Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт лазерной физики

Сибирского отделения Российской академии наук

Молодежная школа-конференция

LaserPhys

(Новосибирск, 10–12 ноября 2025 г.)

Сборник тезисов докладов на конференции

Москва 2025

УДК 535
ББК 22.34
М 754

Председатель: Прудников Олег Николаевич – д.ф.-м.н., директор Института лазерной физики СО РАН

Ученый секретарь: Макаров Антон Олегович

Состав комитета: Филонов Антон Александрович, Трунов Игорь Александрович, Козлова Катерина Семеновна, Капуста Дмитрий Николаевич, Сере Севен Эресович, Тявин Георгий Витальевич

М 754 **Молодежная школа-конференция LaserPhys.** Сборник тезисов докладов на конференции (Новосибирск, 10–12 ноября 2025 г.) – М.: Мир науки, 2025. – Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/83MNNPK25.pdf – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-908044-45-5
DOI: 10.15862/83MNNPK25

Молодёжная школа-конференция LaserPhys была проведена в Институте Лазерной Физики Сибирского Отделения Российской Академии Наук (г. Новосибирск) в течение трёх дней с 10 по 12 ноября 2025 года. Мероприятие было ориентировано на студентов образовательных программ уровня бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, проявляющих интерес к современной лазерной физике, фотонике и смежным областям.

Программа школы-конференции включала в себя шесть популяризационных лекций сотрудников ИЛФ СО РАН, по две лекции в первой половине каждого дня проводимой школы-конференции. Лекции были направлены на популяризацию научной деятельности Института, ознакомление участников с актуальными направлениями исследований и привлечение студентов профильных и смежных кафедр к научной работе в ИЛФ СО РАН.

Во второй половине дня были проведены секционные заседания с устными докладами студентов, а также, в один из дней, 11 ноября, была организована стендовая сессия. Школа-конференция позволила участникам возможность представить результаты своих научных исследований, обменяться опытом и получить экспертные рекомендации.

Участие в школе-конференции LaserPhys для участников было абсолютно бесплатным. По итогам мероприятия материалы докладов будут опубликованы с присвоением DOI, что способствует развитию навыков научной коммуникации и повышению публикационной активности молодых исследователей.

ISBN 978-5-908044-45-5

© Коллектив авторов
© Институт лазерной физики СО РАН, 2025 г.
© Группа компаний «Научное оборудование», 2025 г.
© ООО Издательство «Мир науки», 2025 г.

Оглавление

Список участников 6

Бетеров И.И. Прогресс и перспективы в области квантовых вычислений с ультрахолодными нейтральными атомами 7

Коляда Н.А. Волоконная оптика в современном мире 8

Костюкова Н.Ю. Параметрическое преобразование частоты в нелинейных кристаллах 9

Макаров А.О. Атомная магнитометрия: от бесспутниковой навигации до разгадки тайн человеческого мозга 10

Руменских М.С. Потенциальные физические основания обитаемости внесолнечных миров 11

Ткаченко Р.А. Газовые электроразрядные лазеры с накачкой объемным сильноточным электрическим и индукционным разрядом: от фундаментальных основ к практическим применениям 12

Адамов К.Н., Капуста Д.Н., Бонерт А.Э., Гончаров А.Н. Подготовка начального волнового пакета для квантового интерферометра-гравиметра 13

Антоненко Я.В., Шерстов И.В. Выбор оптимальных частот для детектирования поглощения примеси N_2O в атмосфере 14

Апрелов Н.А., Колесникова А.Ю., Макарова Н.А., Редюк А.А., Ватник И.Д. Исследование дисперсионных характеристик микроцилиндра из волокна для применения в спектроскопии дисперсионного преобразования Фурье 15

Батраев Д.В., Ражев А.М., Каргапольцев Е.С., Чуркин Д.С. Эксимерный KrF-лазер как основа лазерной установки для решения актуальных задач комбустиологии 16

Бочкарев Н.В., Ревякин А.А., Гервазиев М.Д., Харенко Д.С. Модификация алгоритма восстановления матрицы коэффициентов связи и постоянных распространения для семисердцевинного волокна со слабой связью 17

Владимирова Е.А., Мартынович Е.Ф. Trichostasis spinulosa: люминесценция и фотохимия 18

Вострикова М.В., Сере С.Э., Ерушин Е.Ю., Бойко А.А., Костюкова Н.Ю., Шевырдяева Г.С., Бадиков Д.В. Сравнительное модельное исследование диапазонов перестройки параметрических генераторов света на основе серосодержащих кристаллов бариевых халькогенидов 19

Грибанов Д.С., Николаев Н.А., Осинцева Н.Д. Исследование взаимодействия плёнок ITO с терагерцовым излучением для задач фотоники 20

Григоров Я.И., Тютрин А.А., Мартынович Е.Ф. Окрашивание KCl $TlNO_3$ фемто и пикосекундными лазерными импульсами 21

Громыко В.В., Хорсова И.С. Адаптивная многокритериальная оптимизация волнового фронта лазерного излучения с высоким уровнем аберраций по морфологическим метрикам пятна рассеяния 22

Иванов А.Е., Шайхисламов И.Ф., Посух В.Г. Чибранов А.А., Березуцкий А.Г., Логинов М.В. Лабораторное моделирование разлета поперечных плазменных джетов в замагниченной фоновой среде 23

Козенко К.В. Квантовые вентили для нейтральных атомов с трёхфотонным возбуждением ридберговских состояний 24

Козлова К.С., Макаров А.О., Бражников Д.В., Гончаров А.Н. Магнитооптические резонансы Ханле на переходах D_1-линии ^{133}Cs в эллиптически поляризованной световой волне 25

Кораблин П.Д., Сизых В.А., Латкин Н.И., Яковин М.Д. Разработка экспериментального образца Nd:YAG лазера с распределением интенсивности top-hat для использования в качестве источника накачки параметрического генератора света 26

Кротова Е.С., Ерушин Е.Ю., Сере С.Э., Бойко А.А., Лобанов С.И., Исаенко Л.И., Костюкова Н.Ю. Исследование лучевой стойкости оптических материалов 27

Крысенко Д.С., Прудников О.Н., Юдин В.И., Тайченачев А.В., Чепуров С.В. Минимизация сдвигов, вызванных магнитным полем, в стандарте частоты на основе иона $^{171}Yb^+$ при Рамси и Гипер-Рамси спектроскопии 28

Лапин Н.С., Чепуров С.В., Прудников О.Н., Крысенко Д.С., Тайченачев А.В., Юдин В.И., Багаев С.Н. Система двухэтапного лазерного охлаждения иона иттербия-171 без использования магнитного поля 29

Логинов М.В., Шайхисламов И.Ф., Посух В.Г., Чибранов А.А., Березуцкий А.Г., Иванов А.Е. Разработка и изготовление двунаправленного коллектора ионов для развития диагностики плазмы в условиях лабораторного моделирования космофизических процессов 30

Макарова Н.А., Ватник И.Д. Исследование лазерного излучения в активном цилиндрическом микрорезонаторе из теллуритового волокна, легированного ионами эрбия 31

Мурзин С.В., Кузьмин В.С., Дресвянский В.П., Мартынович Е.Ф. Экспериментальная оценка первичного механизма нелинейной фотоионизации 32

Новиков А.Д., Ватник И.Д. Создание высокодобротного цилиндрического микроререзонатора мод шепчущей галереи для генерации нелинейных эффектов 33

Печуркин В.Е., Чуркин Д.С., Ткаченко Р.А., Каргапольцев Е.С. Исследование влияния условий накачки на энергетические, спектральные и пространственные характеристики излучения индукционного неонового лазера с длинами волн 594 нм и 614 нм 34

Радченко М.Д., Юдин В.И. Сравнительный анализ режимов модуляции излучения накачки в чисто оптическом магнитометре на D_1 линии ^{87}Rb 35

Сере С.Э., Ерушин Е.Ю., Вострикова М.В., Бойко А.А., Шевырдяева Г.С., Бадиков Д.В., Костюкова Н.Ю. Исследование параметрического генератора света на основе кристалла $BaGa_2GeS_6$ и уточнение его дисперсионных свойств 36

Сологуб А.К. Моделирование электрического поля в экспериментах с ридберговскими атомами методом конечных элементов 37

Спирин С.А. Сравнение EMCCD и sCMOS видеокамер для регистрации одиночных атомов в дипольной ловушке 38

Столярова Л.Р., Савинов К.Н., Дмитриев А.К. Регистрация резонансов КПН при совместном действии СВЧ модуляции тока инжекции и внешней ВЧ модуляции 39

Ткаченко Р.А., Чуркин Д.С., Каргапольцев Е.С. Импульсный лазер на основе активной среды инертного газа криптона с накачкой индукционным цилиндрическим разрядом 40

Томилин В.А., Ростом А.М., Ильичёв Л.В. Геометрические модели и анализ преимуществ квантовых корреляций в коллективных стратегиях взаимного поиска/антипоиска на плоскости 41

Трунов И.А., Чуркин Д.С., Ткаченко Р.А., Каргапольцев Е.С. Влияние состава активной среды на энергетические, временные и спектральные характеристики спонтанного и лазерного излучения импульсного ультрафиолетового индукционного азотного лазера 42

Филонов А.А., Пивцов В.С., Коляда Н.А. Исследование характеристик волоконных эрбиевых лазеров с нелинейным усиливающим петлевым зеркалом с различной суммарной внутрирезонаторной хроматической дисперсией 43

Хорсова И.В., Громыко В.В. Квантовый алгоритм доказательства с нулевым разглашением, ориентированный на процессор на базе нейтральных атомов 44

Чирков С.В., Смолянинов Н.Н., Ефремов В.Д., Харенко Д.С. Методика измерения коэффициента пропускания малого сигнала насыщающегося поглотителя на основе эффекта нелинейной эволюции поляризации цифровым осциллографом 45

Chen J. Solving Maximum-Cut problem using Neutral atom quantum computer 46

Suliman G. Frequency locking of three lasers to a single ULE-glass cavity for three-photon Rydberg excitation 47

Список участников

Приглашенные доклады:

Бетеров И.И.
Коляда Н.А.
Костюкова Н.Ю.
Макаров А.О.
Руменских М.С.
Ткаченко Р.А.

Доклады участников:

Адамов К.Н.
Антоненко Я.В.
Апрелов Н.А.
Батраев Д.В.
Бочкарев Н.В.
Владимирова Е.А.
Вострикова М.В.
Грибанов Д.С.
Григоров Я.И.
Громыко В.В.
Иванов А.Е.
Козенко К.В.
Козлова К.С.
Кораблин П.Д.
Кротова Е.С.
Крысенко Д.С.
Лапин Н.С.
Логинов М.В.
Макарова Н.А.
Мурзин С.В.
Новиков А.Д.
Печуркин В.Е.
Радченко М.Д.
Сере С.Э.
Сологуб А.К.
Спирин С.А.
Столярова Л.Р.
Ткаченко Р.А.
Томилин В.А.
Трунов И.А.
Филонов А.А.
Хорсова И.В.
Чирков С.В.
Chen J.
Suliman G.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.01

Прогресс и перспективы в области квантовых вычислений с ультрахолодными нейтральными атомами

Бетеров Илья Игоревич[1,2,3,4]
[1]*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
[3]*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*
[4]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: beterov@isp.nsc.ru

Проблема создания квантового компьютера относится к переднему краю современной экспериментальной физики, поскольку управление квантовыми состояниями многочастичных квантовых систем – сложная научно-техническая задача. Существует ряд алгоритмов решения трудных математических задач, которые потенциально могли бы быть реализованы с помощью квантовых компьютеров. В то же время вопрос о практическом применении квантовых компьютеров все еще остается открытым. Основное направление современных исследований – поиск практически полезных квантовых алгоритмов, которые могли бы быть реализованы на базе уже существующих квантовых процессоров промежуточного масштаба, и одновременно с этим – увеличение масштаба квантового регистра и реализация квантовой коррекции ошибок за счет перехода от физических кубитов к логическим, объединяющим множество физических кубитов.

Научная значимость и перспективы квантовых вычислений на современном этапе были подробно рассмотрены в известной работе Джона Прескилла, посвященной квантовым процессорам промежуточного масштаба с высоким уровнем шумов [1]. Основная идея этой работы заключалась в том, что впервые в истории экспериментальной физики появились возможности экспериментального исследования квантово-запутанных состояний многочастичных квантовых систем с индивидуальной адресацией к каждому кубиту - подсистеме такой многочастичной системы. Динамика таких состояний не поддается математическому моделированию с увеличением числа кубитов из-за экспоненциального роста размерности пространства квантовых состояний системы. Уже известны некоторые квантовые алгоритмы, теоретически обладающие преимуществами над классическими. Развитие этого направления связано с недавними достижениями в области квантового превосходства [2].

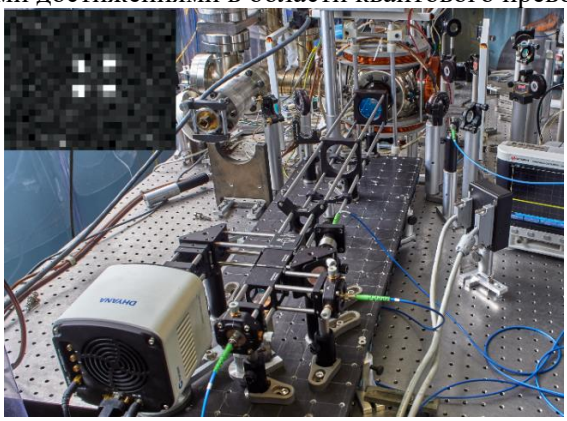


Рис.1 Экспериментальная установка с оптическими дипольными ловушками для ультрахолодных атомов рубидия. На вставке – изображение флуоресценции захваченных атомов.

Одна из наиболее перспективных платформ для реализации универсального квантового процессора – это ультрахолодные нейтральные атомы. Их преимущество заключается в возможности практически неограниченного масштабирования, поскольку размер квантового регистра ограничен в основном только мощностью лазерного излучения, используемого для захвата атомов в массивы оптических дипольных ловушек. На Рис.1 приведено изображение экспериментальной установки в ИФП СО РАН, изображение флуоресцирующего атомного массива [3]. Работа поддержана фондом «Базис», грант 25-1-1-57-1.

[1] Preskill J., Quantum Computing in the NISQ era and beyond //Quantum. 2018. V.2. P.79. DOI: 10.22331/q-2018-08-06-79
[2] Huang H.Y., Choi S., McClean J.R., Preskill J. The vast world of quantum advantage // https://arxiv.org/abs/2508.05720
[3] Бетеров И.И.// Природа, 2024, Вып.4 С.3

DOI: 10.15862/83MNNPK25.02

Волоконная оптика в современном мире

Коляда Наталья Александровна[1,2]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: n.koliada@mail.ru

Волоконная оптика, основанная на явлении полного внутреннего отражения света в тонких диэлектрических волноводах, стала одной из преобразующих технологий XXI века. Ее преимущества — сверхширокая полоса пропускания (ТГц), чрезвычайно низкое затухание (<0.2 дБ/км), невосприимчивость к электромагнитным помехам, малый вес, гибкость и безопасность.

В телекоммуникационных системах оптоволокно является основой информационной инфраструктуры. В настоящий момент достигнута скорость передачи данных петабит в секунду на расстоянии 1800 километров [1]. Кроме того, оптические сети используются для связи между серверами и ИИ кластерами и для обеспечения гигабитных скоростей передачи данных миллионам абонентов. Оптоволокно также важно для опорных сетей 5G и будущих сетей 6G, оно обеспечивает необходимую пропускную способность и низкую задержку.

В технике и промышленности волоконная оптика нашла применение далеко за пределами передачи данных. Волоконно-оптические датчики используются для мониторинга состояния конструкций (мосты, самолеты, трубопроводы) благодаря своей помехозащищенности и возможности мультиплексирования [2]. Мощные волоконные лазеры используются в промышленной резке и сварке металлов. Их преимущества – высокий КПД и гибкая доставки лазерного излучения. В медицине гибкие волоконные эндоскопы используются для визуализации внутренних органов. Волоконно-оптические гироскопы обеспечивают высокоточную и надежную навигацию [3]. Волоконные технологии также используются в аддитивном производстве (3D-печать металлами).

В научных исследованиях волоконная оптика предоставляет уникальные инструменты. Волоконные зонды позволяют проводить Рамановскую спектроскопию в недоступных средах [4]. В оптогенетике используют имплантируемые волокна для прецизионной стимуляции и подавления активности нейронов светом. В астрономии многообъектные спектрографы используют тысячи волокон для одновременного сбора спектров далеких галактик [5]. В метрологии волоконные оптические гребенки являются важной частью современных фемтосекундных оптических часов [6].

Волоконная оптика проникла практически во все сферы современной жизни от глобальной связи до фундаментальной науки. Благодаря уникальным физическим свойствам новые направления ее применений продолжают открываться.

Исследование выполнено в рамках государственного задания с регистрационным номером НИОКР 121033100064-9 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Фемтосекундный лазерный комплекс» на базе ИЛФ СО РАН.

[1] 1.02 Petabit/s Transmission Over 1,808.1 km in a 19-Core Randomly-Coupled Multicore Fiber / R. S. Luis, M. v. d. Hout, S. Gaiani [et al.] // Optical Fiber Communication Conference (OFC 2025). – 2025. – DOI 10.1364/OFC.2025.Th4A.1.
[2] Fibre Bragg gratings in structural health monitoring – Present status and applications / M. Majumder, T. K. Gangopadhyay, A. K. Chakraborty [et al.] // Sensors and Actuators A: Physical. – 2008. – Vol. 147, No. 1. – P. 150-164. – DOI 10.1016/j.sna.2008.04.008.
[3] The fiber-optic gyroscope, a century after Sagnac's experiment: The ultimate rotation-sensing technology? / H. C. Lefèvre, // Comptes Rendus Physique. – 2014. – Vol. 15, No. 10. – P. 851-858. – DOI 10.1016/j.crhy.2014.10.007.
[4] In-vivo Raman spectroscopy: from basics to applications / E. Cordero, I. Latka, C. Matthäus [et al.] // Journal of Biomedical Optics. – 2018. – Vol. 23, No. 7. – art.no. 071210. – DOI 10.1117/1.JBO.23.7.071210.
[5] 4MOST: 4-metre multi-object spectroscopic telescope // R. S. de Jong, O. Bellido-Tirado, C. Chiappini [et al.] // Proceedings of the SPIE Astronomical Instrumentation + Telescopes conference, Amsterdam. – 2012. – Vol. 8446. – DOI 10.1117/12.926239
[6] Er:fiber-based femtosecond frequency comb stabilized to an Yb+ single-ion optical frequency standard / N. A. Koliada, V. S. Pivtsov, S. A. Kuznetsov [et al.] // Laser Phys. Lett. – 2022. – Vol. 19. – art.no. 015102. – DOI 10.1088/1612-202X/19/1/015102

DOI: 10.15862/83MNNPK25.03

Параметрическое преобразование частоты в нелинейных кристаллах

Костюкова Надежда Юрьевна[1]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: n.duhovnikova@gmail.com

Параметрическое преобразование частоты лазерного излучения в нелинейных кристаллах является эффективным методом для генерации излучения в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном спектральных диапазонах. Данный подход позволяет существенно расширить области генерации лазерных источников.

В рамках доклада будут кратко освящены основы нелинейной оптики и трёхчастотного взаимодействия, математически показано, что нелинейные среды обладают способностью к обогащению спектрального состава волн, распространяющихся в этих средах. Будут рассмотрены условия фазового синхронизма и квазисинхронизм в средах с регулярной доменной структурой. Будет дана классификация нелинейных кристаллов и описаны формулы для расчета углов фазового синхронизма в одноосных и двуосных кристаллах, а также показан вывод выражений для расчета коэффициента эффективной нелинейности в кристаллах с учетом их класса симметрии. Будут рассмотрены процессы параметрического преобразования с повышением частоты, такие как генерация суммарной частоты и генерация оптических гармоник, а также процессы параметрического преобразования с понижением частоты, такие как параметрическая люминесценция, параметрическая генерация света, генерация разностной частоты и параметрическое усиление света. Будут подробно рассмотрены различные варианты перестройки длины волны излучения. Даны примеры оптических схем параметрических преобразователей частоты.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИЛФ СО РАН FWGU-2021-0010.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.04

Атомная магнитометрия: от бесспутниковой навигации до разгадки тайн человеческого мозга

Макаров Антон Олегович[1]
[1] *Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: werklore@mail.ru

Высокочувствительные атомные магнитометры (АМ) нашли широкое применение в фундаментальной физике (например, для поиска темной материи или постоянного электрического дипольного момента нейтрона), а также в прикладных науках: медицине (активно разрабатываются методы магнитной энцефалографии, магнитной кардиография, магнитной нейромиографии, магнитно-резонансной томографии с использованием магнитометров на основе оптической накачки), биологии (биомагнетизм растений) и других областях. АМ активно используются в космических научных миссиях. Эти сенсоры основаны в основном на лазерной спектроскопии паров щелочных металлов и демонстрируют чувствительность измерений лучше, чем 1 пТл/√Гц. Большинство современных высокочувствительных миниатюрных АМ основаны на спектроскопии атомов рубидия или цезия и работают в режиме подавленной спин-обменной релаксации (SERF). Этот режим требует относительно высокой температуры ячейки с атомами (140–200 °C) и высочайшей степени экранировки от внешнего (земного) магнитного поля, что ограничивает область применения таких сенсоров.

