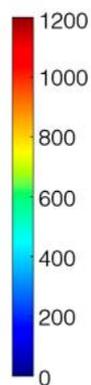
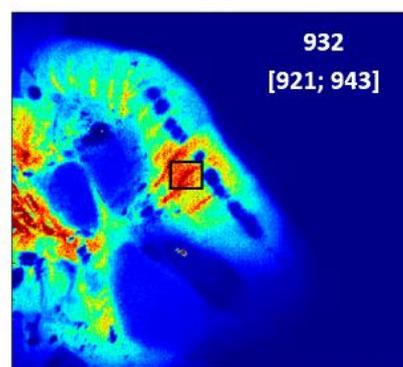
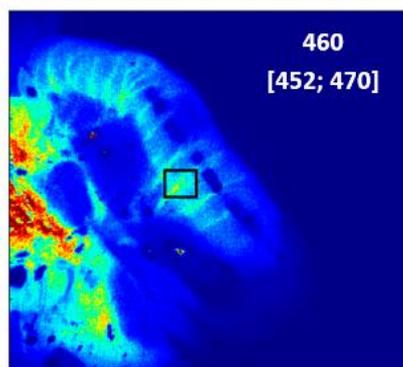
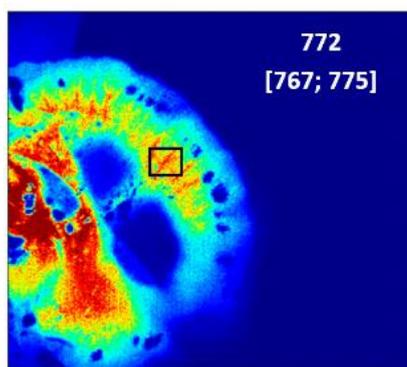
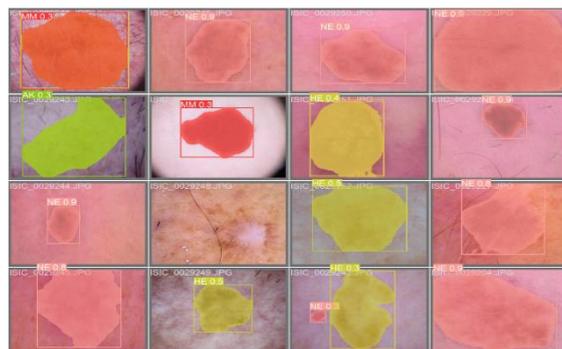
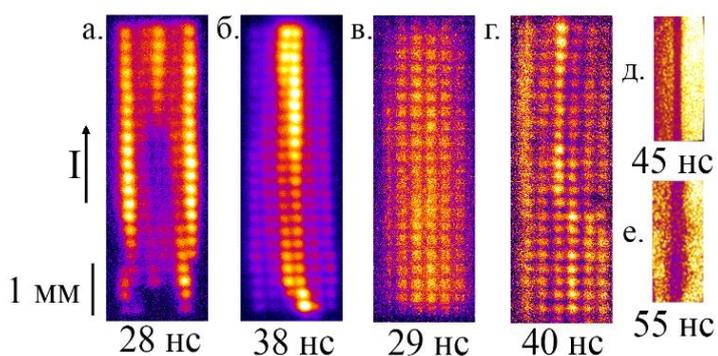


# XXII Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы



**Самарский филиал федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Физического института им. П.Н. Лебедева  
Российской академии наук**

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»**

**Самарский научно-образовательный центр  
по оптике и лазерной физике**

**ООО «Самарасофт»**

**XXII Всероссийская молодежная  
Самарская конкурс-конференция  
по оптике, лазерной физике и  
физике плазмы**

**12-16 ноября 2024 г.**

***Сборник тезисов***  
*Электронное издание*

**Самара 2024**

УДК 535+535: 621.373.826

XXII Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы: сборник тезисов (Самара, 12–16 ноября 2024 г.) [Электронное издание]. – М.: Тривант, 2024. – 244 с.

ISBN 978-5-89513-536-5

Рисунки на обложке взяты со страниц 31, 159, 202.

В сборнике представлены тезисы докладов участников XXII Всероссийской молодежной Самарской конкурс-конференции по оптике, лазерной физике и физике плазмы, а также аннотации докладов и лекций ведущих ученых. Исследования конкурсантов охватывают широкий круг теоретических и прикладных вопросов лазерной физики, когерентной и квантовой оптики, спектроскопии, взаимодействия света с веществом, биофотоники, микрофлюидных систем и нанотехнологий, квантовых технологий, физики и химии космоса.

