

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.ф.-м.н., Профессора РАН

**Каблукова Сергея Ивановича**

на диссертационную работу **Месензовой Ирины Сергеевны** на тему:

**«Многочастотная лазерная спектроскопия атомов щелочных металлов в миниатюрных газовых ячейках»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика»

Диссертационная работа Месензовой И.С. посвящена экспериментальным исследованиям особенностей многочастотной лазерной спектроскопии атомов щелочных металлов в газовых ячейках, направленных на создание миниатюрных квантовых стандартов частоты. Интерес к миниатюрным атомным часам связан с увеличением спроса со стороны различных наземных и космических технологий, например, метрологии и спутниковой навигации. Считаю, что тема исследований является **АКТУАЛЬНОЙ**.

**СТРУКТУРНО** диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составил 140 страниц, включая 42 рисунка, 2 таблицы и 167 наименований цитируемой литературы. По содержанию и изложению материала представленная диссертация является законченным трудом, написанным хорошим языком.

**ПЕРВАЯ** часть диссертации содержит все необходимые разделы: введение, цели, новизну, практическую значимость и положения, выносимые на защиту. Там также указаны данные по структуре диссертационной работы, апробации результатов и личном вкладе автора.

В **ПЕРВОЙ** главе изложен обзор литературы по теме диссертации. Обзор включает шесть разделов, в которых описывается явление когерентного

пленения населенности (КПН), а также материалы про исследуемые атомы щелочных металлов (Rb и Cs).

Разработке миниатюрного ( $\approx 60 \text{ см}^3$ ) микроволнового квантового стандарта частоты (КСЧ) на основе резонансов КПН посвящена ВТОРАЯ глава. Здесь показано, что долговременная стабильность КСЧ повышается при таком выборе индекса модуляции, при котором положение реперного резонанса малочувствительно к вариациям мощности СВЧ сигнала. Кроме того, исследованы сдвиговые характеристики КПН резонанса от различных факторов и составлен бюджет сдвигов.

В ТРЕТЬЕЙ главе автор исследует способ уменьшения влияния световых сдвигов на частоту часового перехода, заключающийся в использовании СВЧ модуляции на частоте, равной полной частоте сверхтонкого расщепления в основном состоянии атома ( $\approx 6.8 \text{ ГГц}$  для  $^{87}\text{Rb}$ ). Показано, что на коротких времена наблюдается выигрыш стабильности в пять раз по сравнению с СВЧ модуляцией на  $3.4 \text{ ГГц}$ .

Исследованиям в области миниатюрных КСЧ оптического диапазона посвящена ЧЕТВЕРТАЯ глава. Здесь автор приводит результаты работы по двухчастотной спектроскопии атомов цезия с использованием трех разных способов формирования лазерного поля. В частности, показана возможность замены модуляции лазерного излучения внешним ЭОМ на прямую СВЧ-модуляцию тока накачки полупроводникового лазера. Предложена и реализована поляриметрическая техника регистрации узких субдоплеровских резонансов на основе светоиндуцированного линейного дихроизма.

Перспективы применения проведенных исследований и их ПРАКТИЧЕСКАЯ значимость не вызывают сомнения, поскольку параметры, характеризующие стабильность частоты, разработанного миниатюрного КСЧ, сравнимы или превосходят зарубежные аналоги.

Защищаемые положения, а также другие приведенные в работе результаты, имеют структурированное и достаточно ПОЛНОЕ ОБОСНОВАНИЕ. Результаты, доводы и рассуждения соискателя не

противоречат доказанным положениям других исследователей, опубликованным в открытых источниках. Основные результаты работы прошли проверку ведущими специалистами в лазерной физике и спектроскопии, так как опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых журналах. Кроме того, автор провел апробацию результатов на значительном количестве конференций. Объемный обзор литературы показывает глубокую степень проработанности материала. Использование современных лазерных источников и измерительного оборудования, хотя и косвенно, но также подтверждает качество полученных результатов.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА работы находится на высоком уровне. В связи с этим можно отметить способ наблюдения субдоплеровских резонансов без использования внешнего электрооптического модулятора (ЭОМ) для получения резонансных оптических частот. Для этих целей продемонстрирована перспективность модуляции тока накачки полупроводникового лазера с распределенными отражателями напрямую от СВЧ генератора и поляриметрического способа регистрации субдоплеровских резонансов. Регистрация нелинейных резонансов при повороте линейной поляризации пробной волны на  $45^\circ$  относительно волны накачки, позволила как избавиться от большой подкладки в проходящем сигнале, так и повысить отношение сигнал/шум.