В работе предложены два новых метода регистрации магнитооптических резонансов в миниатюрных (~ 0.1 см3) ячейках с парами атомов 87Rb или 133Cs при температуре не более 90°C. Первый метод [1] представляет собой развитие метода Белла-Блума [2] для скалярных измерений магнитного поля с оптической накачкой атомов амплитудно-модулированным циркулярно поляризованным светом. Вместо циркулярной поляризации волны накачки мы предлагаем использовать эллиптическую поляризацию в комбинации с поляриметрической техникой регистрации резонанса, что позволяет получить высококонтрастные МОР (Рис. 1 (а)). Второй метод [3] основан на широко используемом методе Ханле [4] (резонансы пересечения уровней в нулевом магнитном поле). В предложенной модификации этого метода используются два встречных линейно поляризованных пучка, а МОР регистрируется в сигнале, пропорциональном углу вращения поляризации одного из них. Экспериментально был зарегистрирован необычно большой угол поворота поляризации 22° (Рис. 1 (б)) при длине исследуемой ячейки 20мм

Оценка предельно достижимой чувствительности предложенных схем АМ находится в диапазоне 10 – 100 фТл/√Гц, что соответствует наилучшим коммерческим АМ, работающим в режиме SERF.

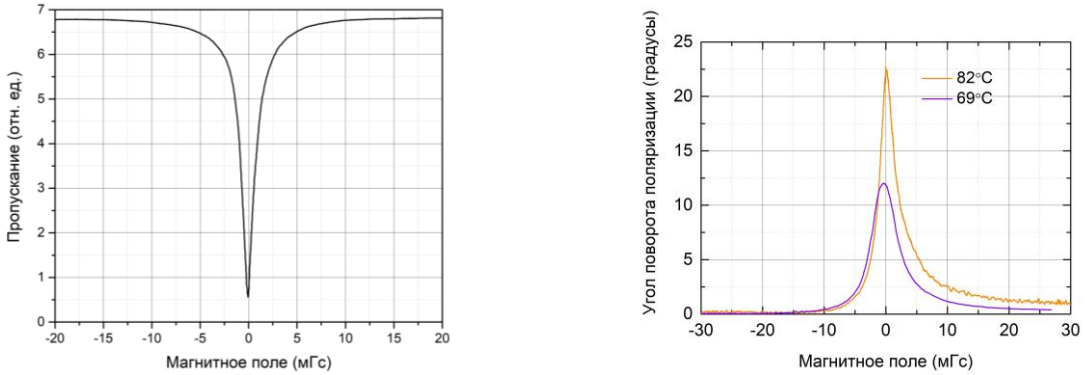


Рис. 1 (а) Пример резонанса Белла-Блума по изменению параметров эллиптичности световой волны в балансной схеме. (б) Резонансы вращения при температурах 69°C и 82°C

Результаты работы могут быть использованы для создания миниатюрного высокочувствительного магнитного сенсора с пониженным тепловыделением и сниженными требованиями к экранировке от внешнего магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-12-00195).

[1] A. Makarov, K. Kozlova, D. Brazhnikov, V. Vishnyakov, A. Goncharov, Opt. Commun., 2025, 577, 131369.
[2] W. E. Bell and A. L. Bloom. Phys. Rev. Lett., 1961, 6, 280.
[3] A. O. Makarov, D. V. Brazhnikov, A. N. Goncharov, JETP Lett., 2023, 117, 509.
[4] Е. Б. Александров, А. М. Бонч-Бруевич, В. А. Ходовой, Опт. Спектроск, 1967,. XXIII, 282.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.05

Потенциальные физические основания обитаемости внесолнечных миров

Руменских Марина Сергеевна[1]
[1] *Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: marina_rumenskikh@mail.ru

Определение биомаркеров – одна из самых интересных задач современной астрофизики. Она обращала внимание и до обнаружения экзопланет, однако подтверждение наличия внесолнечных миров вывело тему биомаркеров из работ фантастов в научные лаборатории и еженедельное информационное поле. Несмотря на регулярные сообщения о следах возможной жизни в космосе, говорить о подтвержденном наличии внеземной жизни еще рано. Лекция посвящена современному состоянию исследований астробиофизики – науки о внеземной жизни. Мы разберем, почему углеродсодержащие соединения могут не быть надежным признаком наличия жизни, какие фундаментальные аспекты известны благодаря исследованиям жизни на Земле, а также попытки поисков микроорганизмов и их следов на планетах и телах Солнечной системы. Также будут рассмотрены физические условия, наиболее приемлемые для наличия жизни на экзопланетах, и некоторые современные способы их обнаружения. Особое внимание будет уделено поиску собственных магнитных полей экзопланет методом атомного выстраивания – способу, разработанному учеными нашего института.

Собственное магнитное поле экзопланет влияет на структуру их атмосфер и плазмосфер и, следовательно, на наблюдаемые проявления транзитных поглощений. Будет представлен новый метод, предназначенный для ограничения наличия или отсутствия относительно слабых магнитных полей. Мы покажем, что квантовый эффект атомного выравнивания может изменять относительные заселенности подуровней тонкой структуры, тем самым предоставляя возможность для дистанционного определения магнитных полей величиной порядка ~0,001 Гс. Этот метод был применен к некоторым имеющимся наблюдениям транзитов экзопланет и продемонстрировано, что мы действительно можем оценить собственное магнитное поле некоторых экзопланет, основываясь на данных наблюдений.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.06

Газовые электроразрядные лазеры с накачкой объемным сильноточным электрическим и индукционным разрядом: от фундаментальных основ к практическим применениям

Ткаченко Роман Андреевич[1]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: tkachenkora23@yandex.ru

В настоящее время газовые лазеры остаются важнейшими источниками когерентного излучения зачастую со значимыми размерами выходного пучка. Их уникальными особенностями являются высокая монохроматичность и спектральная чистота, широкий диапазон генерации излучения, возможность масштабирования лазерных установок, работающих в непрерывном или импульсном режиме. Данные преимущества обеспечивают незаменимость газовых лазеров в таких областях, как микроэлектроника (эксимерный ArF-лазер, лазер на молекулах F_2), промышленная обработка материалов (CO- и CO_2-лазеры), медицина (офтальмология, хирургия мягких тканей на основе эксимерных ArF-, KrCl- KrF-лазеров) и фундаментальная наука (интерферометрия и спектроскопия на основе лазеров на переходах нейтральных атомов инертных газов, лазеров на интергалогенах, эксимерных NeF-, ArCl-, KrBr-лазеров).

Газоразрядными лазерами, получившими наибольшее распространение, являются импульсные лазеры с накачкой объемным поперечным электрическим разрядом (см. Рис. 1) и непрерывные He-Ne-лазеры, в которых возбуждение активной среды происходит благодаря протеканию электрического тока между электродами, расположенными внутри разрядной камеры. Использование такого метода накачки с первых дней лазерной эпохи стало весьма популярным благодаря отличным характеристикам лазерного излучения и высокой эффективности работы, возможности накачки надатмосферных активных сред, малым габаритам, высокой эксплуатационной вариативности.

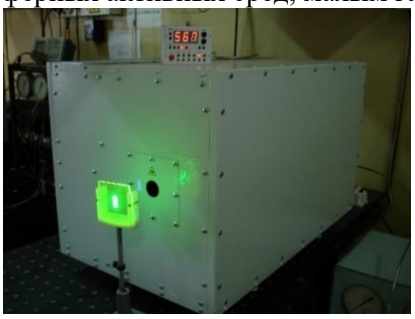


Рис. 1. Фотография корпуса лазера с накачкой активной среды молекулярного азота объемным поперечным электрическим разрядом

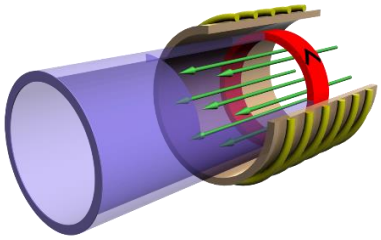


Рис. 2. Схематический вид фрагмента индукционного лазерного излучателя, индукционных токов и пространственного распределения излучения

В качестве альтернативного упомянутому выше метода возбуждения выступает импульсный индукционный безэлектродный разряд. Формирование данного типа разряда происходит благодаря явлению индукции электромагнитного поля, возникающему при протекании переменного тока по соленоиду, расположенному снаружи индукционного лазерного излучателя (см. Рис. 2). Стоит заметить, что условия формирования импульсного индукционного разряда, параметры индуктивно-связанной плазмы и процессы, протекающие в ней, геометрия газоразрядных трубок и оптимальные составы активных газовых сред, необходимые для достижения режима лазерной генерации, имеют заметные отличия от традиционных условий, реализуемых в лазерах с накачкой объемным поперечным электрическим разрядом. Данный метод накачки обладает самостоятельным научным интересом, связанным с возможностью селективного заселения и тушения отдельных лазерных уровней. Отличительной чертой таких лазеров является кольцевая форма выходного лазерного пучка, высокая стабильность энергии лазерного излучения, химическая чистота создаваемой плазмы, хорошая пространственная однородность при оптимальных условиях возбуждения.

Несмотря на различия условий накачки и конструктивные особенности, газовые лазеры с накачкой импульсным объемным поперечным электрическим и индукционными разрядами обладают свойственным им уникальным сочетанием характеристик лазерного излучения, позволяющими решать задачи научного и прикладного характера.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033100059-5).

DOI: 10.15862/83MNNPK25.07

Подготовка начального волнового пакета для квантового интерферометра-гравиметра

Адамов Кирилл Николаевич[1,2], Капуста Дмитрий Николаевич[1,2], Бонерт Анатолий Эрнстович[1], Гончаров Андрей Николаевич[1,2,3]

[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибрский государственный университет, Новосибирск, Россия
[3]Новосибрский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
e-mail: ofadamovkirill@gmail.com

Измерение ускорения свободного падения с высокой точностью представляет собой актуальную задачу в области современной науки и техники. Высокочувствительные и высокоточные гравиметры, как инструмент регистрации гравитационного ускорения, играют ключевую роль как в фундаментальных исследованиях, так и в решении широкого круга прикладных задач. Особое место занимают абсолютные квантовые гравиметры, обладающие рядом существенных преимуществ: отсутствие дрейфа, отсутствие подвижных механических элементов, высокая скорость проведения измерений, возможность совмещения функционала гравиметра, гироскопа и акселерометра в одном приборе.

Точность квантового гравиметра определяется характеристиками источника ультрахолодных атомов ^{87}Rb, включая число атомов в облаке, их температуру, эффективность подготовки начального атомного волнового пакета и др. Существенное влияние на чувствительность и стабильность оказывают различные шумы, наибольший вклад среди которых вносит вибрационный шум. Для подавления вибрационных шумов применяется виброизолирующая платформа в сочетании с системой посткоррекции сигнала [1] либо с активной системой компенсации вибрационных возмущений.

В настоящей работе проведено исследование по подготовке ультрахолодных атомов ^{87}Rb в магнито-нечувствительное квантовое состояние для применения в атомном интерферометре-гравиметре. В рамках исследования выполнено численное моделирование оптической накачки атомов рубидия на уровень $|F=1, m=0\rangle$ с использованием перехода $|F=1\rangle \leftrightarrow |F'=0\rangle$ посредством численного решения скоростных уравнений, описывающих распределение населённостей магнитных подуровней основного состояния [2]. Результаты моделирования показали высокую эффективность выбранной схемы накачки (порядка ~100 %) при отсутствии значительного нагрева атомного облака. Реализация данной методики позволила подготовить атомы ^{87}Rb в магнито-нечувствительное состояние $|F=1, m=0\rangle$ с эффективностью более 95 % (см. Рис. 1(а)) и нагревом менее 1 мкК. Использование оптической накачки привело к улучшению чувствительности гравиметра в более чем 4 раза и позволило достичь чувствительности 5.2 мГал/√Гц (см. Рис. 1(б)).

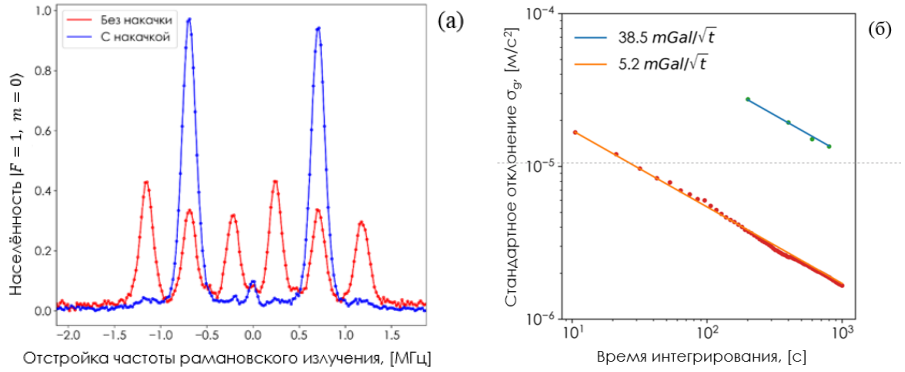


Рис. 1. Зависимость населенности атомов до и после оптической накачки от отстройки относительно часового перехода (а) и зависимость стандартного отклонения σ_g гравитационного ускорения от времени усреднения после оптической накачки (б).

Также проведено исследование компенсации вибрационных шумов методом посткоррекции сигнала с использованием акселерометра. Реализация данной методики позволила улучшить выходные метрологические характеристики гравиметра.

[1] J. Guo, S. Ma, C. Zhou, J. Liu, B. Wang, D. Pan, H. Mao Vibration compensation for a vehicle-mounted atom gravimeter // IEEE Sensors Journal. - 2022. - №13. - С. 12939-12946.
[2] F. Antoche, A. Kastberg Simplified approach for quantitative calculations of optical pumping // European Journal of Physics. - 2017. - №4. - С. 045703.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.08

Выбор оптимальных частот для детектирования поглощения примеси N_2O в атмосфере

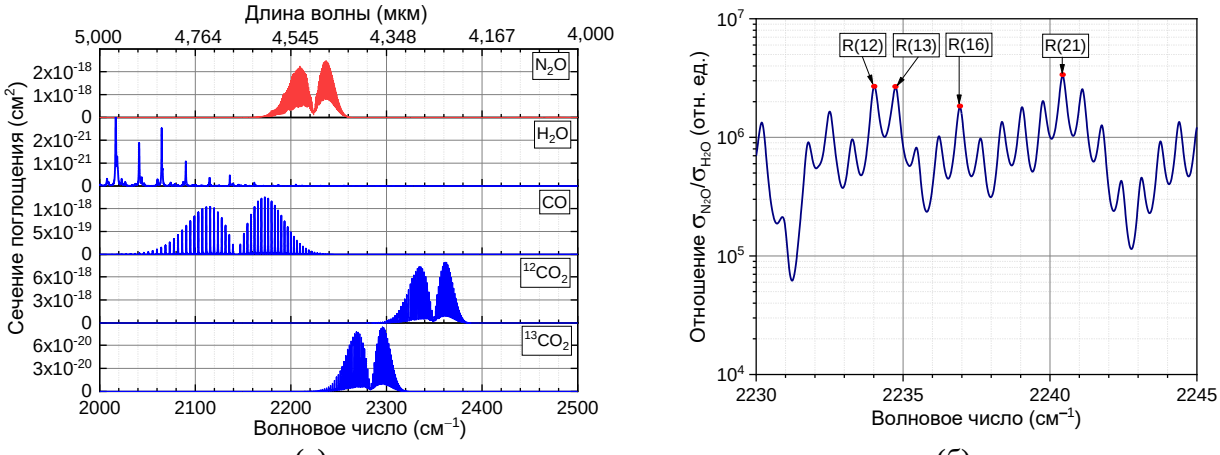
Антоненко Ярослава Викторовна[1,2], **Шерстов Игорь Владимирович**[1,2]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: antonen-ko.y@yandex.ru

Обнаружение закиси азота (N_2O) в атмосферном воздухе является важной и актуальной задачей. Данная газовая примесь оказывает сильный парниковый эффект в атмосфере, ее потенциал глобального потепления равен ~298 усл. ед., а фоновая концентрация в окружающем воздухе составляет ~330 ppb [1].

Целью настоящей работы является определение оптимальных частот излучения для детектирования поглощения примеси N_2O в атмосфере вблизи $\lambda = 4{,}5$ мкм с учетом влияния поглощения мешающих газовых примесей (HITRAN) [2]: пары H_2O, CO, $^{12}CO_2$, $^{13}CO_2$ (см. рис. 1а).

Колебательно-вращательный спектр поглощения N_2O, как и большинства молекулярных газов, расположен в среднем ИК-диапазоне. Наибольшей интенсивностью поглощения N_2O обладает полоса ν_3 вблизи $\lambda = 4{,}5$ мкм. На линии R(16) ($\nu = 2236{,}93$ см$^{-1}$, $\lambda = 4{,}472$ мкм) наблюдается максимальный коэффициент поглощения молекулы N_2O [2] (см. рис. 1а).

Проведена оценка относительного влияния остаточного поглощения паров H_2O при концентрации 10 000 ppm ($T = 20$ °C, $RH \approx 42$ % [3]). Построен график зависимости отношения сечений поглощения $[\sigma_{N2O}(\nu) / \sigma_{H2O}(\nu)]$ от частоты (рис. 1б), на основе чего определены волновые числа, при которых поглощение паров H_2O вносит минимальный вклад при детектировании поглощения N_2O в атмосфере. При $\nu = 2240{,}43$ см$^{-1}$ (линия R(21) N_2O) вклад поглощения паров H_2O составляет менее 1 % от поглощения фоновой концентрации N_2O (330 ppb) в атмосфере. При частотах 2234,02 см$^{-1}$ (линия R(12) N_2O) и 2234,75 см$^{-1}$ (линия R(13) N_2O) влияние поглощения паров H_2O находится на уровне немного выше 1 %. Отметим, что в максимуме поглощения закиси азота ($\nu = 2236{,}93$ см$^{-1}$, линия R(16) N_2O) влияние поглощения паров H_2O составляет около 3 %. Аналогичный анализ проведен для спектров поглощения CO, $^{12}CO_2$ и $^{13}CO_2$ по сравнению с поглощением N_2O. На выбранных линиях поглощения N_2O влияние остаточного поглощения этих газовых примесей находится на уровне менее 1 % при фоновой концентрации N_2O в атмосфере.



(а) (б)

Рис. 1. (а) – Спектры поглощения N_2O, H_2O, CO и изотопов CO_2 в диапазоне от 4 до 5 мкм [2]; (б) – Отношение интенсивности поглощения N_2O и H_2O в центре R-ветви полосы ν_3 N_2O [2]

Выводы: Для детектирования поглощения примеси закиси азота в атмосфере оптимальной является линия R(21) N_2O (2240,43 см$^{-1}$), где наблюдается минимальный вклад (~1 %) мешающих газов (H_2O, CO, CO_2). Также подходят линии поглощения R(12) (2234,02 см$^{-1}$) и R(13) (2234,75 см$^{-1}$), при которых влияние остаточного поглощения мешающих газов составляет немного более 1 %.

[1] Закись азота: получение, применение, защита окружающей среды / К. О. Денисова, А. А. Ильин, Р. Н. Румянцев [и др.] // Рос. хим. ж. – 2017. – Т. 61. – № 2. – С. 46–54.
[2] HITRAN database [Электронный ресурс]: URL: https://hitran.iao.ru.
[3] Калькулятор влажности [Электронный ресурс]: URL: https://planetcalc.ru.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.09

Исследование дисперсионных характеристик микроцилиндра из волокна для применения в спектроскопии дисперсионного преобразования Фурье

Апрелов Николай Андреевич[1], Колесникова Алёна Юрьевна[1], Макарова Наталья Александровна[1], Редюк Алексей Александрович[1], Ватник Илья Дмитриевич[1]
[1]*Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: n.aprelov@g.nsu.ru

Дисперсионное преобразование Фурье (ДПФ) является методом, предназначенным для спектрального анализа быстрых и неповторяющихся событий в реальном времени [1]. Этот подход использует частотно-временное отображение, достигаемое через временное растяжение ультракоротких оптических импульсов с помощью значительной дисперсии групповых скоростей, которую обеспечивают дисперсионные элементы. Хотя оптические волокна представляют собой самые простые дисперсионные элементы с линейной дисперсией, их главный недостаток заключается в необходимости значительной длины для достижения высокой дисперсии групповых скоростей. В качестве альтернативного решения могут быть использованы чирпованные волоконные Брегговские решетки, которые обеспечивают дисперсию порядка нс/нм. Однако ошибки, возникающие в процессе их записи, могут приводить к выбросам в групповой задержке, что осложняет восстановление исходного спектра из-за отсутствия однозначности в частотно-временном преобразовании [1]. Таким образом, актуальной остается задача поиска компактных дисперсионных элементов с высокой дисперсией групповых скоростей.

Данная работа посвящена исследованию микроцилиндра в качестве дисперсионной линии для дисперсионного преобразования Фурье. Мы рассмотрели возможность использования микроцилиндра, изготовленного из стандартного оптического волокна, в качестве диспергирующей системы. Цилиндрическая форма данного элемента предполагает наличие значительного аномального разброса групповых скоростей для мод шепчущей галереи, которые распространяются вблизи поверхности цилиндра. Групповая задержка τ имеет нелинейную зависимость от длины волны λ [2] и может быть теоретически выражена следующим образом:

$$\tau = \frac{nd}{c\sqrt{1-\frac{\lambda^2}{\lambda_0^2}}}, \quad (1)$$

где n - показатель преломления, d - длина микроцилиндра, c - скорость света, λ_0 - резонансная длина волны. Вблизи резонанса формируется область с высокой групповой задержкой, что позволяет осуществлять спектроскопические измерения методом ДПФ с разрешением менее 10 пм. Это было продемонстрировано на примере моделирования спектроскопии аммиака с использованием дисперсионного преобразования Фурье (рис. 1).