Для студентов, аспирантов, специализирующихся в области оптики, спектроскопии, лазерной физики, физики плазмы, научных работников и преподавателей.

© Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 2024

© Самарский университет, 2024

© Авторы, 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕКЦИИ ВЕДУЩИХ УЧЁНЫХ И ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ

### **И. О. Антонов**

Лабораторные исследования химических процессов в холодной межзвездной среде.....17

### **С.А. Анфиногентов**

МГД-сейсмология солнечных активных областей по изгибным колебаниям корональных петель.....18

### **В.П. Захаров**

Интегрированное глубокое обучение для медицинской диагностики.....20

### **Н.Н. Колачевский**

Развитие квантовых вычислений на ионах в России и мире: приборы, алгоритмы, возможности решения практических задач.....21

### **В.Г. Никифоров**

Дизайн пленочных люминесцентных материалов на основе бета-дикетонатных комплексов лантаноидов.....22

### **А.А. Першин**

Применение методов квантовой химии в физике плазмы.....23

### **Е.П. Пожидаев**

Жидкокристаллические фотонные устройства нового поколения.....24

### **Е.Н. Попов**

Синхронизация атомной динамики в условиях сильного периодического возбуждения.....25

### **Е.В. Потапова**

Интраоперационная оптическая диагностика в малоинвазивной хирургии.....27

**Д.А. Рогаткин**

Ошибки в классической теории переноса света в мутных биологических тканях и средах и новые подходы.....29

**И.Н.Тиликин, Т.А. Шелковенко, С.А. Пикуз, А.Р. Мингалеев, А.А. Мингалеев, В. М. Романова, А. Е. Тер-Оганесян, А.В. Огинов**

Изучение объектов с высокой плотностью энергии.....30

**И.Ю. Янина, Д.К. Тучина, Н.А. Шушунова, А.Б. Бучарская, А.М. Мыльников, Н.А. Наволокин, В.В. Тучин**

Оптические свойства жировой ткани на разных стадиях развития сахарного диабета 1 и 2 типов.....33

**СЕКЦИЯ АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**В.Д. Самышкин, А.С. Абрамов, Н.А. Халимов, С.П. Эйум Эссака, Д.А. Бодунов, А.А. Кузнецов, А.О. Кучерик**

Формирование линейных углеродных цепочек в водных раствора тетрахлораурата водорода ( $\text{HAuCl}_4$ ) при лазерном облучении.....36

**Д.В. Агапова, Д.И. Завершинский, Н.Е. Молевич**

Анализ влияния теплопроводности и теплового дисбаланса на динамику медленных магнитоакустических волн, распространяющихся в магнитноструктурированной плазме.....38

**А. В. Астахова, М. М. Евсеев, В. Н. Аязов**

Механизмы образования N-ПАУ в межзвездной среде.....40

**Д.А.Бодунов, А.А. Кузнецов, А.С.Абрамов, В.Д. Самышкин**

Получение гибридных наночастиц Au-Ag при лазерной фрагментации коллоидных систем.....42

**А.С. Брыксин, И.А. Платонов**

Хромато-десорбционные системы с нанодисперсными адсорбентами для создания органических сред с известным содержанием органорастворимого аналита.....44

**П.В. Велиев, В. Д. Зворыкин, Н.Н. Устиновский, А.В. Шутов**

Укорочение УФ импульсов электроразрядного KrF лазера в субнаносекундный и пикосекундный диапазон длительностей за счет нелинейно-оптических преобразований в газовых средах.....46

**Р.М. Гатауллина, А.Н. Солодов, В.Г. Никифоров, Р.Р. Амиров, А.Г. Шмелев, Д.К. Жарков**

Улучшение износостойкости и механических свойств эпоксидных нанокompозитов за счет поверхностно-концентрированного магнитного и люминесцентного оксида графена.....48

**М.С. Гусельников, А.А. Гайдаш, А.Д. Киселев, Г.П. Мирошниченко, А.А. Калинин, А.В. Козубов**

О влиянии спектральных свойств бифотонных состояний на эффекты антигруппировки и квантовой запутанности.....51

