

ОТЗЫВ

официального оппонента Саакяна Сергея Арамовича на диссертацию Васьковской Марии Игоревны «Факторы, влияющие на долговременную стабильность стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Диссертационная работа Васьковской М.И. посвящена исследованию факторов, оказывающих влияние на характеристики стабильности стандартов частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости (КПН). К таким факторам относятся характеристики используемых в стандартах такого типа лазеров, атомных ячеек, а также различные рабочие параметры физического модуля стандарта. Стандарты на основе эффекта КПН имеют большой потенциал снижения габаритов и уровня энергопотребления, при этом долговременная стабильность выходной частоты превосходит значения кварцевых генераторов. Это обуславливает интерес к разработке стандартов такого типа и улучшению их метрологических характеристик как за рубежом, так и в России, что подчеркивает актуальность данной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе приводятся общие сведения об эффекте КПН, устройстве стандарта частоты на его основе. Рассматриваются основные характеристики опорного КПН-резонанса, оказывающие влияние на стабильность частоты стандарта. Описана экспериментальная установка, разработанная для проведения исследования.

Вторая глава посвящена исследованию сдвигов частоты КПН-резонанса и методов подавления их негативного влияния на стабильность. Исследованы световые сдвиги частоты резонанса в случае взаимодействия атомной системы с полихроматическим оптическим полем, полученным в результате СВЧ-модуляции тока накачки лазера с вертикальным резонатором (VCSEL). Показано, что в такой конфигурации подавление светового сдвига зависит от величины давления буферных газов в атомной ячейке, выпускаемых традиционно для сужения КПН-резонанса. Данный эффект важен при разработке атомных ячеек с габаритами миллиметрового диапазона, поскольку в них выпускается высокое давление буферных газов, при котором может быть потеряна возможность полного подавления светового сдвига, что, в конечном итоге, может привести к ухудшению долговременной стабильности частоты КПН-резонанса. В этой же главе рассмотрены сдвиги, возникающие из-за асимметрии контура опорного резонанса, а также из-за флуктуаций магнитного поля. Обнаружен эффект поляризационной асимметрии зависимости частоты КПН-резонанса от магнитного поля, связанный с конкуренцией двух эффектов: затягивая частоты опорного резонанса в сторону магнитозависимого с большей амплитудой и квадратичного эффекта Зеемана. Конкуренция этих эффектов позволяет найти такое значение величины продольного магнитного поля, при котором подавлен линейный отклик на его флуктуации.

В третьей главе приведены сведения о лазерах VCSEL. Сформулированы критерии применимости лазеров такого типа в составе КПН-стандартов частоты. Исследованы модуляционные спектры лазеров, показано, что в зависимости эффективности СВЧ-модуляции от тока накачки лазера существует максимум, связанный с релаксационными колебаниями. Показаны особенности лазерной генерации VCSEL в случае нестабильной

поляризации генерирующей моды. Показано, что изменение уровня модулирующего СВЧ-сигнала или рабочей температуры лазера приводит к увеличению области сосуществования двух поляризационных мод, что приводит к невозможности использования лазера с такими характеристиками в составе КПН-стандарта частоты.

В четвертой главе описаны некоторые методы изготовления и наполнения атомных ячеек, используемых в составе КПН-стандарта частоты. Изучались характеристики ячеек, произведенных методом лазерной сварки и герметизации, заполненных ^{87}Rb и буферными газами: аргоном и азотом. Предложен алгоритм наполнения ячеек буферными газами и рабочих параметров (температуры ячейки, интенсивности лазерного излучения), обеспечивающий оптимальные, с точки зрения долговременной стабильности, характеристики КПН-резонанса.

Диссертация содержит важные экспериментальные результаты, имеющие принципиальное значение для дальнейшего развития квантовых стандартов частоты на основе когерентного пленения населенностей. Результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных журналах, прошли апробацию на научных конференциях.