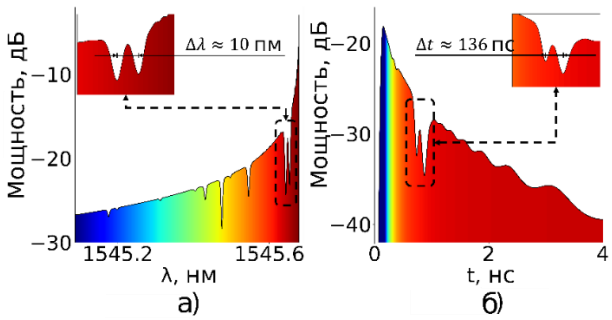


Рис. 1. а) Спектр пропускания измерительной системы (микрорезонатор + ячейка аммиака с длиной поглощения 10 м); б) временная динамика мощности внутри импульса на выходе из системы, соответствующая ДПФ-спектру пропускания

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации ((FSUS-2025-0010).

[1] Goda K., Jalali B. Dispersive Fourier transformation for fast continuous single-shot measurements //Nature Photonics. – 2013. – Vol. 7. – №. 2. – P. 102-112. – DOI 10.1038/nphoton.2012.359.
[2] Sumetsky M. Optical bottle microresonators //Progress in Quantum Electronics. – 2019. – Vol. 64. – P. 1-30. – DOI 10.1016/j.pquantelec.2019.04.001.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.10

Эксимерный KrF-лазер как основа лазерной установки для решения актуальных задач комбустиологии

Батраев Даниил Валерьевич [1,2], Ражев Александр Михайлович[1], Каргапольцев Евгений Сергеевич[1], Чуркин Дмитрий Сергеевич[1]
[1] *Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия*
[2] *Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия*
e-mail: batraevdaniil13@gmail.com

Научно-исследовательский коллектив Лаборатории “Импульсных газоразрядных лазеров” проводит комплексные исследования по темам создания, исследования, оптимизации характеристик излучения и практического применения импульсных газоразрядных лазеров. В данном докладе обсуждаются ультрафиолетовые (УФ) эксимерные лазеры на галогенидах инертных газов (ЭЛ), медицинские лазерные установки на их основе и создание макета лазерной установки для применения в комбустиологии. Активная среда короткоимпульсных газоразрядных ЭЛ на этапе формирования выходного лазерного пучка в режиме усиленного спонтанного шума (десятки наносекунд) при переходе возбужденных эксимерных молекул в основное состояние излучает УФ кванты достаточно большой энергии (6.4 эВ (ArF^*; λ~193 нм); 5,6 эВ ($KrCl^*$; λ~222 нм); 5,0 эВ (KrF^*; λ~248 нм); 4,0 эВ ($XeCl^*$; λ~308 нм)), что предопределяет их применение для решения прикладных технологических задач и актуальных медицинских проблем.

Ранее, нашим коллективом были созданы эффективные ЭЛ [1] и медицинские напольные лазерные установки [2], как для применения в офтальмологии с целью коррекции зрения, лечения глаукомы и герпетического кератита, так и для применения в дерматологии (см. рис.1) с целью нерецедивирующего лечения герпеса на слизистых оболочках лица (ВПГ-1).

Рис. 1. Лабораторный макет лазерной установки для лечения герпеса и кровать пациента

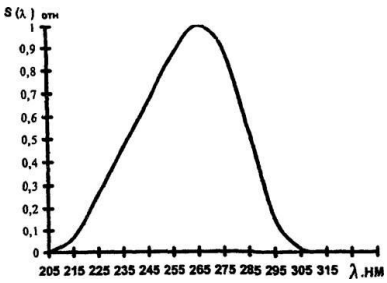


Рис. 2. Кривая относительной спектральной бактерицидной эффективности излучения ($S(\lambda)_{отн}$)

Упомянутые разработки сопровождались предварительным исследованием безопасности воздействия УФ излучения ЭЛ для человека [3]. Среди созданных на сегодня не известно аналогов эксимерному KrF-лазеру по уникальному сочетанию, как диапазона варьирования характеристик лазерного излучения, так и в отношении эксплуатационных расходов и эффективности воздействия на живой организм с целью безопасного лечения, сопровождающегося эффективным малодозным бактерицидным действием (см. рис. 2). Физиологический эффект воздействия малодозного излучения KrF-лазера делает его основой при создании медицинских лазерных установок при лечении ожогов кожных покровов малых и/или существенных, критических для жизни площадей термического поражения.

В результате выполнения работ будет создан макет относительно компактной настольной лазерной установки при использовании свойств послойного бесконтактного удаления нежизнеспособных биотканей в результате холодной абляции. В докладе сообщается о подходах к решению задач по оптимизации условий возбуждения газовой активной среды лазера при увеличении с 24 до 32 мм газоразрядного промежутка при активной длине 400 мм для достижения выходных параметров: энергия в импульсе от 0,4 Дж и выше с длительностью импульса вблизи 20 нс. Исследование выполняется в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033100059-5).

[1] 1,3 J KrF excimer laser with efficiency 2,5 % / A.M. Razhev, S.N. Bagayev, A.A.Zhupikov, E.S. Kargapoltsev // Proc. SPIE. – 2003. – Vol. 5120. –P. 231-235. – DOI:10.1117/12.515514.
[2] Оптические технологии с использованием импульсных УФ лазеров для микроэлектроники и медицины / А.М. Ражев // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2012. - Т.1. С. 185-190.
[3] Цитогенетические эффекты УФ лазерных излучений с длинами волн 248, 223 и 193 нм на клетки млекопитающих / Л.И. Лебедева, Е.М. Ахматьева, А.М. Ражев, С.А. Кочубей, О.В. Рыданных // Радиобиология. 1990. – Т. 30. – Вып.6. С. 821-826.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.11

Модификация алгоритма восстановления матрицы коэффициентов связи и постоянных распространения для семисердцевинного волокна со слабой связью

Бочкарев Никита Витальевич[1,2], Ревякин Александр Александрович[1,2], Гервазиев Михаил Дмитриевич[1,2], Харенко Денис Сергеевич[1,2]
[1]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: n.bochkarev@g.nsu.ru

Многосердцевинные оптические волокна (МСВ) интересны как с точки зрения фундаментальной физики, ведь они могут быть представлены как нелинейные дискретные физические системы, так и с практической стороны: возможность выбора рабочей сердцевины на выходе волокна, временное сжатие ультракоротких импульсов [1], объединение излучения из разных лазерных источников в один пучок с минимальными потерями [2]. Для детального теоретического описания нелинейных эффектов, наблюдаемых в экспериментах [3], необходимо решить задачу об исследовании пространственной динамики излучения в линейном режиме.

Наиболее важным параметром для описания поведения света в МСВ в линейном режиме является матрица коэффициентов связи и постоянных распространения (МКС). Недиагональные элементы такой матрицы c_{ij} описывают взаимодействие излучения между i-ой j-ой сердцевинами, а диагональные элементы β_i представляют собой постоянные распространения света в i-ой сердцевине. По известной МКС можно полностью восстановить пространственную динамику излучения в МСВ. Стоит отметить, что присутствие даже небольших флуктуаций показателя преломления вдоль длины волокна, отличие показателей преломления между сердцевинами, а также небольшие отклонения в геометрии или структуре волокна способны оказать значительное влияние на МКС в случае МСВ со слабой связью.

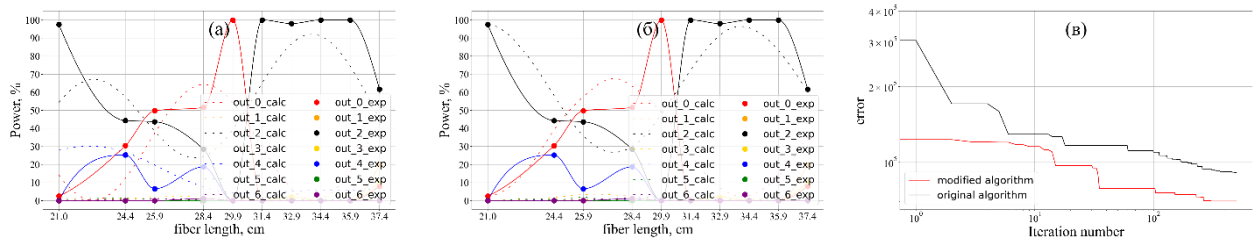


Рис. 1. Графики распределения мощности на выходе волокна в зависимости от длины волокна при вводе в периферийную сердцевину (а, б) и сравнения ошибки восстановления МКС начальным и модифицированным алгоритмами (в). Сплошные линии – экспериментальные данные, пунктирные – рассчитанные из восстановленной МКС различными алгоритмами: а – начальный, б - модифицированный.

Существующий метод восстановления МКС по экспериментальным данным на основе стохастического градиентного спуска [4] хорошо показал себя для МСВ с сильной связью, однако не подходит в случае МСВ со слабой связи (Рис.1 а), ведь он не учитывает зависимость коэффициентов связи от продольной компоненты z из-за относительно большой разницы постоянных распространения и случайный набег фазы из-за неоднородностей показателя преломления. Соответствующие модификации алгоритма восстановления позволили получить более детальную пространственную динамику (Рис.1 б) и уменьшить ошибку восстановления (Рис.1 в). Стоит отметить всё ещё высокий уровень ошибки восстановления данных, что показывает необходимость дальнейшего усовершенствования алгоритма.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 21-72-30024-П).

[1] Rubenchik A. M. et al. Nonlinear pulse combining and pulse compression in multi-core fibers //Optics letters. – 2015. – Т. 40. – №. 5. – С. 721-724.
[2] Chekhovskoy I. S. et al. Nonlinear discrete wavefront shaping for spatiotemporal pulse compression with multicore fibers //Journal of the Optical Society of America B. – 2018. – Т. 35. – №. 9. – С. 2169-2175.
[3] Kharenko D. et al. Nonlinear pulse dynamic in a weak coupled normal dispersion multicore fiber //Quantum and Nonlinear Optics X. – SPIE, 2023. – Т. 12775. – С. 23-28.
[4] Калинин Н. А., Андрианов А. В., Ким А. В. Метод измерения коэффициентов связи между сердцевинами и поправок к постоянным распространения мод в многосердцевинных световодах //Квантовая электроника. – 2018. – Т. 48. – №. 4. – С. 384-389.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.12

Trichostasis spinulosa: люминесценция и фотохимия

Владимирова Елизавета Александровна[1,2], **Мартынович Евгений Федорович**[1,2]
[1]*Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск, Россия*
[2]*Научно-исследовательский институт прикладной физики Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия*
e-mail: lizaklause51@gmail.com

В последнее время повышенное внимание уделяется состоянию здоровья кожи. В связи с этим, появляется все больше информации, связанной со случаями проявления заболевания *Trichostasis spinulosa* [1, 2]. Схожесть с открытыми комедонами при внешнем осмотре делает это заболевание часто недиагностируемым, что вынуждает проявить интерес к его природе. Это заболевание, как и ему подобные, нуждаются в более глубоком изучении.

В данном исследовании применялись лазерно-люминесцентные методы с использованием конфокальной визуализации и спектроскопии, которые показали себя высокоэффективными в биофизических исследованиях [3]. Оборудованием для исследований компонентов экстрагированных фолликулярных пробок служила система время-разрешенного конфокального сканирующего флуоресцентного микроскопа MicroTime 200 фирмы PicoQuant GmbH с высокой чувствительностью. Люминесценция образцов возбуждалась с помощью пикосекундных диодных лазеров, длины волн которых лежали в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра.

Нами было зарегистрировано распределение разнотипной люминесценции вдоль пушковых волосков, извлеченных из фолликулярной пробки. Спектральные данные и расчетное моделирование выявили, что оранжево-красная люминесценция была обусловлена двумя или более видами порфиринов, образующими тонкий слой на поверхности волосков. Зеленая люминесценция, имеющая широкую неэлементарную полосу, являлась собственной люминесценцией волосков, связанной с аминокислотами, содержащимися в кератине. Также был обнаружен эффект, при котором наблюдалось увеличение яркости зеленой люминесценции кератина при параллельном снижении яркости оранжево-красной люминесценции, связанной с фотодеструкцией порфиринов. Нами был подробно рассмотрен механизм его возникновения, объясняющий проходящие фотопроцессы в ответ на воздействие лазерного излучения в области 405 нм. Более того, было показано, что кератин также подвержен фотодеструкции.

Описанные лазерно-люминесцентные исследования фолликулярных тканей при заболевании *Trichostasis spinulosa* проведены впервые, полученные результаты представляют интерес для фундаментальных исследований биофизических объектов и могут быть использованы дерматологами для оценки действия излучения на фолликулы кожи при применении лазерного диагностирования/лечения.

[1] Trichostasis Spinulosa / J.Y. Jeong // Dermatology Diaries: An Illustrated Guide to Common Skin Diseases. – Singapore: Springer Nature Singapore. – 2024. – P. 1-4. – DOI 10.1007/978-981-97-1578-7_1.
[2] Exploring the Link: Trichostasis Spinulosa and Its Association with Early Phymatous Rosacea / S. Andrea, M. Luca, G. Arturo // Skin Appendage Disorders. – 2025. – Vol. 11, No. 1. – P. 9-13. – DOI 10.1159/000540509.
[3] Synthesis, structure, spectral and luminescence studies of novel guanidinium aryl(oxy)(sulfanyl)(sulfonyl)acetates / E. F. Martynovich, N. L. Lazareva, A. L. Rakevich [et al.] // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. – 2024. – Vol. 323. – P. 124862. – DOI 10.1016/j.saa.2024.124862.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.13

Сравнительное модельное исследование диапазонов перестройки параметрических генераторов света на основе серосодержащих кристаллов бариевых халькогенидов

Вострикова Маргарита Витальевна[1,2], Сере Севен Эрестович[2], Ерушин Евгений Юрьевич[1,2], Бойко Андрей Александрович[1,2], Костюкова Надежда Юрьевна[1,2], Шевырдяева Галина Сергеевна[3], Бадиков Дмитрий Валерьевич[3]

[1]Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[3]Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия
e-mail: m.vostrikova@g.nsu.ru

Параметрическая генерация света – нелинейно-оптический эффект, широко использующийся для создания перестраиваемых источников излучения. Поэтому, исследование новых нелинейных кристаллов, применяющихся в ПГС, является актуальной задачей.

Данная работа посвящена модельным исследованиям углов синхронизма кристаллов $BaGa_4S_7$ (BGS), $BaGa_2GeS_6$ (BGGS) и $Ba_2Ga_8GeS_{16}$ (B2GGS) при длинах волн излучения накачки равных 1,064 мкм, 1,5 мкм, 1,85 мкм и 2,09 мкм. Перестроечные характеристики кристаллов рассчитывались на основе дисперсионных зависимостей, взятых из работ [1–3]. Также были получены теоретические значения спектральной ширины фазового синхронизма для данных кристаллов длиной 1 см, которые были рассчитаны по формулам, представленным в работе [4].

Для кристалла BGS максимальный диапазон перестройки достигается в плоскости x-z, но для типа взаимодействия oo-e при длине волны 1,5 мкм и для типа взаимодействия oe-o при всех исследуемых длинах волн накачки условие фазового синхронизма выполняется для двух пар холостых и сигнальных волн. При этом среднее значение ширины линии во всём диапазоне перестройки порядка 25 $см^{-1}$ и значительно увеличивается при приближении к вырожденному режиму, когда длины сигнальной и холостой волн совпадают. В кристалле BGGS наибольший диапазон перестройки достигается при длине волны накачки порядка 1 мкм. А также, при типе взаимодействия oe-o наблюдается наиболее узкая спектральная линия. Для кристалла B2GGS наибольшая перестройка длины волны достигается также при накачке излучением ~ 1 мкм. Более того, вид кривых фазового синхронизма для данных кристаллов имеет схожий вид. При длине волны накачки 1,5 мкм для типов взаимодействия ee-o в кристалле BGGS и oo-e в кристалле B2GGS наблюдается выполнение условия фазового синхронизма для двух пар сигнальных и холостых волн. Также, было выявлено, что при накачке порядка 2 мкм в этих кристаллах ширина спектральной линии достигает 100 $см^{-1}$.

Исходя из всего вышеперечисленного, данные кристаллы могут быть использованы для создания как широкополосных, так и узкополосных перестраиваемых источников излучения, применяющихся во многих областях науки, промышленности и медицины.

[1] Refined Sellmeier equations for $BaGa_4S_7$ / K. Kato, V. V. Badikov, K. Miyata, V. Petrov // Applied Optics. – 2021. – Vol. 60. – № 22. – P. 6600. – DOI 10.1364/AO.430424.
[2] Temperature-dependent phase-matching properties of $BaGa_2GeS_6$ in the 0.767–10.5910 μm spectral range / K. Kato, N. Umemura, V. V. Badikov [et al.] // Applied Optics. – 2022. – Vol. 61. – № 36. – P. 10774. – DOI 10.1364/AO.476853.
[3] Phase-matching properties of $Ba_2Ga_8GeS_{16}$ / K. Kato, V. V. Badikov, N. Umemura [et al.] // Journal of the Optical Society of America B. – 2023. – Vol. 40. – № 1. – P. A17. – DOI 10.1364/JOSAB.469072.
[4] Barnes, N. P. Parametric generation processes: spectral bandwidth and acceptance angles / N. P. Barnes, V. J. Corcoran // Applied Optics. – 1976. – Vol. 15. – Parametric generation processes. – № 3. – P. 696. – DOI 10.1364/AO.15.000696.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.14

Исследование взаимодействия плёнок ITO с терагерцовым излучением для задач фотоники

Грибанов Денис Сергеевич[1,2,3], **Николаев Назар Александрович**[1,3], **Осинцева Наталья Дмитриевна**[2]
[1]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*
[3]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: d.gribanov@g.nsu.ru

Оксид индия-олова (ITO) представляет собой полупроводниковый материал, широко применяемый в оптоэлектронике в качестве прозрачного проводящего покрытия. Концентрация свободных носителей заряда в ITO определяет плазменную частоту, которая обычно лежит в ближней инфракрасной области спектра. Благодаря этому материал прозрачен в видимом диапазоне и обладает выраженным поглощением в среднем и дальнем инфракрасном (в частности, терагерцовом) диапазонах.

Оптические и электрические свойства ITO-плёнок существенно зависят от технологии напыления и толщины слоя, что приводит к расхождениям в данных разных исследовательских групп. При этом точные значения диэлектрических параметров критически важны для разработки терагерцовых оптических элементов с заданными характеристиками, таких как дихроические зеркала, отражающие ТГц-излучение при сохранении прозрачности в видимом диапазоне, или покрытия для терагерцовых пиродетекторов.

В настоящей работе исследовались плёнки ITO толщинами 41, 133 и 290 нм, осаждённые на кварцевые подложки. Комплексные показатели преломления были определены методом импульсной терагерцовой спектроскопии (ИТС) и аппроксимированы моделью Друде для извлечения концентрации свободных носителей и частоты их столкновений. Дополнительно изучалось поведение образцов при воздействии сфокусированного терагерцового излучения Новосибирского лазера на свободных электронах (максимальная средняя интенсивность — 2.4 кВт/см²) с целью оценки порога оптического пробоя [1] и анализа термооптических искажений волнового фронта [2].

Измеренные методом ИТС значения проводимости составили 2.63×10^4, 5.1×10^4 и 7.85×10^4 $(\text{Ом м})^{-1}$ для плёнок с толщинами 41, 133 и 290 нм соответственно. Установлено, что порог оптического пробоя превышает пиковую интенсивность 245 кВт/см². Показано, что при средней интенсивности ТГц-излучения до 0.6 кВт/см² вклад термооптических эффектов несущественен. Произведена оценка коэффициента температуропроводности образца ITO 41 нм, который составил ~ 7.7×10^{-2} $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Авторы выражают благодарность за предоставленные образцы ITO д.ф.-м.н. О. Е. Терещенко, лаборатория физики и технологии гетероструктур, Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН. В работе использовалось оборудование, предоставленное ЦКП «Спектроскопия и оптика» ИАиЭ СО РАН, а также оборудование ЦКП "Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения" на базе уникальной установки "Новосибирский ЛСЭ" в ИЯФ СО РАН.

[1] Wavelength dependence of femtosecond laser-induced damage threshold of optical materials / L. Gallais, D. B. Douti, M. Commandré [et al.] // Journal of Applied Physics. – 2015. – Vol. 117, No. 22. – P. 223103. – DOI 10.1063/1.4922353.
[2] A model for cw laser induced mode-mismatched dual-beam thermal lens spectrometry / Shen J., Lowe R. D., Snook R. D. // Chemical physics. – 1992. – Vol. 165. – No. 2-3. – P. 385-396.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.15

Окрашивание KCl $TlNO_3$ фемто и пикосекундными лазерными импульсами

Григоров Ярослав Иванович[1,2], **Тютрин Александр Александрович**[1.2], **Мартынович Евгений Федорович**[1,2]
[1]*Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск, Россия*
[2]*Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*
e-mail: crevedcko.1@gmail.com

Существуют различные нелинейные объемные фотографические среды, такие материалы пропускают излучение малой интенсивности, но взаимодействуют с высокоинтенсивным излучением и при этом в них происходят процессы лазерно-индуцированного дефектообразования. Такие среды пригодны для изучения нелинейных эффектов взаимодействия света и вещества, а также могут использоваться в качестве материала оптических носителей информации. Подобные материалы ранее были созданы на основе LiF [1], фтористого магния [2], а также исследуемого в данной работе кристалла KCl [3].