**А.Д. Дворников, М.В. Загидуллин**

Влияние соотношения концентраций нейтральных компонент Ar-Ne газоразрядной плазмы атмосферного давления на генерацию метастабильных атомов аргона.....53

**А.В. Дубиков, Д.Е. Бельская, Е.Н. Савченков**

Брэгговская дифракция на регулярных доменных структурах с наклонными стенками в кристалле 5% MgO:LiNbO<sub>3</sub> при использовании зондирующего пучка эллиптической формы.....56

**О.А. Дюкарева**

Осевое непараксиальное распространение пучков, сформированных обобщенной линзой.....59

**М.Е. Дядищев, А.Н. Зяблов**

Определение додецилсульфата натрия в растворах спектрофотометрическим и амперометрическим методами.....61

**Р.А. Ермаков, И.А. Платонов, Е.Н. Тупикова**

Синтез комплексов редкоземельных элементов с дипиколиновой кислотой и исследование их свойств.....63

**Н.А. Золотовский, П.С. Панкин, Д.С. Бузин, В.С. Сутормин, Д.А. Костиков, А.И. Краснов, С.В. Наболь, А.С. Абдуллаев, М.Н. Крахалёв, С.В. Неделин, И.А. Тамбасов, Д.Н. Максимов, В.Я. Зырянов, И.В. Тимофеев**

Спектральные свойства микрорезонатора с хиральным жидкокристаллическим слоем с тангенциально-коническими граничными условиями.....65

**К.Г. Казакова, А.А. Акимов, В.В. Ивахник**

Влияние соотношения между интенсивностями волн накачки на амплитудные и пространственные характеристики четырехволнового преобразователя излучения на тепловой и резонансной нелинейностях.....67

**А.И. Кашапов, Е.А. Безус, Д.А. Быков, А.А. Мингазов, Л.Л. Досколович**

Топологические свойства нулей отражения в слоистых структурах металл-диэлектрик-металл.....69

**И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, Д.Л. Колесниченко**

Хромато-десорбционный способ получения стандартных газовых сред.....71

**А.И. Комлев**

Анализ гиперспектральных изображений новообразований кожи с помощью свёрточных нейронных сетей.....73

**Л.И. Крикунова, Д.П. Порфирьев, В.Н. Аязов**

Поверхность потенциальной энергии ацетонитрила с метиновым радикалом.....76

**А.А. Кузнецова, Д.П. Порфирьев, В.Н. Аязов**

Теоретическое исследование реакции окисления бензил радикала молекулярным кислородом.....78

**Е.В. Кузьмин, Г.К. Красин, П.А. Данилов, А.С. Комшин, А.Б. Сырицкий**

Перспективы и возможности создания оптических элементов в объёме диэлектриков.....80

**М.Ю. Лабаев, И.А. Платонов**

Хромато-десорбционные системы с нанодисперсными адсорбентами для создания водных сред с известным содержанием водорастворимого аналита.....82

**В.И. Логачев**

Моделирование формирования вихревых пучков при дифракции на полигональных спиралях.....85

**Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова**

Технология термомагнитной обработки алюминиевого сплава АК9.....87

**Ю.В. Осинская, С.Р. Макеев**

Технология термомагнитной обработки алюминиевого сплава В95пч.....89

**А.Э. Маргарян, И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, Е.А. Новикова**

Микрофлюидные концентраторы для определения летучих органических соединений.....91

**А.А. Николаев, В.Н. Аязов**

Квантово-химическое исследование газофазной реакции винильного радикала с молекулой триуглерода.....93

**А. Осман, Е.К. Башкиров**

Перепутывание в двухкубитной модели Тависа-Каммингса при наличии диполь-дипольного и изинговского взаимодействия кубитов.....95

**Г.А. Пушкарев, И.А. Платонов, Л.В. Павлова**

Исследование мирта лимонного как потенциального сырья для приготовления напитков.....97

**Д.А. Пыхтин, Ю.В. Конов, Р.Г. Бикбаев, И.В. Тимофеев**

Динамическая манипуляция светом с помощью встроенной в структуру с таммовским плазмон-поляритоном метаповерхности, геометрической фазы.....99

**А.В. Рудый, Я.В. Ульянов, С.В. Дианов**

Характеристики наночастиц кремния и германия, синтезированных в газовой среде.....101