Основные результаты, приведенные соискателем в диссертации, были доложены на международных и российских конференциях, а также отражены в опубликованных научных работах. Из ключевых работ можно выделить 4 статьи в ведущих российских журналах (3 – Квантовая электроника и 1 – ЖЭТФ) из Перечня ВАК РФ и 1 статью в высокорейтинговом оптическом журнале «Optics Letters».

Диссертационная работа имеет ряд НЕДОСТАТКОВ:

1. В диссертации рассматривается создание модуляции оптического излучения на сверх высоких частотах и оперируется величиной индекса модуляции (см., например, стр. 74). Считаю, что в диссертации следовало

привести определение для индекса модуляции и описать метод его измерения.

2. При постановке задачи и обсуждении результатов в диссертации говорится про «регистрацию нелинейных резонансов по углу поворота линейной поляризации». Например, в заключительной части на стр. 115 написано: "была исследована поляриметрическая техника регистрации нелинейных резонансов по углу поворота линейной поляризации, происходящему из-за сильного линейного дихроизма, наведенного в среде лазерным полем." Странно, что в самом тексте диссертации не приведены значения углов поворота линейной поляризации связанных с сильным линейным дихроизмом и наблюдаемых в экспериментах.
3. При описании работы схемы экспериментальной установки с дифференциальным приемом сигналов на стр. 95, приведенной на Рис. 4.4, утверждается, что «с помощью призмы Волластона» пробная волна разбивается на две компоненты с разными поляризациями. Однако на Рис. 4.4 перед призмой Волластона изображен поляризационный кубик, который должен оставить только одну поляризационную компоненту в пробной волне. В связи с этим, не понятно, как может работать схема с дифференциальным фотоприемником?
4. В диссертации допущен ряд неточностей. Например, аппроксимация функцией Лоренца названа в подписи к Рис. 2.2 экстраполяцией, а в конце выводов к главе 3 (где сказано: «планируется серия экспериментов с нашим устройством. Результаты были опубликованы [164]») вместо ссылки на свою работу ошибочно приводится ссылка на чужую.

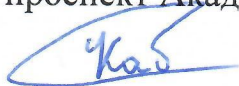
Отмечу, что выделенные недостатки НЕ ЯВЛЯЮТСЯ КРИТИЧЕСКИМИ.

СОДЕРЖАНИЕ АВТОРЕФЕРАТА Месензовой И.С. соответствует диссертационной работе, представленной к защите, и является полноценным и понятным текстом, отражающим основные результаты и методики исследований. Оформление диссертации и автореферата находится на достаточно высоком уровне, а результаты работы наглядны и понятны.

Оценивая диссертационную работу Месензовой И.С. в целом, следует отметить актуальность поставленных задач, большой объем проведенных экспериментальных исследований, получение согласия с теоретическими представлениями, создание образцов высокостабильных миниатюрных квантовых стандартов частоты. Высокий научный уровень полученных результатов и квалификация Месензовой И.С. подтверждаются публикацией 7 научных статей по теме диссертационной работы в изданиях из списка ВАК и докладами на международных конференциях.

Тема исследования диссертационной работы Месензовой И.С. полностью отвечает специальности 1.3.19 – Лазерная физика. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Месензова Ирина Сергеевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент: д.ф.-м.н., Профессор РАН, Главный научный сотрудник, Лаборатория оптических сенсорных систем, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН); Телефон: +7 (383) 330-79-69; E-mail: [kab@iae.nsk.su](mailto:kab@iae.nsk.su); 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д. 1.



Каблуков Сергей Иванович

Подпись Каблукова С.И. удостоверяю

Ученый секретарь ИАиЭ СО РАН  
к.ф.-м.н.



  
Донцова Е.И.

« 4 » 03 2024 г.