Центры окраски, создаваемые в чистых кристаллах хлористого калия оптически и термически неустойчивы, поэтому для использования хлористого калия в качестве фотографической среды необходимо добавление примесей, в данном случая кристалл был допирован солью $TlNO_3$. Центры окраски, образующиеся в данном кристалле термически устойчивы вплоть до 400 К [4]

Под воздействием фемтосекундных лазерных импульсов внутри кристалла KCl было записано изображение пятиконечной звезды размером 5 мм на глубине около 1 мм. С помощью конфокального сканирующего люминесцентного микроскопа MicroTime 200, сопряженного со спектрометром Ocean Optics QE 65000, были измерены спектры фотолюминесценции центров окраски, созданных в данном кристалле (Рис 1). Люминесценция возбуждалась пикосекундными лазерными импульсами с длинами волн 375, 405 и 470 нм.

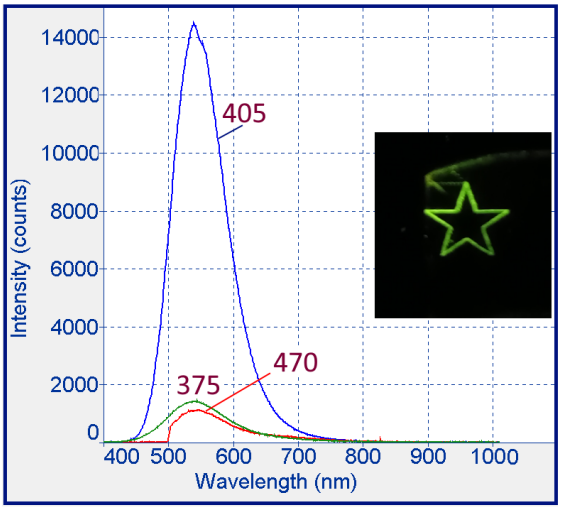


Рис. 1. Спектр фотолюминесценции образованных центров окраски, возбуждаемой пикосекундными лазерными импульсами с длинами волн 375, 405 и 470 нм и сформированное внутри кристалла изображение звездочки (на вставке).

Также была измерена кинетика затухания данной люминесценции, программное разложение показало наличие двух временных компонентов с постоянными затухания 4,5 и 28 нс, что близко к результату [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Конкурса грантов ИГУ по проекту № [091-25-305].

[1] Мартынович Е.Ф., Глазунов Д.С., Григорова А.А. и др. // Опт. и спектр. 2008. Т. 105. № 3. С. 380; Martynovich E.F., Glazunov D.S., Grigorova A.A. et al. // Opt. and Spectr. 2008. V. 105. No. 3. P. 348.
[2] Martynovich E.F., Lazareva N.L., Zilov S.A. // J. Luminescence. 2021. V. 234. Art. No. 117989.
[3] Мартынович Е.Ф. Нелинейный фотографический люминесцентный материал. Патент РФ № 2758567, 2021.
[4] Протасова Е. А., Ракевич А. Л., Мартынович Е. Ф. // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2022. – Т. 86. – №. 10. – С. 1424 - 1428.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.16

Адаптивная многокритериальная оптимизация волнового фронта лазерного излучения с высоким уровнем аберраций по морфологическим метрикам пятна рассеяния

Громыко Владислав Владимирович[1,2], Хорсова Ирина Сергеевна[1,3]
[1]*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
[4]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: vgromyko0@yandex.ru

Адаптивные оптические и лазерные системы – один из исключительных по своим возможностям инструментов для множества приложений. Задача адаптивной оптики заключается в тонкой настройке множества параметров оптической системы, позволяющих получить в конечном итоге уникальные целевые характеристики. Этот подход находит применение в фундаментальных исследованиях, например, в создании квантовых регистров с ультрахолодными нейтральными атомами. С другой стороны, многие современные оптические комплексы с протяженным атмосферным оптическим трактом, например, телескопы, также требуют динамической коррекции параметров волнового фронта. Аберрации волнового фронта критически сказываются на работоспособности лазерных комплексов для множества применений, поэтому важно иметь универсальное средство борьбы с искажениями.

В оптических системах в качестве элементов, способных менять форму волнового фронта лазерного излучения, как правило, используются фазовые преобразователи, такие как цифровые голограммы, выводимые на пространственные модуляторы света, и подвижные микрозеркала. При этом искаженная форма волнового фронта корректируется добавочной фазой корректирующего элемента. Фазовая глубина пикселя голограммы или наклон микрозеркала кодируются величиной электрического напряжения, прикладываемого к нематическому кристаллу или актюатору микрозеркала, соответственно. Задача оптимизации, таким образом, сводится к поиску распределения электрического напряжения на воздействующих элементах.

Обычно при оптимизации волнового фронта для получения острой фокусировки в качестве функции - критерия оптимизации используют признаки, которые не описывают качество формирования пучка напрямую.

Рис. 1. Экспериментальная оптимизация волнового фронта лазерного излучения: распределение интенсивности до и после оптимизации

В нашей работе реализованы механизмы оптимизации в лазерной системе, в которой роль корректирующего элемента выполняет пространственный модулятор света. В качестве функции-оптимизатора выбрана аддитивная скаляризация метрик, отвечающих за интегральную плотность, размер, и форму пучка, Ядро оптимизатора соответствует известному алгоритму семейства Adam (Adaptive Momentum), применяемого в задачах оптимизации нулевого порядка, то есть, без явного использования производных функции-метрики, и для обучения глубоких нейронных сетей.

Мы продемонстрировали экспериментальное и модельное подтверждение состоятельности полученного алгоритма оптимизации в задаче многокритериальной морфологической фокусировки лазерного излучения. На Рис. 1 продемонстрирована коррекция лазерного пучка на экспериментальной установке. Морфологический анализ пятна может претендовать на новую метрику оптимизации в адаптивных оптических системах. Работа выполнена за счет гранта РНФ 23-42-00031.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.17

Лабораторное моделирование разлета поперечных плазменных джетов в замагниченной фоновой среде

Иванов Артем Евгеньевич[1], Шайхисламов Илдар Фаритович[1], Посух Виталий Георгиевич[1]
Чибранов Алексей Алексеевич[1], Березуцкий Артем Григорьевич[1],
Логинов Михаил Викторович[1]
[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: arteemiyy.iv@gmail.com

В настоящий момент исследование протяженных потоков плазмы или джетов представляет собой особый интерес, связанный с тем, что подобные структуры наблюдаются во множестве астрофизических объектов [1]. Рассмотрение данного явления в лабораторных экспериментах позволяет выявлять различные специфические процессы, происходящие при распространении подобного потока, а также открывать ранее не изученные аспекты.

На установке КИ-1 [2] проведен ряд экспериментов по разлету плазменных потоков в поперечное магнитное поле и фоновую плазму. Для этого плоские твердотельные полиэтиленовые мишени облучались импульсами CO2 лазера, тем самым генерировались потоки лазерной плазмы, разлетающиеся в поперечное магнитное поле B0 = 340 Гс и фоновую водородную плазму, создаваемую тетапинчом. Характерные расстояния распространения джета достигали ~ 1.0 м. Диагностика осуществлялась с помощью системы магнитных и электрических зондов, а также системой сверхскоростной фоторегистрации.

В результате получены комплексные данные динамики плазменных потоков в различных конфигурациях – распространение одиночного джета и взаимодействие встречных потоков в вакуумном магнитном поле и в замагниченной фоновой плазме.

Установлено, что при разлете в замагничненную среду поток плазмы формируется в узкий коллимированный «лист», который тормозится об фоновую плазму. При этом длина джета гораздо больше гирорадиуса ионов. Впервые в подобных экспериментах измерена продольная компонента магнитного поля B_x – Альфвеновское «крыло». При встречном разлете двух потоков зарегистрировано резкое поджатие поля, возникновение высокочастотных колебаний и формирование сложных струйных структур.

Таким образом, результаты эксперимента позволили определить динамику плазмы в вакуумном магнитном поле и в замагниченной фоновой плазме для одиночного и встречных потоков.

[1] R.E. Pudritz, M.J. Hardcastle, D.C. Gabuzda, Space Sci. Rev. 169, 2012, P 27–72
[2] Захаров Ю. П., Оришич А. М., Пономаренко А. Г. Лазерная плазма и лабораторное моделирование нестационарных космических процессов, 1988

DOI: 10.15862/83MNNPK25.18

Квантовые вентили для нейтральных атомов с трёхфотонным возбуждением ридберговских состояний

Козенко Ксения Валерьевна[1,2]
[1]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
[2]*Интитут физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: k.kozenko@g.nsu.ru

Квантовые вычисления могут быть реализованы на множестве платформ и долгое время вычисления на ультрахолодных нейтральных атомах не входили в число наиболее перспективных из них, однако в последнее время в этой области был достигнут значительный прогресс [1,2]. Реализация точных двухкубитовых вентилей, в частности, вентиля CZ – одна из важнейших и наиболее трудных задач. Существуют конфигурации двухкубитовых вентилей, использующие кратковременное возбуждение в ридберговское состояние, а также эффект дипольной блокады, когда одновременное возбуждение двух близко расположенных атомов в ридберговское состояние оказывается невозможным. Однако данная схема возбуждения не может применяться для индивидуальной адресации, так как в этом случае наблюдаются пространственные флуктуации интенсивности излучения, действующего на атомы. Следовательно, для реализации вычислений необходимо использовать лазерные пучки, освещающие весь массив атомов, что затрудняет техническую реализацию.

Для индивидуальной адресации при лазерном возбуждении в ридберговские состояния может быть использовано трехфотонное лазерное возбуждение, для которого эффективная трехфотонная частота Раби оказывается нечувствительной к флуктуациям пространственного положения атомов в оптической дипольной ловушке в сфокусированных лазерных пучках [3]. В связи с этим особый интерес представляет реализация двухкубитовых вентилей с нейтральными атомами с использованием трехфотонного лазерного возбуждения.

В работе было проведено численное моделирование двухкубитового фазового вентиля CZ, использующего фазовую модуляцию частоты Раби для различных схем лазерного возбуждения с учётом процессов спонтанной релаксации. Были оптимизированы параметры излучения, а также величина дипольной блокады для максимизации точности квантового вентиля. Рассчитанная точность Cz-вентиля с помощью генерации белловского состояния составила 99.2%, что превышает порог в 99%, необходимый для коррекции ошибок, и, как следствие, открывает возможность экспериментальной реализации. Работа поддержана фондом «Базис», грант 25-1-1-57-1.

[1] H. Levine et al., Phys. Rev. Lett. 123, 170503 (2019)
[2] Z.Fu et al., Phys. Rev. A 105, 042430 (2022)
[3] N.N.Bezuglov et al. High-Fidelity Individual Addressing of Single Atoms in Quantum Registers at Three-Photon Laser Excitation of Rydberg States //arXiv preprint arXiv:2411.06607. – 2024.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.19

Магнитооптические резонансы Ханле на переходах D_1-линии ^{133}Cs в эллиптически поляризованной световой волне

Козлова Катерина Семеновна[1,2], **Макаров Антон Олегович**[1,2], **Бражников Денис Викторович**[1,2] **Гончаров Андрей Николаевич**[1,2,3]

[1]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
[2]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
[3]*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: k.kozlova1@g.nsu.ru

В настоящее время активно развиваются магнитометры с оптической накачкой (МОН), так как они имеют рад преимуществ перед сверхпроводящими квантовыми интерференционными датчиками (СКВИД), ранее считавшимися самыми чувствительными магнитометрами. Преимущества МОН включают в себя небольшой размер, работу при температуре около комнатной, высокую чувствительность, меньшее энергопотребление, низкую цена.

В данной работе регистрировались магнитооптические резонансы (МОР) Ханле [1] в атомах щелочного металла ^{133}Cs (895 нм, D_1-линия), помещенных в кубическую стеклянную ячейку размерами 5×5×5 мм^3 вместе со смесью буферных газов $Ar+N_2$ с давлением 200 Торр. В классической схеме резонансы регистрировались в изменении интенсивности света с круговой поляризацией, проходящего через ячейку, при сканировании поперечного волновому вектору магнитного поля.

Модификация схемы для улучшения чувствительности включала в себя использование эллиптически поляризованного излучения (аналогично работе [2]). Благодаря циркулярному дихроизму противоположные компоненты эллиптические поляризованной волны имели разный коэффициент поглощения в среде. При регистрации резонансов поляриметрическим методом в изменении эллиптичности поляризации шумы, присутствующие в обеих компонентах, вычитались, что улучшало сигнал/шум. Рис. 1 демонстрирует снижение уровня шумов в сигнале с разностного канала балансного фотодетектора (БФД) по сравнению с сигналами первого и второго каналов.

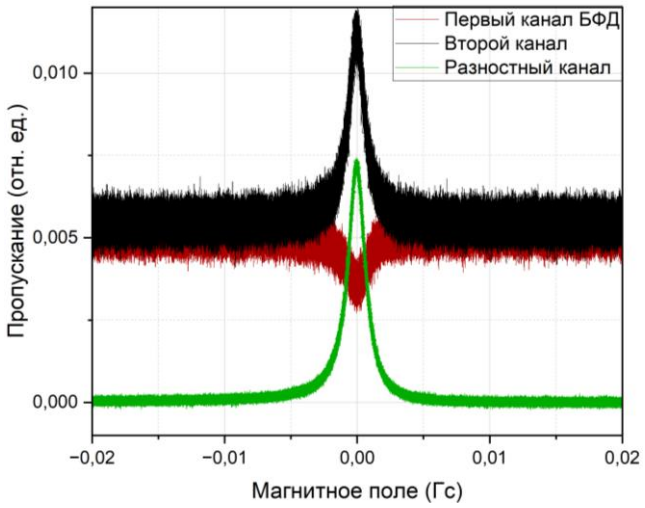


Рис. 1. МОР в модифицированной схеме Ханле, зарегистрированные на трёх каналах БФД при $T_{cell} \approx 85°C$, $P \approx 0{,}6$ мВт, $\varepsilon \approx 10$ градусов, на переходе $F_g = 4 \rightarrow F_e = 4$.

Для обеих схем были зарегистрированы магнитооптические резонансы на двух переходах D1-линии ^{133}Cs ($F_g = 3 \rightarrow F_e = 4$ и $F_g = 4 \rightarrow F_e = 4$) при различных условиях эксперимента: температуре ячейки, оптической мощности, эллиптичности поляризации. Проведены оценки чувствительности: показано превосходство модифицированной схемы над классической более чем в 5 раз. Экспериментально определена ширина полосы измерений, которая составила ~180 Гц.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 23-12-00195).

[1] Александров Е. Б., Бонч-Бруевич А. М., Ходовой В. А. Возможности измерения малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов. Оптика и спектроскопия, 1976. Том XXIII. Вып. 2.
[2] All-optical atomic magnetometry using an elliptically polarized amplitude-modulated light wave / A. Makarov, K. Kozlova, D. Brazhnikov, A Goncharov // Optics Communications. – 2025. – Vol. 577, 131369. – DOI 10.1016/j.optcom.2024.131369.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.20

Разработка экспериментального образца Nd:YAG лазера с распределением интенсивности top-hat для использования в качестве источника накачки параметрического генератора света

Кораблин Павел Дмитриевич[1,2], Сизых Вячеслав Алексеевич[1,2], Латкин Никита Иванович[2], Яковин Михаил Дмитриевич[2]

[1]*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*
[2]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск Россия*
e-mail: korablin.p@mail.ru

Целью проекта является создание переносного экспериментального образца мощного импульсного лазера на кристалле Nd:YAG с плоским (top-hat) распределением интенсивности в пучке. Данный лазер предназначен для использования в качестве высокоэффективного источника накачки перестраиваемого параметрического генератора света (ПГС). Лазер должен обладать следующими параметрами: длина волны излучения 1,064 мкм, энергия не менее 2 мДж, длительность не более 25 нс, степень линейной поляризации не хуже 1:25.

Актуальность работы обусловлена потребностями в развитии современных аналитических приборов для решения экологических и медицинских задач города Новосибирска. Перестраиваемые ПГС применяются в лазерной спектроскопии для мониторинга атмосферы, обнаружения утечек в трубопроводах, а также для неинвазивной медицинской диагностики заболеваний, включая онкологические, на ранних стадиях путем анализа состава выдыхаемого воздуха. Создание компактного и энергоэффективного источника накачки с улучшенными характеристиками позволит повысить чувствительность и мобильность таких приборов, что напрямую способствует решению проблем загрязнения воздуха и улучшению качества медицинского обслуживания в городе.

Ключевым элементом новизны проекта является использование пучка с распределением интенсивности top-hat вместо традиционного гауссового пучка для накачки ПГС. Проведенные ранее исследования [1], показали, что такой подход позволяет многократно (до 35 раз) повысить эффективность нелинейного преобразования и, следовательно, энергетические характеристики ПГС.

Использование top-hat профиля обеспечивает более равномерное распределение интенсивности в поперечном сечении пучка. Это приводит к следующим преимуществам: Снижение порога оптического пробоя нелинейных кристаллов, Уменьшение тепловых эффектов в кристалле по сравнению с гауссовой накачкой, Повышение стабильности и эффективности работы ПГС.

На рисунке 1 (a) представлен график зависимости выходной мощности от тока накачки. Максимум выходной мощности (6,5 Вт) соответствует энергии в импульсе не менее 3 мДж. На рисунке 1 (b) представлен график зависимости выходной мощности от частоты модулятора при силе тока накачки 20 А.

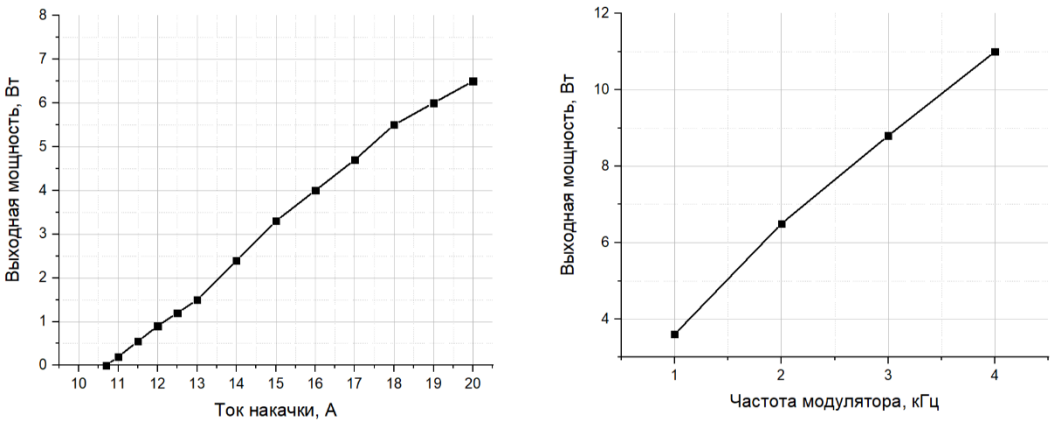


Рис.1 (a) Зависимость выходной мощности от тока накачки.
(b) Зависимость выходной мощности от частоты модулятора.

Измеренная длительность импульса составила 30 нс. Для уменьшения длительности планируется замена выходного зеркала с 55% пропускания на 40%.

[1] Ерушин Е.Ю., Яковин М.Д., Латкин Н.И., Подзывалов С.Н., Костюкова Н.Ю., Бойко А.А. Перестраиваемый параметрический генератор света на основе кристаллов MgO:PPLN и HgGa2S4 с накачкой Nd:YAG лазером с повышенными энергетическими характеристиками // Квантовая электроника. 2023. Т. 53, № 9. С. 712-719

DOI: 10.15862/83MNNPK25.21

Исследование лучевой стойкости оптических материалов

Кротова Екатерина Сергеевна[1,2], Ерушин Евгений Юрьевич[1,2], Сере Севен Эрестович[2], Бойко Андрей Александрович[1,2], Лобанов Сергей Иванович[1,3], Исаенко Людмила Ивановна[1,3], Костюкова Надежда Юрьевна [1,2]

[1]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[3] Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: e.bekareva@g.nsu.ru

Создание параметрических генераторов света (ПГС) с 1960-х годов и по настоящее время является одной из важнейших задач лазерной физики, так как многие возможности остаются не реализованными, поскольку большинство генераторов излучения принципиально могут работать лишь на вполне определенных дискретных частотах, число которых сравнительно невелико. Особый интерес обычно представляет создание ПГС, генерирующего излучение в среднем инфракрасном диапазоне, так как именно в нём расположено большинство линий поглощения газов и окна прозрачности атмосферы, что дает возможность создать газоанализатор, например, для обнаружения утечек. Так же в этой части спектра расположены области прозрачности многих биологических объектов и соединений биологического происхождения, оптических и полупроводниковых материалов, что дает возможность создать на основе ПГС оборудование для неинвазивной медицинской диагностики и лазерной хирургии. В этой области не существует универсального нелинейного кристалла, поэтому актуальным является поиск потенциально подходящих образцов и изучение их свойств, в том числе лучевой стойкости для излучения с длинами волн 1 и 2 мкм, используемыми для накачки ПГС (длины волн выбраны именно из-за интереса к среднему ИК-диапазону). В последние годы высокой популярностью пользуются кристаллы семейства халькогенидов, в том числе литиевые. Одним из таких кристаллов является $Li_{0,81}Ag_{0,19}InSe_2$ (LAISe), который был выращен сравнительно недавно, относится к ромбической кристаллической системе и имеет диапазон пропускания при уровне в 2% 0,58-13,1 мкм [1].

