы исследований Д.А. Раднатарова, связанной с исследованием свойств резонанса КПН при нестационарном возбуждении, не вызывает сомнений. В рамках поставленных задач диссертантом были исследованы 1) зависимости свойств резонанса КПН и нестабильности атомного стандарта частоты на его основе от параметров нестационарного возбуждения резонанса, 2) методы увеличения контраста резонанса КПН активными методами, и 3) возможность использования в АСЧ на основе эффекта КПН многокомпонентного поля формируемого при модуляции тока диодного лазера на субгармониках резонансной частоты.

Содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы (84 наименования). Работа изложена на 124 страницах текста, включая 53 рисунка и 1 таблицу.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения, аргументируется научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены данные по апробации работы, личному вкладу диссертанта объему и структуре диссертации.

В **первой главе** дан обзор научной литературы по теме диссертации и представлено состояние проблемы исследований. Глава содержит краткий очерк основных теоретических положений и необходимых сведений, касающихся эффекта когерентного пленения населенностей. Анализируются полученные ранее ключевые результаты в области исследований, которой посвящена данная работы.

Во **второй главе** приведены результаты экспериментального и теоретического исследования переходных процессов при нестационарном возбуждении резонанса КПН на примере Λ -перехода в D_1 -линии ^{87}Rb ($F_{g=1,2} \rightarrow F_{c=2}$) в широком частотном диапазоне изменения разности частот бихроматического излучения накачки исследован эффект задержки формирования пика электромагнитно-индуцированной прозрачности, а также выявлена роль релаксирующих осцилляций на заднем фронте резонанса КПН в изменении формы резонанса.

В **третьей главе** приводятся результаты исследования влияния условий нестационарного возбуждения резонанса КПН на стабильность атомного стандарта частоты, в котором данный резонанс используется в качестве реперного. Показано, что для двух ячеек с существенно разными характеристиками формирования резонанса КПН отношение частоты и амплитуды сканирования, при которых достигается наименьшая нестабильность стандарта частоты на основе исследуемого резонанса КПН является постоянной величиной, которая близка к 1.

Четвертая глава посвящена исследованию методов активного контрастирования резонанса КПН при стационарном и нестационарном

возбуждении в парах ^{87}Rb с использованием дополнительной петли обратной связи, которая динамически меняет условия возбуждения резонанса, варьируя мощность бихроматического поля накачки. Было исследовано два метода: метод на основе стабилизации уровню люминесценции атомов и новый метод на основе параметрической стабилизации, поглощенной атомами мощности. Показано, что метод на основе стабилизации уровня люминесценции позволяет увеличить контраст резонанса КПН в 10 раз в квазистационарном режиме возбуждения и в 13 раз в нестационарном, а параметрическая стабилизация поглощенной мощности увеличивает контраст резонанса более чем в 100 раз в квазистационарном режиме и в 25 раз в нестационарном режиме возбуждения. Таким образом, в работе было показано, что параметрическая стабилизация поглощенной мощности является более эффективным методом контрастирования резонанса КПН при малых мощностях излучения накачки.

В пятой главе представлены результаты исследований свойств резонанса КПН при его возбуждении многокомпонентным излучением диодного лазера, ток которого модулируется на субгармониках резонансной частоты f_0 . Теоретически обосновано и экспериментально показано, что для возбуждения резонанса КПН на D_1 линии в ^{87}Rb можно использовать субгармоники резонансной частоты от $f_0/2$ до $f_0/5$. Экспериментально было продемонстрирована возможность подавления полевого сдвига резонанса КПН при использовании всех возможных субгармоник. Продемонстрировано, что при постоянной мощности оптического излучения, уменьшение частоты модуляции вызывает снижение амплитуды резонанса КПН, при этом ширина резонанса практически не изменяется.

В шестой главе представлены результаты разработки и исследования метода стабилизации длины волны излучения в атомном стандарте частоты на основе эффекта КПН. Стабилизация осуществляется с помощью составляющей спектроскопического сигнала, формируемой синхронным детектором при нестационарном возбуждении резонанса КПН, путем

фазового сдвига опорного сигнала, используемого для стабилизации частоты по реперному резонансу на 90° . Показано, что применение данного метода стабилизации длины волны обеспечивает нестабильность атомного стандарта частоты на временах от 1 до 10000 секунд не хуже, чем при использовании традиционных способов стабилизации длины волны диода.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, получены на основе апробированных экспериментальных методов и методов численного моделирования. Защищаемые положения вытекают из представленных в диссертации и опубликованных в рецензируемых изданиях результатов исследования, позволяющих оценить влияние различных факторов на процесс нестационарного возбуждения резонанса КПН и на основе полученных данных оптимизировать условия возбуждения реперного резонанса в атомных стандартах частоты на основе эффекта КПН для снижения их нестабильности.

Достоверность и апробация научных результатов.

Достоверность представленных в диссертационной работе результатов обеспечивается строгим обоснованием предложенных моделей, детально проведенным экспериментальным исследованием, сравнением полученных теоретических и экспериментальных данных с опубликованными результатами других авторов.

Основные результаты работы опубликованы в 14 работах, 11 из которых опубликованы в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, индексируемых системой WoS и определенных ВАК Министерства

образования РФ, 3 – в тезисах докладов международных научных конференций.

Научная новизна работы.

