

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”.

Диссертация Раднатарова Д.А. посвящена исследованию свойств резонанса когерентного пленения населенностей, которые проявляются при его возбуждении в нестационарном режиме, при котором спектральный отклик атомов зависит не только от частоты двухфотонной отстройки бихроматического поля, но и от времени.

Актуальность темы диссертации. В последнее время большой исследовательский и практический интерес вызывает разработка атомных стандартов частоты на основе эффекта когерентного пленения населенностей в атомах щелочных металлов. Интерес обусловлен возможностью создания миниатюрных устройств с низким энергопотреблением, для использования в системах спутниковой и инерциальной навигации, телекоммуникационных системах. Развитие атомных стандартов частоты определяется возможностью уменьшения их размеров и энергопотребления и улучшения стабильности. Поэтому исследование, направленное на детальное изучение режимов формирования резонанса КПН, являются актуальным, поскольку понимание физических механизмов и особенностей формирования резонанса КПН позволит разработать новые перспективные подходы для квантовой метрологии и существенно улучшить параметры квантовых стандартов частоты.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка цитируемой литературы. Полный объем диссертации составляет 124

страницы, включает 53 рисунка и 1 таблицу. Список цитируемой литературы содержит 84 наименования.

Во **Введении** дается определение нестационарному режиму возбуждения, обоснована актуальность исследования данного режима возбуждения резонанса КПН, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения.

В главе 1 приведен обзор публикаций по теме диссертации и представлено состояние проблемы исследований. Глава содержит основные теоретические положения и сведения, касающиеся эффекта когерентного пленения населенностей. Приводится анализ полученные ранее ключевых результатов в области исследований нестационарного возбуждения резонанса КПН.

Глава 2 содержит результаты экспериментального и теоретического исследования переходных процессов, возникающих при нестационарном возбуждении резонанса КПН в ^{87}Rb в широком частотном диапазоне изменения разности частот бихроматического излучения накачки. Приведены результаты экспериментального и численного исследования эффекта временной задержки формирования пика электромагнитно-индуцированной прозрачности для оптических ячеек разных типов, а также показана роль релаксирующих осцилляций на заднем фронте резонанса КПН в изменении формы резонанса.

Глава 3 посвящена экспериментальному исследованию влияния условий нестационарного возбуждения резонанса КПН на стабильность атомного стандарта частоты на его основе. Показано, что тип оптической ячейки (наличие буферного газа и/или антирелаксационного покрытия) не влияет на оптимальное отношение частоты и амплитуды сканирования, при которых достигается наименьшая нестабильность стандарта частоты на основе исследуемого резонанса КПН. Продемонстрирована работа стандарта частоты на основе эффекта КПН и определены оптимальные параметры нестационарного возбуждения резонанса для достижения наилучшей кратковременной нестабильности. Показано, что использование оптической

ячейки с антирелаксационным покрытием позволяет улучшить нестабильность частоты с $1.5 \times 10^{-10}/t$ до $3.0 \times 10^{-11}/t$.

Глава 4 содержит результаты исследований двух 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. Показано, что метод на основе стабилизации уровня люминесценции атомов рубидия 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. В работе делается вывод, что параметрическая стабилизация поглощенной мощности является более эффективным методом контрастирования резонанса КПН при малых мощностях излучения накачки.

В **главе 5** представлены результаты исследования возможности использования субгармоник резонансной частоты при модуляции тока диодного лазера для формирования многокомпонентного излучения, возбуждающего резонанс КПН на D_1 линии в ^{87}Rb . Экспериментально продемонстрировано и теоретически обосновано, что для возбуждения резонанса КПН можно использовать субгармоники с частотой от $1/2$ до $1/5$ от резонансной частоты. Экспериментально продемонстрирована возможность подавления полевого сдвига резонанса КПН при использовании всех возможных субгармоник.

В **главе 6** описан предложенный метод стабилизации длины волны излучения накачки в атомном стандарте частоты на основе эффекта КПН, который не требует модуляции длины волны излучения. В качестве источника сигнала ошибки для системы стабилизации длины волны используется синхронный детектор резонанса КПН, опорный сигнал которого сдвинут на 90° относительно фазы сигнала, используемого для стабилизации частоты по

резонансу КПН. Экспериментально продемонстрирована, что применение данного нового 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 **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в получении следующих новых результатов:

1. Выявлено наличие влияния параметров нестационарного возбуждения резонанса КПН на величину задержки формирования максимума ЭИП и крутизну дискриминационной кривой резонанса КПН, возбуждаемого в оптических ячейках без буферного газа.
2. Впервые продемонстрировано увеличение контраста резонанса КПН в нестационарном режиме возбуждения при стабилизации уровня люминесценции паров ^{87}Rb путем модуляции мощности излучения накачки.
3. Разработан и апробирован новый 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.
4. Впервые проведено систематическое исследование свойств резонанса КПН в парах ^{87}Rb при оптической накачке многочастотным лазерным излучением, формируемым при фазовой модуляции излучения одночастотного диодного лазера на субгармониках (1/2–1/6) частоты сверхтонкого расщепления основного состояния.
5. Впервые продемонстрирована возможность использования компоненты сигнала резонанса КПН, наблюдаемого в парах ^{87}Rb при нестационарном возбуждении, для стабилизации длины волны излучения накачки.

Научная новизна и значимость полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждена опубликованием результатов ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (11 публикаций), а также их обсуждением в рамках докладов на международных научных конференциях (3 доклада).

Практическая значимость диссертационной работы обусловлена возможностью использования полученных результатов, разработанных методов и подходов при разработки миниатюрных атомных стандартов частоты на основе эффекта КПН.

В качестве недостатков работы можно указать следующее:

1. В литературном обзоре исследований по теме отсутствует упоминание области исследований импульсной лазерной оптической накачки резонансов КПН.
2. Не до конца понятны перспективы развития оптических стандартов частоты на базе КПН-резонансов с возможностью получения кратковременной нестабильности на уровне единиц 10^{-13} на интервалах измерения порядка 1 сек и нескольких единиц 10^{-15} на суточном интервале времени измерения.

Перечисленные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы, результаты которой являются оригинальными, а тема актуальной, сама работа выполнена на высоком профессиональном уровне. Автореферат диссертации полностью соответствует содержанию представленной работы. Представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК, а ее автор Раднатаров Д.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Шерстов Иван Валерьевич,



29.04.2021

Заведующий лабораторией системных исследований проблем измерения времени и частоты, Dr. rer. nat.

Сколковский институт науки и технологии, Большой бульвар, 30 стр1, Москва, 143026



Юлия Чертова И.В. *И.В. Чертова*

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ



Ген. С

29.04.2021