Целью данной работы являлось измерение лучевой стойкости нелинейного кристалла LAISe к излучению с длиной волны ~1 мкм и ~2 мкм.

Для исследования был выбран метод R-on-1, который является наиболее подходящим для тестирования образцов с ограниченной поверхностью, а также даёт наиболее правдоподобные результаты применительно к оптическим установкам. В качестве источников излучения использовались ПГС на основе кристалла PPLN, работающий в вырожденном режиме, с длиной волны 2,128 мкм, шириной линии 3,4 нм, длительностью импульсов 4 нс и наносекундный Nd:YLF-лазер с диодной накачкой, излучающий импульсы с длиной волны 1,053 мкм, длительностью импульсов 5,3 нс, шириной линии приблизительно 220 мкм. Количество импульсов для обоих источников составляло порядка 1000, а частота следования импульсов – 1 кГц. Так же для сравнения характеристик был измерен порог пробоя кристалла тиогаллата серебра $AgGaS_2$ (AGS), который хорошо себя зарекомендовал для применения в ПГС.

В результате работы было измерено пороговое значение оптического пробоя кристалла LAISe, которое составило 0,31 Дж/см^2 при ~1 мкм и 0,92 Дж/см^2 при ~2 мкм, а также кристалла AGS при ~2 мкм, которое составило 0,82 Дж/см^2.

Можно подвести итог, что кристалл LAISe является хорошим претендентом для использования при создании ПГС на длине волны накачки 2,128 мкм, так как демонстрирует порог пробоя примерно в 1,2 раза выше кристалла AGS.

[1] A new nonlinear optical crystal $Li_{0.81}Ag_{0.19}InSe_2$ with balanced properties for efficient nonlinear conversion in the mid-IR region / Ludmila Isaenko, Linfeng Dong, Alexander Yelisseyev, Sergei Lobanov, Ksenia Korzhneva, Sergey Gromilov, Alexander Sukhiha, Alexei Pugachev, Vitaly Vedenyapin, Alexei Kurus, Avag Khamoyan, Zheshuai Lin // Journal of Alloys and Compounds. - 2023. – Vol. 969. – P. 172382. – DOI 10.1016/j.jallcom.2023.172382

DOI: 10.15862/83MNNPK25.22

Минимизация сдвигов, вызванных магнитным полем, в стандарте частоты на основе иона $^{171}Yb^{+}$ при Рамси и Гипер-Рамси спектроскопии

Крысенко Денис Сергеевич[1,2], Прудников Олег Николаевич[1], Юдин Валерий Иванович[1,2,3], Тайченачев Алексей Владимирович[1,3], Чепуров Сергей Васильевич[1]

[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[3]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
e-mail: denizkrysenko@yandex.ru

Оптические стандарты частоты являются одними из наиболее точных физических приборов. Достижимый уровень точности $<10^{-18}$ открывает новые возможности для фундаментальных и прикладных исследований, таких как исследование влияния гравитационного воздействия поля Земли на пространственно-временной континуум, тесты постоянства фундаментальных констант, проверки общей теории относительности, Лоренц-инвариантности пространства, поиск темной материи.

Сдвиги в частоте, связанные с действием магнитного поля, являются одними из доминирующих и определяют бюджет неопределенности оптических стандартов частоты на основе иттербия-171. При этом наличие контролируемого ненулевого магнитного поля необходимо для разделения зеемановских подуровней состояния $^2F_{7/2}$ (F=3) на фоне полевых сдвигов, возникающих в результате воздействия лазерного поля вблизи резонанса опрашиваемого часового октупольного перехода $^2S_{1/2}$ (F=0) → $^2F_{7/2}$ (F=3) [1].

Для достижения рекордных уровней точности измерений в современных стандартах частоты необходим учет и подавление систематических сдвигов атомных уровней, имеющих различную природу. В частности, для стандарта частоты на основе одиночного иона $^{171}Yb^{+}$ дальнейший прогресс в улучшении характеристик может быть связан с контролем и подавлением сдвигов, обусловленных действием равновесного теплового излучения, систематических сдвигов, обусловленных магнитным полем и сдвигов, связанных с квадратичным эффектом Доплера [1,2]. Стоит отметить, что сдвиги частоты перехода, вызванные магнитным полем ~ 0.03 Гс, имеют порядок $\Delta\nu/\nu \sim 4\cdot10^{-17}$.

С другой стороны, отметим, что наличие ненулевого магнитного поля является необходимым при опросах часовых переходов. При этом роль магнитного поля заключается в выделении сигнала при возбуждении перехода между нулевыми зеемановскими компонентами уровней основного и возбуждённого состояния. Соответственно, величину магнитного поля выбирают таким образом, чтобы зеемановское расщепление состояния $^2F_{7/2}$ (F=3, m=0) для октупольного перехода было много больше величины полевых сдвигов, вызванных действием пробного поля. При этом основная задача заключается в определении степени минимизации магнитного поля, при котором ещё возможна спектроскопия, а квадратичный зеемановский сдвиг октупольного перехода $^2S_{1/2}$ (F=0, m=0) → $^2F_{7/2}$ (F=3, m=0) подавлен до уровня $\Delta\nu/\nu<10^{-18}$ и ниже.

В работе проведен анализ сдвигов, вызванных магнитным полем и полевых сдвигов при Рамси и Гипер-Рамси спектроскопии октупольного перехода иона иттербия-171. Выделены условия, при которых можно уменьшить влияние полевых сдвигов и сдвигов магнитного поля до уровня $\Delta\nu/\nu<10^{-19}$, что открывает новые возможности для развития оптических стандартов частоты.

[1] N. Huntemann , C. Sanner, B. Lipphardt, C. Tamm and E. Peik , Phys. Rev. Lett. v. 116, 063001 (2016)
[2] C. Sanner, N. Huntemann, R. Lange, C. Tamm, E. Peik, M.S. Safronova. and S.G. Porsev , Nature. v.567, 204–208 (2019)

DOI: 10.15862/83MNNPK25.23

Система двухэтапного лазерного охлаждения иона иттербия-171 без использования магнитного поля

Лапин Никита Сергеевич[1], Чепуров Сергей Васильевич[1], Прудников Олег Николаевич[1], Крысенко Денис Сергеевич[1,2], Тайченачев Алексей Владимирович[1,3], Юдин Валерий Иванович[1,2,3], Багаев Сергей Николаевич[1,3]
[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[3]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
e-mail: nikita2252891@gmail.com

В настоящее время актуальность исследований и разработок, направленных на создание высокоточных оптических стандартов частоты, обусловлена их важными приложениями как для фундаментальной науки (проверка фундаментальных физических теорий, тестирование дрейфа фундаментальных констант и т. д.), так и для широкого практического применения (синхронизация квантовых сетей, криптография, навигация и т. д.). За последние годы был достигнут существенный прогресс в повышении точности и стабильности оптических стандартов частоты, основанных на локализованных и охлажденных до сверхнизких температур атомов и ионов. Такие системы могут демонстрировать наилучшие характеристики стабильности частоты (до 10^{-18}) за большие времена наблюдения. Одними из наиболее перспективных оптических стандартов частоты на данный момент являются системы, основанные на одиночном лазерно-охлажденном ионе иттербия-171 [1].

Для достижения предельной точности оптического стандарта частоты необходимо, чтобы ион находился в хорошо контролируемой среде, изолированной в достаточной мере от внешних воздействий, вызывающих систематические сдвиги частоты часовых переходов. Источниками таких сдвигов являются, например, тепловое движение иона, а также сильное магнитное поле (1-10 Гс), которое необходимо использовать в классической схеме охлаждения иона иттербия-171. В ИЛФ СО РАН впервые был разработан [2] и протестирован [3] новый метод лазерного охлаждения без использования магнитного поля, который состоит из двух этапов. Первый этап подразумевает охлаждение иона иттербия-171 до температур порядка доплеровского предела. Второй этап основан на эффекте электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП) и подразумевает сверхглубокое охлаждение иона до основного колебательного состояния.

После анализа результатов, полученных в работе [3], схема безмагнитного охлаждения была модернизирована. Новая схема охлаждения имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с предыдущей: 1) возможность поэтапной реализации двух ступеней охлаждения; 2) все спектральные компоненты охлаждающего излучения стабилизированы по частоте. На данный момент в новой схеме успешно реализован первый этап безмагнитного охлаждения. Полученный сигнал флуоресценции, а также спектральная полуширина по полувысоте охлаждающего перехода порядка 13 МГц свидетельствуют об эффективности охлаждения иона сравнимой с традиционной схемой охлаждения. В рамках дальнейшей работы рассмотрены варианты полноценного перехода к двухэтапному охлаждению в новой схеме.

Успешная реализация безмагнитного охлаждения иона иттербия-171 до основного колебательного состояния позволит существенно продвинуться в создании высокоточного оптического стандарта частоты с относительной неопределенностью частоты менее 10^{-18}.

Исследования выполнены в рамках темы госзадания ИЛФ СО РАН 1021062210954-9-1.3.6 "Разработка новых физических принципов и методов высокопрецизионной лазерной спектроскопии на основе ультрахолодных атомов и ионов для создания нового поколения оптических часов с долговременной нестабильностью частоты на уровне 10^{-17} – 10^{-19}".

[1] Spectroscopy of the quadrupole clock transition of ytterbium-171 ions for optical frequency standard development / S. V. Chepurov, A. A. Lugovoy, O. N. Prudnikov [et al.] // Quantum Electronics. – 2019. – Vol. 49, No. 5, – P. 412-417. – DOI 10.1070/QEL16996.
[2] Cooling of ytterbium-171 ions in a polychromatic field / D. S. Krysenko, O. N. Prudnikov // JETP. – 2023. – Vol. 164, No. 2, – P. 273-281. – DOI 10.31857/S004445102308014X.
[3] Laser cooling of ytterbium-171 ion without magnetic field / O. N. Prudnikov, D. S. Krysenko, A. V. Taichenachev [et al.] // JETP. – 2024. – Vol. 166, No. 4, – P. 556-565. – DOI 10.31857/S0044451024100122.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.24

Разработка и изготовление двунаправленного коллектора ионов для развития диагностики плазмы в условиях лабораторного моделирования космофизических процессов

Логинов Михаил Викторович[1], Шайхисламов Илдар Фаритович[1], Посух Виталий Георгиевич[1]
Чибранов Алексей Алексеевич[1], Березуцкий Артем Григорьевич[1],
Иванов Артем Евгеньевич[1]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: misha.logv@gmail.com

На установке КИ-1[1-2] в 2025 году был разработан, изготовлен и введён в эксплуатацию новый электрический зонд – двунаправленный коллектор ионов КВ3. Актуальность развития зондовой диагностики обусловлена необходимостью качественного, более детального изучения различных нестационарных космических явлений в условиях лабораторного эксперимента на крупномасштабных установках, с применением различных методов диагностики.

В работе представлена конструкция электрического зонда и результаты, полученные с его помощью, а также сравнение с эталонным измерительным прибором КВ2, уже существующими и использующимися на экспериментальной установке (рисунок 1). Двунаправленный коллектор позволил проводить измерения в двух направлениях независимо друг от друга и измерять параметры как фоновой плазмы, генерируемой тетта-пинчем, так и лазерной плазмы, получаемой за счёт облучения полиэтиленовой мишени, исследовать концентрацию и скорость плазмы, позволил контролировать а также отслеживать динамику разлета лазерной плазмы.

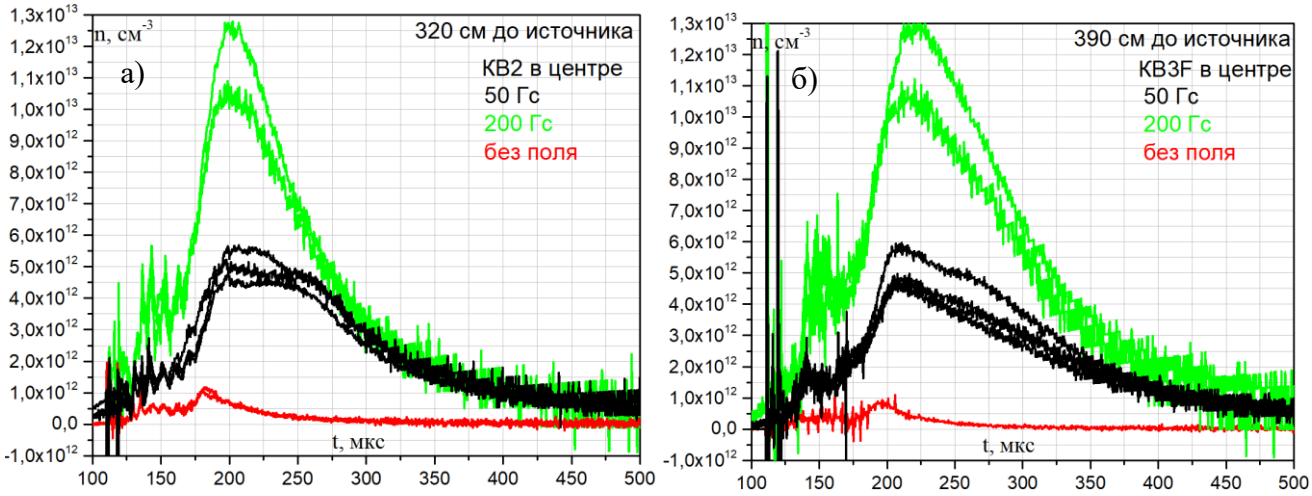


Рис. 1. Концентрация плазменного столба, измеренная эталонным зондом КВ2(а) и с одного из измерительных электродов нового двунаправленного коллектора КВ3F(б) при варьировании величины внешнего магнитного поля.

Зонд продемонстрировал хорошую чувствительность к плотности и скорости разлета плазменного столба и позволил отслеживать повторяемость плазменных параметров во время проведения эксперимента. Полученные сигналы зонда качественно и количественно соответствуют с показателями иных измерительных приборов, он позволил отслеживать плотность плазмы, скорость плазменного потока, энергию плазменного облака, а возможность проводить измерения на разном расстоянии до источников позволила проводить измерения и исследовать динамику развития облака лазерной плазмы и плазменного столба. Также впервые для коллекторных измерений появилась возможность проводить измерения по направлению распространения облака лазерной плазмы независимо от фона, что важно при разлёте облака плазмы и его взаимодействии с внешним магнитным полем и окружающей средой.

[1] Y.P. Zakharov et al //AIP Conference Proceedings. – American Institute of Physics, 369, № 1, p. 357-362, (1996).
[2] I. F. Shaikhislamov et al //Plasma Physics and Controlled Fusion, 56, № 12, p. 125007, (2014).

DOI: 10.15862/83MNNPK25.25

Исследование лазерного излучения в активном цилиндрическом микрорезонаторе из теллуритового волокна, легированного ионами эрбия

Макарова Наталья Александровна[1], **Ватник Илья Дмитриевич**[1]
[1]*Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: n.makarova@g.nsu.ru

На сегодняшний день цилиндрические микрорезонаторы привлекают значительное внимание благодаря высокой добротности, чувствительности к изменениям в окружающей среде, а также возможностью точного управления структурой мод путем изменения эффективного радиуса. Перспективным является создание компактного узкополосного лазерного источника на основе цилиндрического микрорезонатора, легированного ионами редкоземельных элементов.

В последнем исследовании [1] было продемонстрировано, что микросфера из теллурового стекла, легированная ионами эрбия по всему объему, может обеспечивать как одномодовую, так и многомодовую лазерную генерацию при накачке перестраиваемым узкополосным лазером в диапазоне 1520 нм. Актуальным является создание компактного лазера на основе цилиндрического микрорезонатора, изготовленного из того же активного теллуритового волокна. Цилиндрическая форма позволяет изменять длину волны излучения лазера, манипулируя местом контакта накачки с микрорезонатором.

Мы разработали компактный лазерный источник на основе волокна из теллуритового стекла, легированного ионами эрбия. Волокно предварительно подвергалось локальному нагреву с помощью CO_2 лазера для создания небольших вариаций радиуса, фиксирующих излучение мод. Для накачки использовался коммерчески доступный широкополосный лазерный диод на 976 нм, излучение которого вводилось в микрорезонатор через вытянутое биконическое волокно. При перемещении точки ввода накачки вдоль оси нити получались как одномодовая (рис. 1, (а)), так и многомодовая лазерная генерация (рис. 1, (б)).

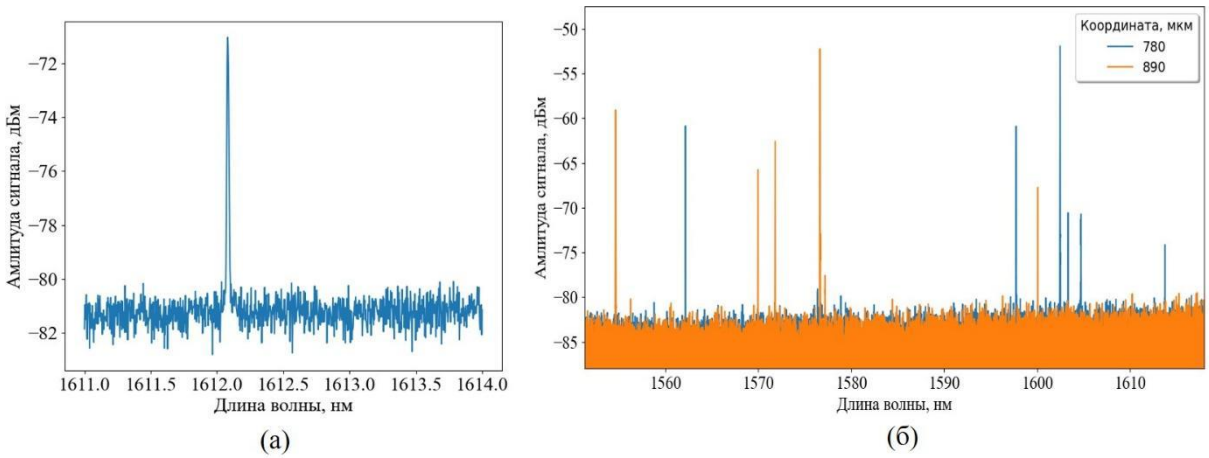


Рис. 1. Спектр лазерной генерации: а) одномодовая, б) многомодовая

Результаты исследования показали, что при накачке широкополосным лазером на 976 нм активного микрорезонатора из теллуритового волокна, происходит лазерная генерация как в области C-band, так и L-band области. При этом порог составил 76 мВт. В работе было показано, что изменением точки накачки относительно оси микрорезонатора можно регулировать длину волны лазерного излучения (рис. 1, (б)). Стоит отметить, что полученное лазерное излучение обладает шириной линии генерации около 2 МГц.

Благодарим В.В. Дорофеева, А.В. Андрианова и Е.А. Анашкину за предоставленные образцы теллуритных нитей и консультации. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-12-20020 (https://rscf.ru/project/25-12-20020/) и Правительства Новосибирской области.

[1] Anashkina, Elena A., and Alexey V. Andrianov, **39**, №11, 3568-3574, (2021).

DOI: 10.15862/83MNNPK25.26

Экспериментальная оценка первичного механизма нелинейной фотоионизации

Мурзин Семен Витальевич[1], Кузьмин Валентин Сергеевич[1], Дресвянский Владимир Петрович[1], Мартынович Евгений Федорович[1]
[1]Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: murzin_sv@list.ru

Общепринято считать, что нелинейная фотоионизация кристаллической среды при воздействии на нее интенсивного светового поля обусловлена тремя возможными механизмами: многофотонной, туннельной или лавинной ионизацией [1]. В рамках формализма Келдыша процессы многофотонной и туннельной ионизации рассматриваются как два предельных случая одного и того же процесса нелинейной ионизации среды [2]. Критерием оценки того или иного механизма ионизации является параметр γ. При $\gamma >> 1$ реализуется механизм многофотонной ионизации среды, при $\gamma << 1$ – туннельной. Кроме этого, в случае если, $\gamma \approx 1$, то возможна реализация так называемого переходного многофотонно-туннельного механизма. Необходимо заметить, что, на практике возникают существенные трудности с идентификацией реально работающего механизма ионизации среды. Однозначные экспериментальные критерии определения параметра Келдыша в настоящее время отсутствуют и для его оценки, как правило, применяют расчетные методы.

В рамках проведенных нами исследований мы использовали за основу методику, предложенную авторами работы [3]. Нами был использован оптически одноосный кристалл фторида магния, который относится к числу широкозонных диэлектриков с преимущественно экситонным механизмом дефектообразования. Экспериментальный образец был вырезан в форме прямоугольного параллелепипеда, а его оптическая ось была ориентирована вдоль одного из ребер. На данный кристалл направлялся линейно поляризованный луч излучения титан-сапфирового лазера. Использовалась такая взаимная ориентация волнового и электрического векторов света и оптической оси кристалла, чтобы в последнем по одному и тому же направлению распространялись два фемтосекундных импульса одинаковой напряженности с взаимно ортогональными векторами, движущимися с разными скоростями.