К наиболее значимым результатам работы следует отнести следующее:

1) Выявлена зависимость фазовой задержки формирования резонанса КПН и крутизны дискриминационной кривой резонанса КПН, возбуждаемого в нестационарном режиме в оптических ячейках без буферного газа, от параметров детектирования резонанса.

2) Разработан и апробирован метод увеличения контраста резонанса КПН на основе стабилизации линейной функции от мощности излучения накачки и мощности прошедшего через ячейку с парами ^{87}Rb путем модуляции мощности излучения накачки.

3) Показано, что полевой сдвиг резонанса КПН может быть подавлен при его возбуждении многочастотным лазерным излучением, формируемым при фазовой модуляции излучения одночастотного диодного лазера на субгармониках $(1/2-1/5)$ частоты сверхтонкого расщепления основного состояния.

4) Продемонстрирована возможность использования компоненты сигнала, извлекаемой при квадратурной демодуляции резонанса КПН, наблюдаемого в парах ^{87}Rb при нестационарном возбуждении, для стабилизации длины волны излучения накачки.

Научная новизна полученных результатов подтверждается авторскими публикациями в высокорейтинговых журналах.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования для разработки и совершенствования атомных стандартов частоты на основе эффекта КПН следующих результатов:

1) Определены параметры нестационарного возбуждения резонанса КПН, при которых достигается наименьшая нестабильность атомного стандарта частоты на основе эффекта КПН.

2) Разработан метод снижения энергопотребления СВЧ-тракта атомного стандарта частоты на основе эффекта КПН за счет снижения рабочей частоты тракта, определены границы применимости данного метода.

3) Разработан метод стабилизации длины волны полупроводникового лазера накачки атомного стандарта частоты на основе эффекта КПН с использованием амплитудной демодуляции сигнала КПН, не требующий дополнительной модуляции длины волны излучения.

Основные положения диссертации Д.А. Раднатарова, выносимые на защиту, обладают безусловной **научной новизной**.

Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Тем не менее, диссертация не лишена некоторых, весьма незначительных, **недостатков**:

1) В Главе 2 в системе уравнений (36) не учитывается скорость движения атомов. С другой стороны в выполненных экспериментах в ячейках с антирелаксационным покрытием стенок движение атомов имеет место. В диссертации утверждается, что теоретически результаты хорошо согласуются с экспериментальными. Автору стоит прокомментировать, почему в уравнениях можно пренебречь учётом скорости и это не оказывает существенного влияния на наблюдаемые особенности.

2) Автору следовало бы качественно пояснить, почему величина фазовой задержки не зависит от наличия или отсутствия антирелаксационного стеночного покрытия (стр. 37).

3) На стр. 48, при обсуждении эффекта сужения резонанса КПН в ячейках с антирелаксационным стеночным покрытием даны две ссылки – [61] и [62]. Однако, автору следовало бы сослаться в диссертации на две

работы, в которых этот эффект был впервые экспериментально обнаружен и теоретические объяснен:

– E. Breschi, G. Kazakov, C. Schori, G. Di Domenico, G. Mileti, A. Litvinov, B. Matisov, "Study of light effects in the atomic-motion-induced Ramsey narrowing of dark resonances in wall coated cells" // *Physical Review A* **82**, 063810 (2010).

– G. A. Kazakov, A. N. Litvinov, B. G. Matisov, V. I. Romanenko, L. P. Yatsenko and A. V. Romanenko, "Influence of the atomic-wall collision elasticity on the coherent population trapping resonance shape" // *Journal of Physics B* **44**, 235401 (2011).

4) Почему на рисунке 19 ширина «широкого» пьедестала КПН резонанса для ячеек без антирелаксационного покрытия и при его наличии отличается?

5) В главе 5 предложен способ подавления полевого сдвига. Эксперименты выполнены при температуре 60⁰С. Будет ли этот способ работать для разных температур, т.е. для разных оптических плотностей среды?

6) В тексте присутствуют незначительные опечатки, в частности:

– В ссылке [24] вместо 2020 года, должен стоять 2005 год

– В формуле (35) во втором слагаемом индекс у частоты не сделан, как подстрочный знак

– На стр. 48, после фразы «Форма резонансов КПН» пропущена запятая

– Нумерация глав неудобная. В нумерации подглав нет первой цифры, соответствующей номеру главы.

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

Диссертационная работа Д.А. Раднатарова представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном уровне с привлечением современных экспериментальных методик.

Заключение.

Считаю, что диссертационная работа Д.А. Раднатарова является законченной научно-квалификационной работой по актуальной теме и вносит существенный вклад в понимание физических процессов влияющих на стабильность атомных стандартов частоты на основе эффекта когерентного пленения населенностей. Достоверность результатов диссертации не вызывает сомнений, сформулированные выводы обоснованы, обладают научной новизной и представляют научную и практическую значимость. Работа полностью отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Раднатаров Даба Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук,
доцент Высшей школы прикладной
физики и космических технологий,
ведущий научный сотрудник лаборатории
«Оптические и квантовые измерения»
Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
федерального государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»

Литвинов Андрей Николаевич



Литвинов АН
СТОБЕРЯЮ
специалист
Литвинов АН
04 2024 г.

Почтовый адрес:
195251, г. Санкт-Петербург,
Политехническая ул. 29

тел.: +79219840590
электронный адрес:
andrey.litvinov@mail.ru