В то же время, имеются замечания:

1. В Главе 1 рассматриваются различные оптические схемы формирования КПН-резонанса. В завершение сообщается, что в данной работе используется схема с двумя циркулярно-поляризованными полями, но «полученные результаты могут быть применены и при использовании других схем возбуждения». При этом далее в тексте диссертации другие схемы не упоминаются. Было бы уместно более подробно раскрыть это утверждение.
2. В Главах 2 и 4 указано, что в работе использовались атомные ячейки, наполненные смесью аргона и азота в качестве буферных газов. Поясняется, что смесь газов с разными знаками температурных коэффициентов необходима для подавления температурной зависимости КПН-резонанса. При этом, не сообщается, возможно ли применение других вариантов смесей газов для этих целей? И если они есть, то чем обусловлен выбор именно смеси аргон-азот?
3. В формуле (2.2) допущена ошибка: вместо разности квадратов частот Раби стоит их разность (забыты квадраты). Также, ошибка в формуле (2.3): в выражении аргумента синуса при частоте Ω не хватает времени t .

Однако, указанные замечания не уменьшают ценности результатов, полученных в диссертации. Защищаемые положения и выводы являются обоснованными. Основные результаты исследований обладают высокой степенью новизны и практической значимости. Работа выполнена на очень высоком научном уровне, содержит ряд новых и практически значимых результатов, достоверность которых не вызывает сомнений. Результаты полученные в диссертации подробно изложены в пяти статьях. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Васьковской Марии Игоревны «Факторы, влияющие на долговременную стабильность стандарта частоты на основе эффекта когерентного пленения населённости»

удовлетворяет всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Васьковская Мария Игоревна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук (по специальности 01.04.08 – Физика плазмы), старший научный сотрудник Лаборатории №1.4. – лазерного охлаждения и ультрахолодной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН)», 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2, e-mail: saakyan@jih.t.ru, тел. +7(495)362-07-78.

Сергей Арамович Саакян

17.05.2023 г.

Подпись С.А. Саакяна удостоверяю

Зам. дир. ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

А.В. Гавриков



Список публикаций оппонента С.А. Саакяна по тематике диссертации М.И. Васьковской за последние пять лет

1. Саутенков, В.А., Саакян, С.А., Бобров, А.А., Вильшанская, Е.В. и Зеленер, Б.Б., 2023. Когерентные резонансы в дипольно-уширенном контуре селективного отражения от поверхности раздела прозрачный диэлектрик–атомные пары рубидия. Квантовая электроника, 53(1), стр.69-73.
2. Saakyan, S., D'yachkov, L., Klimov, S., Sautenkov, V. and Zelener, B.B., 2022. Photoionization cross section of first excited state of lithium. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 195, p.106503.
3. Sautenkov, V., Saakyan, S., Bobrov, A., Morozov, N. and Zelener, B.B., 2022. Spectral profiles of strongly saturated resonance transitions in high-density rb vapor. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 278, p.108007.
4. Бобров, А.А., Саакян, С.А., Саутенков, В.А. и Зеленер, Б.Б., 2021. Диполь-дипольное уширение при селективном отражении мощного лазерного излучения от границы диэлектрика и плотного резонансного газа. Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики, 114(9), стр.604-607.
5. Saakyan, S.A., Vilshanskaya, E.V., Galstyan, K.P., Sautenkov, V.A. and Zelener, B.B., 2021. Measurement of the photoionization cross section of the lithium 2P_{3/2} state in a magneto-optical trap with a UV-light-emitting diode. Measurement Science and Technology, 32(11), p.115501.
6. Sautenkov, V., Saakyan, S. and Zelener, B.B., 2020. Spectral dependence of nonlinear radiation trapping in high density atomic vapor. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 256, p.107349.
7. Zelener, B.B., Vilshanskaya, E.V., Saakyan, S.A., Arshinova, I.D., Bobrov, A.A., Sautenkov, V.A. and Zelener, B.V., 2020. Differential two-photon spectroscopic measurements of cold atoms temperature with variable angle between probe beams. Laser Physics, 30(2), p.025501.
8. Sautenkov, V.A., Shneider, M.N., Saakyan, S.A., Vilshanskaya, E.V., Murashkin, D.A., Arshinova, I.D., Zelener, B.V. and Zelener, B.B., 2019. Self-focusing of cw laser beam with variable radius in rubidium atomic vapor. Optics Communications, 431, pp.131-135.