Исследования показали, что при воздействии на кристалл фторида магния излучением второй гармоники фемтосекундного титан-сапфирового лазера с интенсивностью порядка 1,3 ТВт/см2 в объеме кристаллической среды формируется люминесцирующий канал, содержащий следы единичных филаментов с пространственно-периодическим распределением концентрации дефектов. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при указанных выше условиях взаимодействия света и вещества реализуется многофотонно-туннельный механизм нелинейной межзонной фотоионизации. Кроме этого, результаты исследований показали, что при снижении степени фотонности процесса нелинейной фотоионизации глубина модуляции пространственного периодического распределения концентрации индуцируемых центров окраски при возбуждении кристалла второй гармоникой фемтосекундного лазерного излучения больше, чем при облучении первой гармоникой, что обусловлено увеличением вклада эффекта туннелирования в процесс многофотонно-туннельной фотоионизации вещества.

[1] Osellame, R. Femtosecond laser micromachining: photonic and microfluidic devices in transparent materials / R. Osellame, G. Cerullo, R. Ramponi // Springer Science & Business Media, Topics in Applied Physics. – 2012. – Vol. 123. – 482 c.
[2] Келдыш, Л.В. Ионизация в поле сильной электромагнитной волны / Л.В. Келдыш // ЖЭТФ. – 1964. – Т. 47. – С. 1945.
[3] Lazareva, N.L. Creation of luminescent defects in crystals by coherent pairs of femtosecond laser pulses / E.F. Martynovich, N.L. Lazareva, S.A. Zilov, // Journal of Luminescence. – 2021. – Vol. 234. – P. 117989.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.27

Создание высокодобротного цилиндрического микрорезонатора мод шепчущей галереи для генерации нелинейных эффектов

Новиков Аркадий Дмитриевич[1], **Ватник Илья Дмитриевич**[1]
[1]*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: a.novikov6@g.nsu.ru

Разработка компактных источников оптических частотных гребенок (ОЧГ) представляет особый интерес для задач высокоточных измерений [1]. Перспективными платформами для их генерации являются интегральные оптические микрорезонаторы, которые удобны для встраивания в оптические схемы [2]. Резонаторы на основе чипов часто характеризуются высокой стоимостью при демонстрируемых значениях добротности $Q = 10^7$. В данной работе предлагается использование более доступной системы — цилиндрического микрорезонатора на основе оптоволокна.

Объем мод в цилиндрических резонаторах обычно больше из-за протяженного аксиального распределения, а ранее достигнутые добротности не превышали $Q = 10^6$, но они обладают рядом преимуществ. Например, возможность управления распределением поля с помощью варьирования эффективного радиуса и малая область свободной дисперсии аксиальных мод, что позволяет формировать низкочастотные ОЧГ [3]. Чтобы снизить порог генерации в необходимо уменьшить эффективный объем моды и повысить добротность резонатора.

Для этой задачи оптическое волокно было очищено от пластиковой оболочки с помощью ацетона. После чего оптоволокно было отожжено сфокусированным лазерным излучением мощностью 5,6 Вт, с диаметром пучка 40 мкм и со скоростью 0,5 мм/с. Затем волокно локально нагревается лазерным излучением мощностью 10,5 Вт длительностью 100 мс с интервалом 2,5 с в двух точках на расстоянии 200 мкм друг от друга, создавая широкую отрицательную вариацию эффективного радиуса. Между этими двумя точками образуется узкая положительная вариация.

Чтобы эффективно возбуждать МШГ мы используем вытянутое оптоволокно с диаметром около 1,6 мкм. Зазор между резонатором и волноводом, а также положение точки связи вдоль волновода были оптимизированы, для достижения околокритической связи. Спектр пропускания оптимизированной системы приведен на рис 1 а), добротность резонатора составила 10^8.

Для генерации ОЧГ мы перестраивали длину волны лазерного излучения с модуляцией 250 МГц и скоростью перестройки 100 кГц. Такая высокая скорость перестройки позволила уменьшить влияния тепловых эффектов на эффективную накачку резонатора лазерным излучением. Спектр генерации ОЧГ при мощности накачки 100 мВт представлен на рис 1 б).

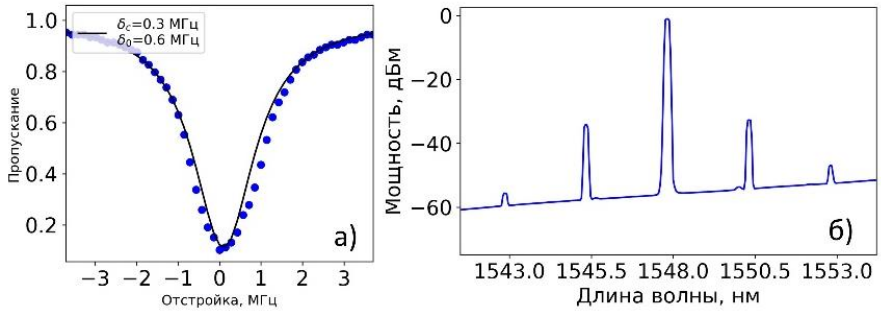


Рис. 1. а) Спектр пропускания оптимизированной системы. б) Спектр генерации ОЧГ, разрешение 0,2 нм.

Мы продемонстрировали возможность использования цилиндрического микрорезонатора для генерации ОЧГ на азимутальных модах.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (FSUS-2025-0010).

[1] Microresonator soliton dual-comb spectroscopy / M. G. Suh, Q. F. Yang, K. Y. Yang [et al.] // Science. – 2016. – Vol. 354, No. 6312. – P. aah6516. – DOI 10.1126/science.aah6516. – EDN XTVJLV.
[2] A chip-scale microwave repetition rate frequency comb / P. Del'haye, O. Arcizet, A. Schliesser [et al.] // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2009. – Vol. 7222. – DOI 10.1117/12.814912. – EDN LUHMZJ.
[3] Soliton-comb solutions for fiber-based bottle microresonators / A. Kolesnikova, I. Vatnik, B. Sturman, E. Podivilov // Optics Letters. – 2025. – Vol. 50, No. 3. – P. 730. – DOI 10.1364/ol.544823. – EDN YFDMDA.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.28

Исследование влияния условий накачки на энергетические, спектральные и пространственные характеристики излучения индукционного неонового лазера с длинами волн 594 нм и 614 нм

Печуркин Владислав Евгеньевич[1], Чуркин Дмитрий Сергеевич[2], Ткаченко Роман Андреевич[2], Каргапольцев Евгений Сергеевич[2]
[1]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[2]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: vpechurkin2003@gmail.com

Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости спектральных, временных, пространственных и энергетических характеристик лазерного излучения от условий накачки при возбуждении неона импульсным индукционным цилиндрическим разрядом.

В экспериментах использовалась высоковольтная система накачки, выполненная по типу схемы Блюмляйна. В качестве индукционного лазерного излучателя использовались различные стеклянные и керамические трубки (диаметр варьировался от 11 до 42 мм) с размещёнными на них индукторами различных конфигураций. Лазерный излучатель герметизировался плоскопараллельными пластинами из CaF_2. Использовался внешний оптический резонатор, состоящий из заднего плоского плотного диэлектрического зеркала и набора передних диэлектрических зеркал с различным коэффициентом отражения. В качестве активной среды использовался газ неон (“5.5”) и его смеси с аргоном и гелием.

При накачке неона импульсным индукционным цилиндрическим разрядом получена лазерная генерация на 3p → 3s переходах нейтральных атомов неона с длинами волн 594,4 нм и 614,3 нм (рис. 1). Наибольшая энергия излучения была зарегистрирована при использовании трубки с внутренним диаметром 17 мм. Её значение достигало 17 мкДж при зарядном напряжении 29 кВ и давлении неона 0,13 …. 0,15 Торр. При этом, понижение напряжения приводило к снижению энергии излучения вплоть до срыва генерации при напряжениях менее 20 кВ. Исследования временных характеристик генерации показали, что длительность импульсов лазерного излучения примерно одинаковая для обеих длин волн и достигает значения 12.5±1 нс на полувысоте, что соответствует импульсной мощности около 1,4 кВт. В трубке наименьшего диаметра также была получена устойчивая генерация с длинами волн 594,4 нм и 614,3 нм, но энергия излучения не превышала 1 мкДж. При использовании трубки максимального диаметра было отмечено резкое уменьшение интенсивности излучения с длиной волны 614,3 нм при этом излучение с длиной волны 594,4 нм в спектре генерации не регистрировалось. Вместо этого возникала лазерная генерация с длиной волны 540,1 нм. Изменение диаметра трубки при необходимости сохранения максимально возможной частоты осцилляций на индукторе требовало варьирования индуктивности индуктора, что, в свою очередь, влияло на электронные параметры плазмы и приводило к иному заселению уровней 3p → 3s газа неона.

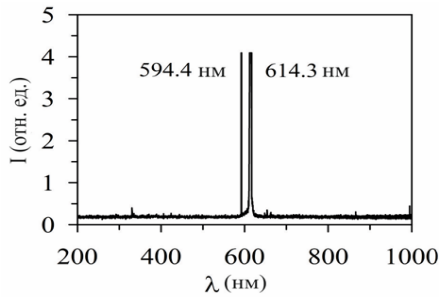


Рис.1. Спектр генерации Ne I лазера при накачке импульсным индукционным цилиндрическим разрядом. Давление неона p= 0,15 Торр; $U_з$ = 29 кВ

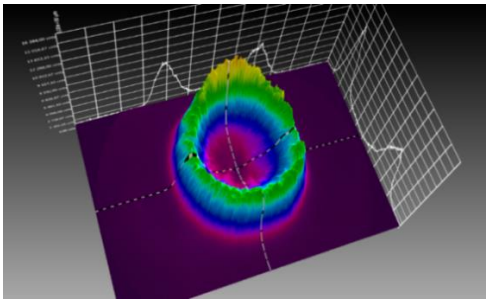


Рис.2. Трёхмерное изображение распределения интенсивности излучения в поперечном сечении пучка Ne I лазера (λ= 594,4 нм и λ=614,3 нм)

Проведено исследование пространственных характеристик лазерного пучка (λ= 594,4 нм и λ=614,3 нм) (рис. 2). На расстоянии около 1 метра от выходного зеркала форма пучка представляла собой кольцо диаметром 16 мм и шириной 2,2 мм. На расстоянии около 3 метров кольцевая форма пучка сохранялась, при этом диаметр и ширина кольца увеличивались до 23,5 мм и 7,3 мм соответственно. Проведённая оценка расходимости показала величину примерно в 1,5 мрад. Лазер устойчиво работал в импульсно-периодическом режиме с частотой следования импульсов до 50 Гц. Такие энергетические характеристики (до 17 мкДж) позволяют использовать данный Ne I лазер для микроимпульсного воздействия на биологические ткани.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №121033100059-5).

DOI: 10.15862/83MNNPK25.29

Сравнительный анализ режимов модуляции излучения накачки в чисто оптическом магнитометре на D_1 линии ^{87}Rb

Радченко Максим Дмитриевич[1,2,3], **Юдин Валерий Иванович**[1,2,3]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*
[3]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: sciencefloppa@gmail.com

На сегодняшний день атомные магнитометры являются одними из наиболее точных и чувствительных приборов для измерения магнитных полей [1]. Кроме того, атомные магнитометры используют в качестве чувствительного элемента пары щелочных металлов, что дает им большой потенциал миниатюризации и возможность работы без криогенного охлаждения [2].

В данном теоретическом исследовании рассматривается чисто оптический магнитометр, в котором для формирования магнитооптического резонанса на частоте Лармора $\Omega_L = gB_0$ применяется модуляция параметров оптического излучения накачки. Цель исследования состоит в определении влияния различных режимов модуляции излучения на метрологические характеристики атомного магнитометра. При этом под режимом модуляции подразумевается модуляция параметра оптического излучения.

В качестве теоретической модели атомного магнитометра рассматривается оптический переход $5^2S_{1/2} \rightarrow 5^2P_{1/2}$ (D_1 линия) в атомах ^{87}Rb с буферным газом. Динамика указанной системы описывается квантовым кинетическим уравнением в рамках формализма матрицы плотности с учетом различных процессов релаксации. Магнитооптический резонанс возникает под действием бихроматического лазерного излучения, одна из частотных компонент которого модулируется вблизи частоты Лармора, а вторая компонента используется для перекачки атомов с нерезонансного сверхтонкого уровня для усиления сигнала. В рамках исследования используются следующие режимы модуляции излучения: амплитудная модуляция, фазовая модуляция, модуляция вектора линейной поляризации θ и модуляция эллиптичности ε (графическое пояснение параметров поляризации приведено на Рис. 1). Для оценки метрологических характеристик исследуются параметры сигнала ошибки, формируемого по спектроскопическому сигналу техникой синхронного детектирования.

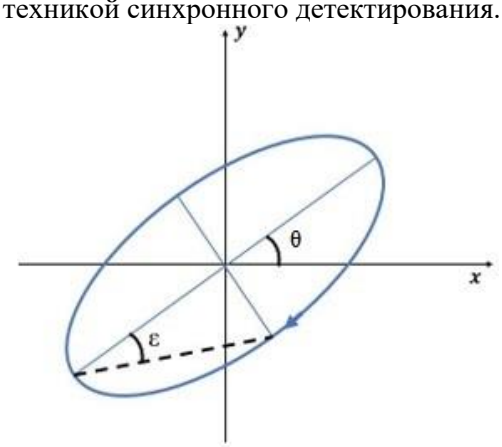


Рис. 1. Параметры, характеризующие поляризацию излучения: эллиптичность ε и угол поворота эллипса θ

В ходе исследования установлены зависимости характеристик сигнала ошибки от интенсивности и коэффициента модуляции оптического излучения. На основе полученных зависимостей проведена оптимизация указанных параметров оптического излучения для достижения наилучшей точности и чувствительности чисто оптического магнитометра.

[1] Fabricant, A. How to build a magnetometer with thermal atomic vapor: a tutorial / A. Fabricant, I. Novikova, G. Bison // New Journal of Physics. – 2023. – Vol. 25, No. 2. – P. 025001. – DOI 10.1088/1367-2630/acb840.
[2] Петренко, М. В. Квантовый оптический датчик магнитного поля для систем нейродиагностики нового поколения / М. В. Петренко, А. С. Пазгалев, А. К. Вершовский // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, № 2. – С. 119-126.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.30

Исследование параметрического генератора света на основе кристалла $BaGa_2GeS_6$ и уточнение его дисперсионных свойств

Сере Севен Эресович[1], Ерушин Евгений Юрьевич[1,2], Вострикова Маргарита Витальевна[1,2], Бойко Андрей Александрович[1,2], Шевырдяева Галина Сергеевна[3], Бадиков Дмитрий Валерьевич[3], Костюкова Надежда Юрьевна[1,2]
[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[3]Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия
e-mail: sereseven20010219@gmail.com

Создание когерентных источников излучения среднего инфракрасного (ИК) диапазона актуально для медицинской диагностики и для других различных приложений. Линии поглощения многих биологических объектов находятся в спектральном диапазоне ИК излучения. В 1994 году был представлен механизм биологической абляции тканей, где эффективная абляция была достигнута с использованием лазерного источника излучения с длиной волны 6,45 мкм.

В работе представлены результаты экспериментального исследования параметрического генератора света (ПГС) на основе нелинейного кристалла $BaGa_2GeS_6$ (BGGS) накачиваемого наносекундным Nd:YAG лазером, работающим на длине волны 1064 нм с частотой следования импульсов 10 Гц и максимальной энергией 160 мДж. Были исследованы энергетические, спектральные, пространственные и временные характеристики генерации в среднем ИК диапазоне. Максимальная выходная энергия при энергии накачки 92 мДж составила 2,06 мДж, что соответствует эффективности преобразования 2,23%, дифференциальной эффективности 2,6% и квантовой эффективности 13,5%. Путем вращения образца вокруг полярного угла θ были исследованы характеристики фазового согласования кристалла BGGS. Полученные перестроечные характеристики для излучения с длиной волны ниже 4,5 мкм отклоняются более чем на 1° от теоретической кривой, рассчитанной с использованием коэффициентов Селлмейера из работы [1]. Для уточнения коэффициентов, экспериментальные данные аппроксимировались методом наименьших квадратов, что позволило снизить среднеквадратичное отклонение между теоретическими и измеренными углами фазового согласования ниже 4,5 мкм с 1,13° до 0,1°. Спектральная ширина излучения на длине волны 6,45 мкм, рассчитанная как свёртка спектров накачки и сигнальной волны, составила 63,5 нм, пространственное распределение интенсивности имело почти гауссов профиль. Для описания дисперсионной зависимости кристалла BGGS воспользуемся выражением (1), в котором используются уточненные коэффициенты уравнения Селлмейера, представленные в Таблице 1.

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} + \frac{D}{\lambda^2 - E}. \quad (1)$$

Таблица. 1. Уточненные коэффициенты уравнения Селлмейера для кристалла BGGS (комнатная температура, 1,064 мкм ≤ λ ≤ 12,55 мкм)

	A, μm^2	B, μm^2	C, μm^2	D, μm^2	E, μm^2
n_o	10.91873	0.11878	0.06661	12494.64	2297.35
n_e	12.04320	0.20048	0.09128	15830.50	2472.80

В результате исследования реализован ПГС на основе кристалла BGGS и предложены уточнена уточненная дисперсионная зависимость этого кристалла. Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал кристалла BGGS для создания компактных, энергоэффективных ПГС в среднем ИК-диапазоне. Такие источники могут быть применимы для медицинских и технологических задач, включая селективную абляцию мягких тканей, а также для спектроскопии и диагностики материалов.

[1] Temperature-dependent phase-matching properties of $BaGa_2GeS_6$ in the 0.767–10.5910 μm spectral range / K. Kato, N. Umemura, V. V. Badikov [et al.] // Applied Optics. – 2022. – Vol. 61, No. 36. – P. 10774-10777. – DOI 10.1364/AO.476853.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.31

Моделирование электрического поля в экспериментах с ридберговскими атомами методом конечных элементов

Сологуб Александра Константиновна[1,2]
[1]*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный университет Новосибирск, Россия*
e-mail: a.sologub@g.nsu.ru

Ридберговскими называются состояния атомов, в которых один или несколько электронов находятся на высоких энергетических уровнях. Такие состояния представляют интерес для реализации квантовых вычислений. Кратковременное лазерное возбуждение атомов в ридберговские состояния позволяет включать и выключать взаимодействия между кубитами, что необходимо для выполнения квантовых операций. Поскольку ридберговские состояния чрезвычайно чувствительны к электрическим полям, управление полями в экспериментах с одиночными ридберговскими атомами важны для достижения высокой точности квантовых вентилей и реализации оригинальных схем наблюдения взаимодействия атомов друг с другом.

В нашей экспериментальной установке атомы охлаждаются лазерным излучением, захватываются в оптические дипольные ловушки и затем возбуждаются в ридберговские состояния в высоковакуумной стеклянной ячейке. Для управления электрическим полем, в котором находятся атомы, на внутреннюю поверхность ячейки нанесено проводящее покрытие, формирующее систему электродов. Выбранная конфигурация кольцевых электродов с 8 сегментами в форме двух параллельных колец обеспечивает полное трехмерное управление электрическим полем. Для определения зависимости электрического поля от потенциала на каждом из электродов, необходимо провести численное моделирование. В работе использовался метод конечных элементов. Электростатические задачи описываются уравнением Пуассона относительно скалярного электрического потенциала U.

Трехмерные модели электродов были разработаны в САПР Компас-3D и изображены на **Рис.1**.

Рис. 1. Трехмерная модель электродов со сгенерированной сеткой

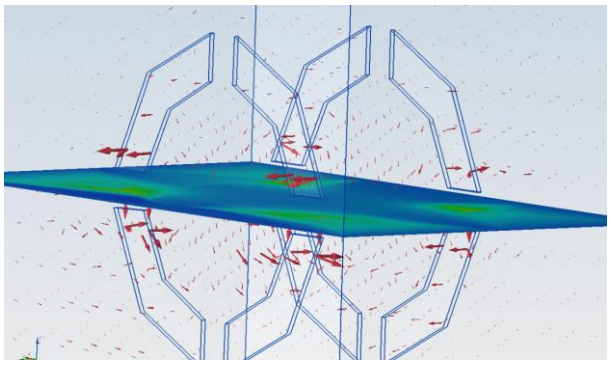


Рис. 2. Визуализация электрического поля

Далее модели были импортированы в программный комплекс QuickField. На **Рис. 2** представлено пространственное распределение электрического поля в ячейке для конфигурации, в которой для 4 верхних кольцевых сегментов задано напряжение 10 В, а нижние сегменты заземлены. С помощью численного моделирования в QuickField получено точное распределение электрического поля в ячейке. В частности, в центре ячейки электрическое поле $E = 178.031 \frac{В}{м}$.

Визуализация поля выполнена с помощью векторных стрелок, отражающих направление и относительную величину электрического поля в различных областях ячейки. Такая конфигурация создаёт асимметричный потенциал, приводящий к формированию поля с вертикальной компонентой.

Исследование выполнено за счет гранта 23-42-00031.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.32

Сравнение EMCCD и sCMOS видеокамер для регистрации одиночных атомов в дипольной ловушке

Спирин Семён Александрович[1]
[1] *Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: s.spirin@g.nsu.ru

Квантовые компьютеры на основе нейтральных атомов являются одной из перспективных платформ для квантовых вычислений, ключевой особенностью которой является возможность масштабирования. Типичная экспериментальная установка представляет собой магнито-оптическую ловушку, в которой атомы охлаждаются до субдоплеровских температур, а затем захватываются в массив дипольных ловушек, формирующих квантовый регистр.

Регистрация в подобных экспериментах может производиться двумя способами – лавинными фотодиодами или видеокамерами. Основным недостатком ЛФ является отсутствие какого-либо пространственного разрешения. Использование видеокамер, обладающих различными матрицами, лишено этого недостатка. При выборе видеокамер некоторое время лидировали EMCCD камеры, ввиду их высокой чувствительности к слабым сигналам. Однако электронное усиление как дополнительный источник шума и невозможность работать со слишком малыми экспозициями препятствовали получению качественных данных. В статье Single Atom Imaging with an sCMOS camera [1] авторы показали, что в их текущем состоянии sCMOS видеокамеры способны конкурировать с EMCCD камерами.

Однако в статье [1] авторы не провели прямое сравнение камер в полевых условиях на одной оптической установке. Они получили результаты с sCMOS камеры и во время сравнения с EMCCD они лишь сослались на работу других авторов, проводивших похожий эксперимент с другой камерой.

Целью моей работы был поиск оптимальных условий для регистрации сигнала одиночного атома в экспериментах с атомами Rb^{87}. Для этого в одну и ту же оптическую систему устанавливались EMCCD и sCMOS видеокамеры и записывались гистограммы на основе телеграфного сигнала от одиночного атома в дипольной ловушке. В качестве характеристики сигнала использовалась величина «сигнал/шум» - способность разделять изображения с камеры в случае, когда атома в ловушке нет, и в случае, когда в ловушке ровно один атом. Помимо этого, также было оценено время жизни атома в дипольной ловушке при различных параметрах эксперимента и подобраны оптимальные параметры (мощность лазера дипольной ловушки и мощность охлаждающего лазера), при которых наблюдается баланс между продолжительным временем жизни атома и высоким соотношением «сигнал/шум».

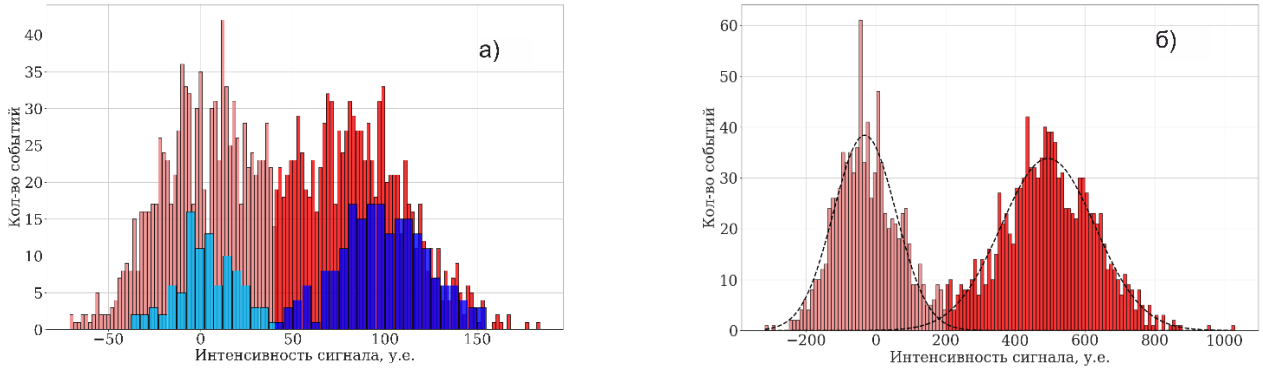


Рис. 1. а) Сравнение сигнала с EMCCD камеры (красный) с sCMOS камерой (синий) на снимках со временем экспозиции порядка 120 мс. б) Сигнал с EMCCD камеры со временем экспозиции 80 мс и большим усилением.

На Рис. 1. видно, что в случае малого уровня сигнала sCMOS камеры предпочтительнее, они показывают меньший уровень шумов, в отличие от EMCCD камеры, которые оказываются более требовательны к числу фотонов, попадающих в оптическую систему. Также были получены оптимальные условия, при которых атомы не покидают ловушку в течение 750 мс, а также «сигнал/шум» достигает пикового значения 7.76.

[1] Picken C. J., Legaie R., Pritchard J. D. Single atom imaging with an sCMOS camera //Applied Physics Letters. – 2017. – Т. 111. – №. 16.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.33

Регистрация резонансов КПН при совместном действии СВЧ модуляции тока инжекции и внешней ВЧ модуляции

Столярова Лейла Рамисовна, Савинов Константин Николаевич, Дмитриев Александр Капитонович
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
e-mail: dmitrieva-leyla@mail.ru

В работе представлены результаты исследований резонансов КПН при многочастотном возбуждении, что способствует снижению световых сдвигов [1]. Механизм такого возбуждения резонансов КПН в рубидии-87 описан в [2]. В описанных здесь экспериментах СВЧ модуляция осуществлялась прямой модуляцией тока инжекции лазерного диода. Для ВЧ модуляции применялись два способа: модуляция тока инжекции лазерного диода и использование внешнего модулятора.

Центральный резонанс когерентного пленения населенностей (КПН), возникающий при СВЧ модуляции тока инжекции частотой f_0 и внешней ВЧ модуляции, представлен на рис. 1.

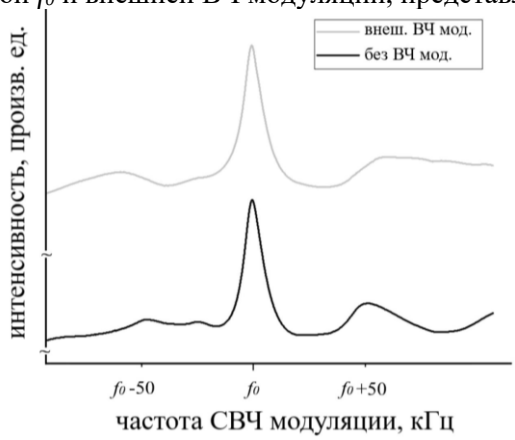


Рис. 1. Центральный резонанс КПН при СВЧ модуляции (~3,417 ГГц) тока инжекции и внешней ВЧ модуляции (15,5 МГц).

Как видно из рис. 1 внешняя модуляция слабо влияет на амплитуду центрального резонанса КПН: в сравнении с чистой СВЧ средние значения различаются на 2,6%. Боковые резонансы КПН при совместном действии СВЧ (~3,417 ± 0,0078 ГГц) и ВЧ модуляции (15,5 МГц) представлены на рис. 2.

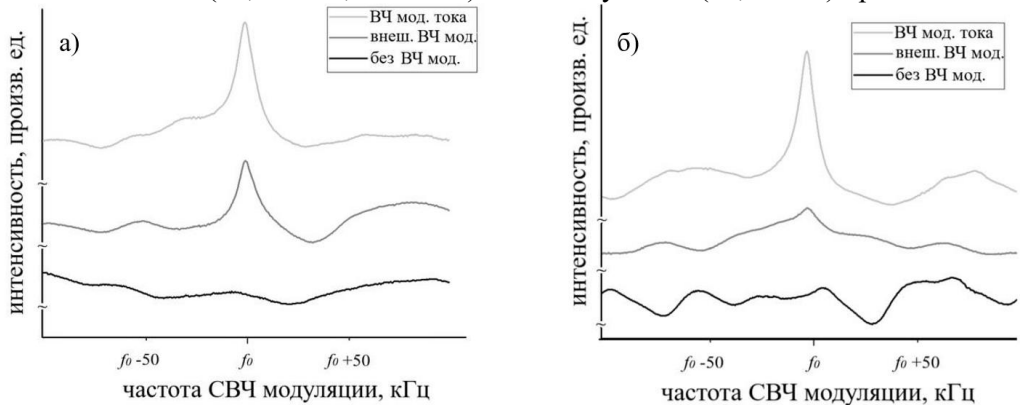


Рис. 2. Боковые резонансы КПН при совместном действии СВЧ и ВЧ модуляции, а) низкочастотная область, б) высокочастотная область.

Возникновение боковых резонансов наблюдалось при отстройке частоты СВЧ модуляции на ±7,75 МГц от центральной частоты. Было установлено, что для боковых резонансов добавление внешней ВЧ модуляции приводит к значительному снижению амплитуды: для низкочастотной области примерно в 2 раза, для высокочастотной – в 4 раза.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № FSUN 2023-0007.

1. Baklanov E. V. Optical frequency standard based on the coherent population trapping resonance / E. V. Baklanov, S. N. Bagaev, A. K. Dmitriev, A. V. Taichenachev, V. I. Yudin // Laser Physics. – 2014. – Vol. 24, N 074007. – P. 1-3.
2. Савинов, К. Н. КПН-резонансы при многочастотной оптической накачке / К. Н. Савинов, Н. Н. Головин, А. К. Дмитриев // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, № 10. – С. 939.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.34

Импульсный лазер на основе активной среды инертного газа криптона с накачкой индукционным цилиндрическим разрядом

Ткаченко Роман Андреевич[1], Чуркин Дмитрий Сергеевич[1], Каргапольцев Евгений Сергеевич[1]
[1]*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
e-mail: tkachenkora23@yandex.ru

Источники лазерного излучения красного и инфракрасного (ИК) диапазона длин волн находят применение в промышленности, науке и в медицине [1-2]. Среди существующих лазерных источников особый интерес представляют газовые лазеры, работающие на переходах нейтральных атомов инертного газа криптона (Kr I). Традиционно активная среда таких лазеров возбуждается объемным поперечным электрическим разрядом. Целью данной работы являлось достижение режима лазерной генерации на переходах Kr I и исследование спектральных характеристик излучения криптон-содержащих газовых сред при накачке альтернативным методом – импульсным индукционным цилиндрическим безэлектродным разрядом.

Электрическая схема экспериментальной установки (приведена на Рис. 1) включала в себя набор параллельно соединенных конденсаторов, образующих батареи C_1 (7,8 нФ) и C_2 (18,2 нФ). Батареи конденсаторов заряжались до напряжений +U, варьируемых в диапазоне от 10 до 28 кВ. Коммутация энергии упомянутых батарей осуществлялась тиратроном THY (серии ТПИ1-10к/20). Индуктор L состоял из набора многожильных изолированных проводов сечением 1,7 мм^2 в количестве 12 штук, намотанных секциями по 10 витков. Индукционный лазерный излучатель DT был выполнен из стеклянной трубки с внутренним диаметром 17 мм. Герметизация осуществлялась при помощи пластин CaF_2, расположенных под углом Брюстера (W_1 и W_2). Оптический резонатор лазера образован плотным зеркалом с алюминиевым покрытием (M_1) и полупрозрачным зеркалом (M_2) с коэффициентом пропускания T = 25 % на длине волны 810 нм.

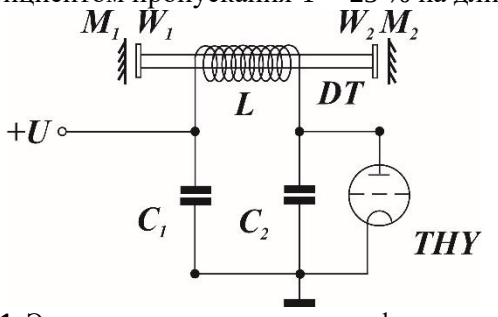


Рис. 1. Электрическая схема системы формирования импульсного индукционного цилиндрического разряда в активной среде криптонового лазера

Исследование спектральных характеристик излучения криптонсодержащих смесей в импульсном индукционном цилиндрическом разряде проводилось в диапазоне 200-1100 нм. Достигнут режим лазерной генерации на переходе 5p→5s нейтральных атомов криптона с соответствующей длиной волны 810 нм. В оптимальных условиях, при которых интенсивность излучения достигала максимальных значений, зарядное напряжение составило 25 кВ, а давление криптона находилось на уровне 0,05 Торр. Кроме того, в спектре спонтанного излучения также можно было наблюдать малоинтенсивную линию с длиной волны 744 нм, соответствующую переходам Kr II. Максимальная интенсивность излучения на данной длине волны достигалась при зарядном напряжении 28 кВ.

Проведено исследование влияния состава активной среды на интенсивность излучения криптона на переходе 5p→5s. Показано, что добавки гелия приводят к повышению оптимального давления, но при этом, к уменьшению относительной интенсивности излучения с длиной волны 810 нм и исчезновению из состава спектра компоненты, соответствующей излучению ионов Kr II с длиной волны 744 нм.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033100059-5).

[1] Laser photocoagulation as treatment of non-exudative age-related macular degeneration: state-of-the-art and future perspectives / G. Querques, M. V. Cicinelli, A. Rabiolo [et al.] // Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2018. – Vol. 256. – P. 1-9. – DOI 10.1007/s00417-017-3848-x.
[2] Low-level laser therapy in the prevention and treatment of oral mucositis: a systematic review and meta-analysis / J. Peng, Y. Shi, J. Wang [et al.] // Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. – 2020. – Vol. 130, No. 4. – P. 387-397. – DOI 10.1016/j.oooo.2020.05.014.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.35

Геометрические модели и анализ преимуществ квантовых корреляций в коллективных стратегиях взаимного поиска/антипоиска на плоскости

Томилин Владимир Александрович[1], Ростом Айхам Махмуд[1,2], Ильичёв Леонид Вениаминович[1]
[1]*Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия*
[2]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*
e-mail: 8342tomilin@mail.ru

Рассматриваются модели дискретных случайных блужданий двух и трёх партнёров на бесконечной плоскости в отсутствие средств классической коммуникации и общих ориентиров. Партнёры имеют доступ к распределённому между ними ресурсу квантовой запутанности в соответствии с заранее определённым протоколом. Хотя траектории движения участников в среднем расходятся, при определённом выборе деталей протокола можно увеличить или замедлить его темп (т.н. протоколы «-» и «+» соответственно). Дана интерпретация этого эффекта в терминах эффективного изменения кривизны поверхности, на которой происходят блуждания (Рис. 1).

Рис. 1. Зависимость эффективной кривизны R поверхности от начального расстояния между участниками r и длины шага l в различных представлениях: r/R как функция l/R (A) и R/r как функция l/r (B). Кривые с индексом «+» соответствуют сферической геометрии и более медленному расхождению по сравнению с классическими случайными блужданиями, а кривые с индексом «-» - гиперболической геометрии и более быстрому расхождению.

В случае блужданий двух партнёров детально проанализированы последовательности шагов в рамках исполнения различных протоколов и проведено сравнение с классическими случайными блужданиями [1,2]. Проведено сравнение эффективности решения задач взаимного поиска/антипоиска по различным критериям и сформулированы условия, при которых использование квантовых протоколов даёт преимущество (Рис.2).

Рис. 2. (A) Средние расстояния между двумя участниками и (B) вероятности сближения на дистанцию $l_{vis} = l$ как функции начального расстояния r в результате пяти шагов как функции начального расстояния r для классических случайных блужданий (сплошные линии), квантового протокола “+” (пунктирные линии) и квантового протокола “-” (точечные линии).

В случае блужданий трёх партнёров проанализировано влияние квантовых корреляций на степень расхождения траекторий участников [3]. Сформулирована стратегия, которая позволяет минимизировать это расхождение. Кроме того, в рамках рассматриваемой задачи о случайных блужданиях сформулирован оригинальный операционный подход к анализу многочастичных квантовых корреляций.

[1] Geometric model of quantum navigation during (anti-)search on a plane/. A.M. Rostom, V.A. Tomilin, L.V. Il’ichov – Chinese Journal of Physics. – Vol. 90. – p. 1095-1100. – 2024. DOI: 10.1016/j.cjph.2024.07.005
[2] Анализ квантового преимущества в задаче случайного поиска/антипоиска двух партнёров на бесконечной плоскости/. В.А. Томилин, А.М. Ростом, Л.В. Ильичёв. – ЖЭТФ. – 2025 (принята к публикации).
[3] Квантовые корреляции в коллективных стратегиях взаимного поиска/антипоиска для трёх партнёров/. А.М. Ростом, В.А. Томилин, Л.В. Ильичёв. – Письма в ЖЭТФ. – Т. 120. – с. 728-732. – 2024. DOI: 10.31857/S0370274X24110115

DOI: 10.15862/83MNNPK25.36

Влияние состава активной среды на энергетические, временные и спектральные характеристики спонтанного и лазерного излучения импульсного ультрафиолетового индукционного азотного лазера

Трунов Игорь Александрович[1], Чуркин Дмитрий Сергеевич[1], Ткаченко Роман Андреевич[1], Каргапольцев Евгений Сергеевич[1]
[1]*ИЛФ СО РАН, Новосибирск, Российская Федерация*
e-mail: trunov.igor1998@gmail.com

В докладе представлены результаты экспериментального исследования влияния добавок инертных газов (He, Ne) и углеводородов (пропилен) на энергетические, спектральные и временные характеристики излучения индукционного УФ азотного лазера.

Проведенное исследование показало, что применение гелия и неона не приводит к улучшению характеристик излучения УФ индукционного азотного лазера. Энергия излучения, длительность оптического импульса и интенсивность линий спонтанного излучения стремились к своим значениям в чистом азоте по мере уменьшения парциального давления добавки.

Применение пропилена не приводило к заметному снижению значения энергии излучения, но позволяло увеличить длительность импульса на полувысоте с 14±1 нс в чистом азоте до 16±1 нс при пятипроцентном содержании пропилена в рабочей газовой смеси (см. рис. 1). Кроме того, применение пропилена в этой концентрации позволило увеличить ресурс работы одного наполнения лазера в 1.3 раза по сравнению с чистым азотом.

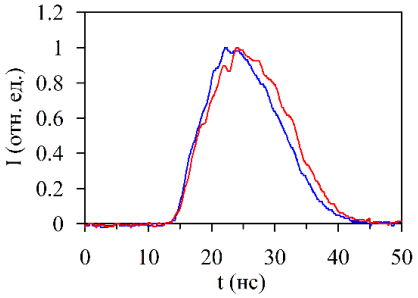


Рис. 1. Осциллограммы оптического импульса генерации в чистом азоте (синий) при длительности τ=14±1 нс на полувысоте и в смеси азота с 5% пропилена (красный) при длительности τ=16±1 нс

Отличительной особенностью УФ азотного лазера с накачкой индукционным разрядом является то, что в спектре излучения отсутствует генерация на 1+ системе полос азота (генерация в ИК области спектра), но наблюдается свечение Льюиса-Релея, которое свидетельствует о продолжающемся процессе возбуждения молекул азота в состояние $B^3\Pi_g$. Это явление при импульсно-периодическом режиме работы уменьшает количество молекул азота, которые к моменту начала следующего импульса накачки успевают релаксировать в основное состояние, что существенно ограничивает ресурс работы одного наполнения в отсутствие прокачки активной среды.

Проведённое исследование временного поведения свечения Льюиса-Релея в активной среде чистого азота и смеси азота с пропиленом показало, что момент начала свечения Льюиса-Релея примерно совпадает с моментом начала импульса УФ генерации (см. рис. 2). Пик его яркости соответствует послесвечению разряда. Применение пропилена позволило незначительно уменьшить как интенсивность, так и длительность свечения Льюиса-Релея (см. рис. 3).

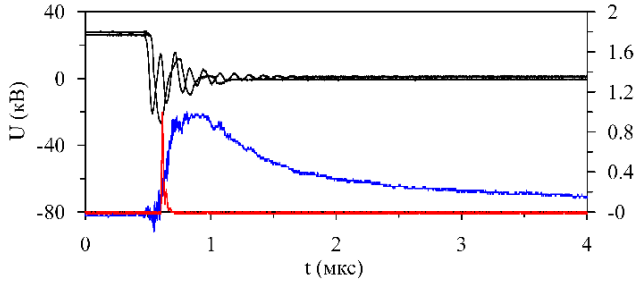


Рис. 2. Осциллограммы оптического импульса генерации(красный), излучения Льюиса-Релея(синий), напряжения на емкостях системы накачки(черный)

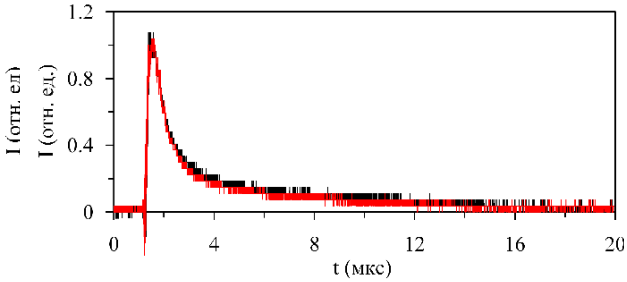


Рис. 3 Осциллограммы оптического импульса излучения Льюиса-Релея в чистом азоте(черный), и в смеси с пропиленом(красный)

Уменьшение длительности свечения Льюиса-Релея и увеличение длительности импульса генерации свидетельствуют о том, что кроме общего «охлаждения» смеси (замедление роста средней температуры смеси) пропилен позволяет расселять нижний лазерный уровень $B^3\Pi_g$.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033100059-5).

DOI: 10.15862/83MNNPK25.37

Исследование характеристик волоконных эрбиевых лазеров с нелинейным усиливающим петлевым зеркалом с различной суммарной внутрирезонаторной хроматической дисперсией

Филонов Антон Александрович[1], Пивцов Виктор Сергеевич[1,2], Коляда Наталья Александровна[1,3]
[1]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[3]Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: aa.filonov@mail.ru

Волоконные лазеры с синхронизацией мод находят широкое применение в медицине, обработке материалов, спектроскопии [1], прецизионной метрологии [2] и т.д. Такие лазерные источники востребованы благодаря компактности, высокой пиковой мощности (благодаря короткой длительности импульсов) и высокому КПД.

В данной работе проведено исследование характеристик волоконного эрбиевого лазера с нелинейным петлевым усиливающим зеркалом (NALM) [3] при различных значениях суммарной внутрирезонаторной дисперсией лазера (СВДЛ). Рассмотрены 3 варианта резонатора лазера с СВДЛ близкой к нулю, 0,18 пс^2 и 1,9 пс^2 на длине волны 1550 нм. Частоты следования импульсов лазера составили 94, 50 и 8 МГц соответственно. Нормальная СВДЛ была получена благодаря использованию волокна с сохранением поляризации PM HNLF (НЦВО-Фотоника LD357PM) и волокна легированного эрбием (nLight Liekki Er110-4/125-PM) (рис. 1). Несколько элементов резонатора обладают волоконными выводами (ВВ) с аномальной дисперсией (тип волокна PM1550). Впервые исследован эрбиевый волоконный NALM лазер с частотой следования импульсов более 50 МГц и нормальной СВДЛ более 0,15 пс^2. Также впервые исследован эрбиевый волоконный NALM лазер с рекордно высокой нормальной СВДЛ равной 1,9 пс^2.

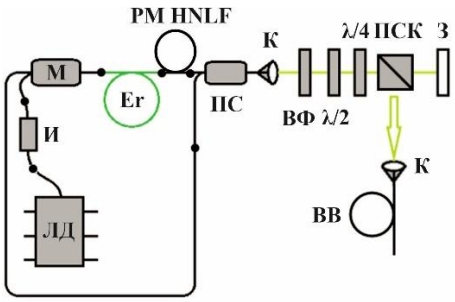


Рис. 1. Схема волоконного эрбиевого NALM лазера. ЛД – лазерный диод накачки; И – изолятор; М – мультиплексор с ВВ; Er – волокно, легированное эрбием; PM HNLF– волокно с нормальной дисперсией; ПС – поляризационный светоделитель с ВВ; К – коллиматор, ВФ – вращатель Фарадея; ПСК – поляризационный светоделительный кубик; З – зеркало.

В ходе работы были исследованы средняя выходная мощность, длительность импульсов, оптический спектр (данные приведены в таблице 1), радиочастотный спектр и условия самозапуска синхронизации мод (мощность лазерного диода накачки, количество комбинаций углов поворота фазовых пластинок λ/2 и λ/4) для трех вариантов резонаторов. Условия самозапуска синхронизации мод оказались близки для всех рассмотренных вариантов резонатора лазера.

Таблица 1.

	Средняя мощность	Ширина спектра	Длительность импульса
0	8 мВт	25 нм	180 фс
0,18 пс^2	5 мВт	5 нм	1 пс
1,9 пс^2	2 мВт	2 нм	> 6,5 пс

Таким образом, увеличение СВДЛ практически не влияет на параметры самозапуска синхронизации мод, и простым изменением длины волокна с нормальной дисперсией внутри резонатора можно менять выходные характеристики лазера. Данное преимущество расширяет применимость такого типа лазера в различных сферах науки и техники.

Исследование выполнено в рамках государственного задания с регистрационным номером НИОКР 121033100064-9 с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Фемтосекундный лазерный комплекс» на базе ИЛФ СО РАН.

[1] Fiber lasers and their application [Invited] /W. Shi, Q. Fang, X. Zhu [et al.] //Applied Optics. – 2014. – Vol. 53, No. 28. – P. 6554 – 6568.
[2] Er:fiber-based femtosecond frequency comb stabilized to an Yb+ single-ion optical frequency standard / N A Koliada, V. S. Pivtsov, S. A. Kuznetsov [et al.] // Laser Physics letters. – 2022. – Vol. 19, No. 1. – 015102.
[3] All Polarization-Maintaining Fiber Laser Architecture for Robust Femtosecond Pulse Generation / W.Hänsel, H. Hoogland, M.Giunta [et al.] // Applied Physics B. – 2017. – Vol. 123, No. 41. – P. 1-6.

DOI: 10.15862/83MNNPK25.38

Квантовый алгоритм доказательства с нулевым разглашением, ориентированный на процессор на базе нейтральных атомов

Хорсова Ирина Викторовна[1], Громыко Владислав Владимирович[1,2]
[1]Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
[2]Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: i.khorsova@g.nsu.ru

Доказательства с нулевым разглашением (ZKP – Zero knowledge proof) – одни из самых востребованных протоколов в мире информационной безопасности. Они применяются для проверки целостности данных, хранения паролей, создания цифровых подписей и идентификации аккаунтов [1]. Ввиду приближающейся квантово-вычислительной революции существующие криптографические системы, реализующие ZKP, могут оказаться под угрозой взлома [2]. Квантовые вычисления в свою очередь позволяют достичь преимущества перед классическими системами в генерации случайных значений и скорости осуществления операций в определённом спектре задач. В то же время алгоритмы, основанные на квантовом математическом аппарате, довольно сложны в физической реализации и могут быть подвержены большому количеству ошибок во время выполнения квантовых логических операций [3]. В данной работе представлен алгоритм доказательства с нулевым разглашением, состоящий из классической части привычного алгоритма sha256 [2] и квантовой, требующей для реализации выполнения всего трёх типов логических вентилей. Также по структуре взаимодействия кубитов алгоритм ориентирован на процессор из массива нейтральных атомов, что делает его тренировочным приложением для такого типа квантовых компьютеров на этапе их разработки.

В процессе создания алгоритма и математического моделирования его работы решаются следующие задачи:

1) Создание необратимой функции с возможностью получения стабильных неизменяемых значений на её выходе при подаче одних и тех же данных на вход.

2) Построение алгоритма таким образом, чтобы были задействованы логические операции, применительные к процессору на массиве нейтральных атомов. А также применение этих вентилей в порядке, который допускает возможная конфигурация атомов в ловушках (рис.1), представляющих собой вычислительные кубиты.

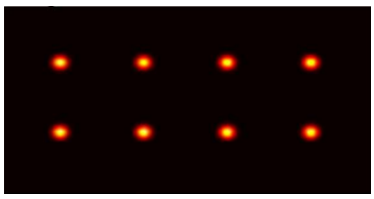


Рис.1. Возможная конфигурация кубитов в оптических ловушках

3) Анализ алгоритма на выполнение условий хеш-функции: односторонность и ε-случайность возвращаемых значений при незначительном изменении подаваемых на вход данных.

По итогу работы создан алгоритм ZKP, который может применяться во всех сферах, требующих данной криптографической защиты. Алгоритм демонстрирует квантовое превосходство, снижая алгоритмическую сложность при сохранении надёжности шифрования. Помимо того, он ориентирован на квантовый процессор на массивах нейтральных атомов и может служить для такого процессора тренировочным приложением, поскольку имеет возможность разбиения на части и вычисления итогового значения ключа посредством сложения этих частей, что упрощает использование алгоритма и приближает его к реальности. Исследование выполнено за счет гранта РНФ 23-12-00067.

[1]. The knowledge complexity of interactive proof-systems. Providing Sound Foundations for Cryptography: On the Work of Shafi Goldwasser and Silvio Micali / S. Goldwasser, S. Micali and C. Rackoff // Association for Computing Machinery. – 2019. – P. 203–225. – DOI 10.1145/3335741.3335750
[2]. Quantum risk to traditional cryptographic hashing // IBM. – 2024.
[3]. Blockchain with proof of quantum work / Banerjee S., Meena H., Tripathy S., Panigrahi P.K. // arXiv:2408.03672 (2024)

DOI: 10.15862/83MNNPK25.39

Методика измерения коэффициента пропускания малого сигнала насыщающегося поглотителя на основе эффекта нелинейной эволюции поляризации цифровым осциллографом

Чирков Сергей Викторович[1,2], Смолянинов Николай Николаевич[1], Ефремов Владислав Дмитриевич[1,2], Харенко Денис Сергеевич[1,2]
[1] Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
e-mail: chirkovsv@iae.nsk.su

В наше время лазеры, генерирующие ультракороткие импульсы с высокой пиковой мощностью, являются незаменимой частью таких высокоточных приложений, как измерение оптических частот, атомные часы и астрономия [1]. Чтобы достичь импульсной генерации с длительностью импульса пико- и даже фемтосекундного порядка, применяются пассивные методы синхронизации мод, то есть насыщающиеся поглотители (НП), так как они имеют достаточно малое время отклика. НП на базе нелинейной эволюции поляризации (НЭП) выделяются среди прочих возможностью к перестройке параметров генерируемого излучения в широких пределах ввиду большого числа степеней свободы. Совмещение этой особенности с преимуществами волоконных лазеров (компактность и высокое качество выходного пучка), обещает появление привлекательного, востребованного и коммерчески доступного источника ультракоротких импульсов. Однако, вместе с перестройкой параметров излучения возникает проблема высокой чувствительности к изменениям внешней среды. Последние годы предпринимаются различные попытки управления режимами генерации с помощью нейронных сетей и построения карт параметров [1], которые пока не позволяют достичь необходимого уровня стабильности лазеров на базе эффекта НЭП. Одним из перспективных параметров для управления лазерами является коэффициент пропускания малого сигнала (КПМС) НП, так как ранее показано, что он является важным параметром при численном моделировании лазеров с синхронизацией мод и в значительной степени определяет параметры генерируемого излучения [2].

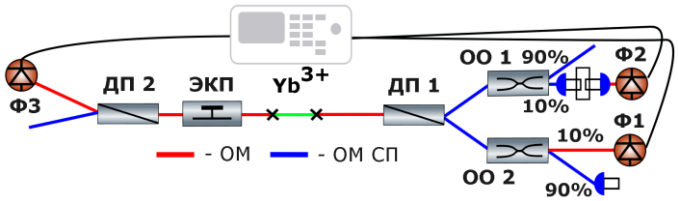


Рис. 1. ДП – делитель поляризации. ЭКП – электронный контроллер поляризации, Yb – волокно, легированное ионами иттербия, ОО – оптический ответвитель, Ф – фотодетектор, ОМ – одномодовое волокно, ОМ СП – одномодовое волокно с сохранением поляризации.

В настоящей работе впервые предложена методика измерения КПМС НП на базе эффекта НЭП в полностью волоконном исполнении, схема которого приведена на рисунке 1, при помощи цифрового осциллографа. Импульс представляется как сумма малого и сильного сигналов. Проходя через НП, импульс приобретает набег фазы, пропорциональный интенсивности, и по амплитудам прошедших и отраженных поляризационных компонент можно рассчитать КПМС по формуле (1) [3].

$$T_{min} = \frac{1}{1+L\frac{P_{out}P_{in}^{r}}{P_{in}P_{out}^{r}}} \quad (1)$$

где L – константа отражений, P_{in}, P_{out} амплитуды импульсов, измеренные фотодетекторами Ф1 и Ф2, а P_{in}^{r}, P_{out}^{r}- амплитуды импульсов их отражений, измеренные фотодетектором Ф3, см. рис. 1.

Полученные результаты могут быть использованы для осуществления стабилизации и управления лазером ультракоротких импульсов, а также перестройки его параметров без потери режима генерации в реальном времени.

Работа выполнена при поддержке госзадания ИАиЭ СО РАН, проект No FWNG-2024-0015.

[1] Automatic mode-locking fiber lasers: progress and perspectives / G. Pu, L [el al.] // Chinese Science Bulletin. – 2020. – Vol. 63. – Art. 160404. – DOI 10.1007/s11432-020-2883-0
[2] Ultra-Broadband NPE-Based Femtosecond Fiber Laser / S. I. Abdrakhmanov [et al.] // Photonics. – 2023. – Vol. 10, Iss. 1. – Art. 85. – DOI 10.3390/photonics10010085
[3] Стабилизация режима импульсного волоконного лазера при помощи коэффициента пропускания малого сигнала амплитудного самомодулятора / С. В. Чирков [и др.] // ВКВО-2025: сб. тез. Пермь, 7–10 окт. 2025 г. – 2025. – С. 431–432. – DOI 10.22184/9785948367361.431.432

DOI: 10.15862/83MNNPK25.40

Solving Maximum-Cut problem using Neutral atom quantum computer

Chen Junxi[1,2]
[1]*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*
[2]*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*
e-mail: 875709591@qq.com

Both the traveling salesman problem and the Max-cut belong to nondeterministic polynomial hard (NP-hard) optimization problems and can be mapped to Ising problem. Recently, the interest in such optimization problems has grown considerably due to the significant progress in the experimental implementation of quantum processors and the demonstration of the so-called quantum supremacy, which means the ability of quantum computers to solve problems that cannot be solved by classical computers. This class of NP-hard problems is of interest both for demonstrating quantum supremacy in various physical systems and for practical applications, such as routing. Elementary problems of this kind can be useful for demonstrating the advantages of alternative physical systems for quantum computing, for example, the systems based on ultra-cold ions or ultra-cold atoms.

Prior to this, in our research work [1] a quantum algorithm for solving the traveling salesman problem by the quantum phase estimation and quantum search method was considered. Then we considered the Max-cut problem with Quantum Approximate Optical Algorithm(QAOA). In Ref. [2], the authors demonstrate results of theoretical simulations using QAOA for the Max-cut problem of the four-atom model and of the simulations using the neutral atom platform for the respective conditions p = 1,2,3 (here p is the number of repeated layers of cost and the mixing Hamiltonians are acting on an N qubit initial state $\left|s\right\rangle = {(|0\ket + |1\ket)}^{\otimes N}$. We simulated this algorithm using Qiskit library to obtain simulation results for the respective conditions p = 1,2,3 The results were scored through the approximation ratio $R_a = \frac{1}{S_{max}} \sum_i p_i S_i$, by which we made a comparison between the best simulation result . Not only that, we also simulated the model proposed in Ref. [2] with numerical simulations the python library Pulser based on the Neutral Atom platform. Partial simulation results are demonstrated in Fig. 1. This work is supported by Russian Science Foundation grant No. 23-42-00031

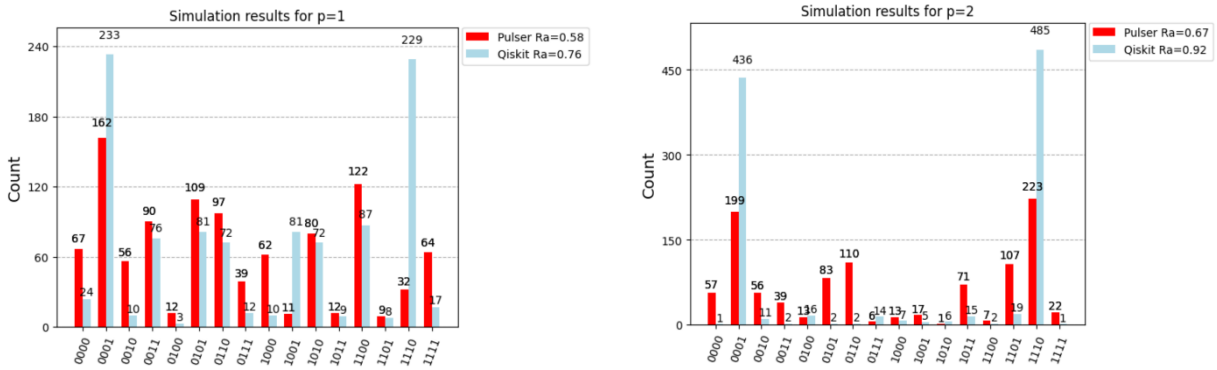


Fig. 1. Comparison between simulation results when p=1,2 respectively

[1] A Quantum Algorithm for Solving the Travelling Salesman Problem by Quantum Phase Estimation and Quantum Search / Ch. Tszyunsi, I. I. Beterov. // ISSN 1063-7761, Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2023, Vol. 137, No. 2, pp. 210–215.
[2] Rydberg mediated entanglement in a two-dimensional neutral atom qubit array / T. M. Graham, M. Saffman, et al. // arXiv:2112.14589v3 [quant-ph] 11 Feb 2022

DOI: 10.15862/83MNNPK25.41

Frequency locking of three lasers to a single ULE-glass cavity for three-photon Rydberg excitation

Suliman Ghadeer[1,2]
[1]*Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS, 630090 Novosibirsk, Russia*
[2]*Novosibirsk State University, Department of Physics, 630090 Novosibirsk, Russia*
e-mail: gh.su.phy@gmail.com

When it comes to the field of quantum computation using neutral atoms excited to Rydberg states, the most common approach for atom excitation is using a two-photon laser excitation scheme [1]. Yet, even though, such schemes come with their downsides when it comes to individual addressing of atoms and the inability to completely eliminate the Doppler effect. A three-photon laser excitation scheme has promising advantages, when it comes to countering some of the issues that two-photon excitation schemes cannot avoid [2].

Although three-photon laser excitation schemes have been successfully implemented to produce coherent excitation of single neutral Rubidium atoms [3], the increase of the fidelity of Rydberg excitation and implementation of quantum gates requires an improvement to the locking scheme of the excitation lasers.

We use the following system for Rydberg excitation of Rb atoms: a 780nm ECDL from Toptica, a 1367nm ECDL from Sacher Lasertechnik, and a 743nm titanium sapphire laser. All beams are sent to a Stable Lasers Ultra Stable Cavity [Fig.1]. All three laser beams are modulated using a phase electro-optic modulators, with a 4 MHz modulation frequency for the first and second step lasers, and a 5 MHz frequency for the third step laser.

All three lasers have been locked to the cavity using Pound-Drever-Hall (PDH) method. In [Fig. 2.], the PDH system for the third laser is shown. Similar scheme has been used for the other lasers, with the exception of the creation of additional sidebands for the third step of laser excitation. The first and second step lasers are to locked exclusively to a single frequency, while the third step laser will be swept during excitation procedure to tune the exact excitation frequency, with the help of a frequency generator.

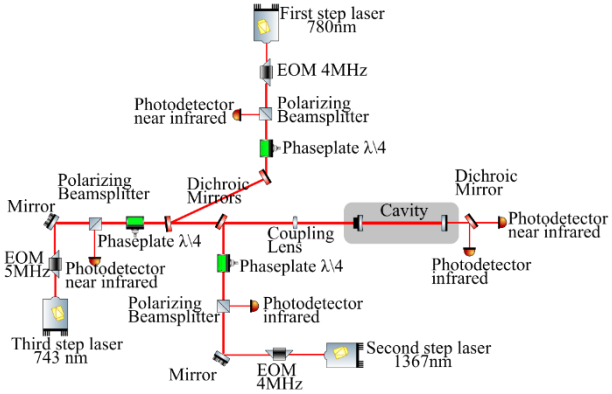


Fig. 1. The 3 lasers path into the cavity.

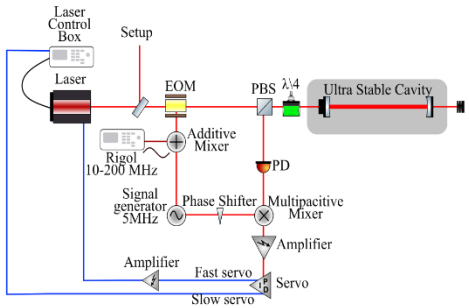


Fig. 2. PDH scheme for the 3rd step laser.

Using the setup in [Fig. 1.], it was possible to lock all three excitation lasers simultaneously for an extended period of time. Further improvements are expected in the near future, in aims to provide more stability in the system and to reduce the half-line width of the various lasers used. This work was supported by RSCF grant No 23-12-00067.

[1] Probing the Kitaev honeycomb model on a neutral-atom quantum computer / S. Evered, M. Kalinowski, A. Geim [et al.] // Nature – 2025 – Vol. 645 – P. 341-347 – DOI 10.1038/s41586-025-09475-0.
[2] High-Fidelity Individual Addressing of Single Atoms in Quantum Registers at Three-Photon Laser Excitation of Rydberg States / N.N.Bezuglov , I.I.Beterov , A.Cinins [et al.] // arXiv:2411.06607. – DOI 10.48550/arXiv.2411.06607.
[3] Осцилляции Раби при трехфотонном лазерном возбуждении одиночного ридберговского атома рубидия в оптической дипольной ловушке / И.И. Бетеров, Е.А. Якшина, Г. Сулиман [и т.д.] // ЖЭТФ. – 2024 – Том 166, Вып. 4 – стр. 535 – DOI: 10.31857/S0044451024100109.

Молодежная школа-конференция LaserPhys

Сборник тезисов докладов на конференции

(Новосибирск, 10–12 ноября 2025 г.)

Сборник тезисов докладов на конференции публикуется в авторской редакции

Сетевое издание

Организатор конференции: Институт лазерной физики СО РАН

Спонсор конференции: Группа компаний «Научное оборудование»

Программный комитет:
Председатель: Прудников Олег Николаевич
Ученый секретарь: Макаров Антон Олегович
Состав комитета:

- Филонов Антон Александрович
- Трунов Игорь Александрович
- Козлова Катерина Семеновна
- Капуста Дмитрий Николаевич
- Сере Севен Эресович
- Тявин Георгий Витальевич

Ответственный за выпуск – Н.К. Алимова

Научное издание

Системные требования:
операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.
Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 4,2 Мб

Принято к публикации «26» ноября 2025 года

Режим доступа: https://izd-mn.com/PDF/83MNNPK25.pdf свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес – 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

https://izd-mn.com/

ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