**А. А. Салтанова, Е. А. Новикова, И. А. Платонов**

Определение фторорганических соединений в сложных органических матрицах.....103

**Т.П. Ткаченко, В.А. Барбашов, М.В. Минченко, Е.П. Пожидаев**  
Электрооптические свойства широкотемпературного ферриэлектрического жидкого кристалла.....105

**Я.В. Ульянов, А.В. Рудый, С.В. Дианов, А.Е. Шепелев, А.А. Антипов, А.Г. Путилов**  
Генерация медных наночастиц путём абляции мишени с использованием излучения Cr<sup>3+</sup>:BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-лазера.....107

**Д.А. Услин, Н.В. Латухина**  
Влияние рентгеновского излучения на структуры с пористым кремнием.....109

**А.С. Шишова, И.О. Антонов**  
Испарение сферических капель с использованием акустического левитатора...111

**Е.А. Ярунова, А.А. Кренц, Н.Е. Молевич**  
Влияние нелинейного усиления в VCSEL с оптической инжекцией.....114

## СТУДЕНЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ

**М.А. Асташов, Н.В. Латухина**  
Свойства биоматериалов на основе нанокompозита пористый кремний + Гидроксиапатит.....117

**А.Р. Багров**  
Динамика теплового перепутывания кубитов в трехкубитной модели Тависа-Каммингса с двумя независимыми резонаторами.....120

**Е.А. Батракова, С.О. Тучин, Д.С. Труфанов, И.О. Антонов**  
Реакции в модельных криогенных ледяных плёнках, инициируемые ультрафиолетовым вакуумным излучением.....122

**Р.Д. Белокопытов, А.Ю. Бельских, Н.В. Латухина, О.А. Малкина**  
Свойства пористого кремния как материала для биодатчика глюкозы .....124

**К.Н. Белов, А.С. Бердников, В.Б. Киреев, Н.Д. Кундикова, Е.П. Шешин**  
Оценка напряжения сжатия в углеродосодержащих катодах методом комбинационного рассеяние света .....126

<b><u>М.А. Бойко, И.О. Антонов</u></b> Акустическая левитация капель воды .....	128
<b><u>Д.С. Бузаль, Н.В. Латухина</u></b> Температурные характеристики солнечных элементов на основе пористого кремния.....	131
<b><u>П.О. Васюлин, В.В. Ивахник</u></b> Пространственная селективность шестивольного преобразователя в параболическом волноводе с резонансной нелинейностью при одномодовых волнах накачки.....	133
<b><u>Э.Д. Винникова, И.О. Антонов</u></b> Моделирование акустического левитатора.....	136
<b><u>Д.В. Власова, И.А. Братченко</u></b> Предотвращение переобучения PLS-DA моделей классификации рамановских спектров рака кожи.....	138
<b><u>П.В. Горбачева, И.А. Матвеева</u></b> Жидкостная биопсия с применением рамановской спектроскопии.....	140
<b><u>И.А. Горюнов, В.В. Шуплецов, Н.А. Адаменков, А.В. Мамошин, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, В.В. Дрёмин</u></b> Метод гиперспектральной визуализации для оценки степени ишемического повреждения кишечной стенки.....	142
<b><u>А.И. Гришина, А.Г. Бондаренко, Г.В. Романова</u></b> Лазерные методы структурирования поверхности стекол и металлов для управления малыми потоками жидкости.....	144
<b><u>К.М. Гуськова, И.А. Матвеева</u></b> Анализ рамановских спектров злокачественной меланомы и себорейного кератоза с помощью машинного обучения.....	146
<b><u>С.В. Дианов, Я.В. Ульянов</u></b> Синтез наноструктурированных частиц вольфрама с использованием фемтосекундного лазерного излучения.....	148

**В.С. Ишмаева, И.О. Антонов**

Изучение механизмов радиационно-инициируемых химических процессов в метановых ледяных пленках.....150

**А.В. Кабанов, Э. А. Бибилова, Н. Д. Кундикова**

Метод определения эффективных параметров поляризационных систем.....152

**Д.Ю. Калашников**

Нахождение оптимальных масок для фокусировки лазерного излучения в компактное пятно.....154

**Д.И. Кашапова, Д.В. Проколова, С.П. Котова**

Формирование спиральных пучков света с учетом аппаратных ограничений...156

**Д.О. Кирюхина, И.А. Матвеева**

Сегментация дерматоскопических изображений с помощью сверточной нейронной сети.....158

**В.И. Крохмаль, А.И. Попов, В.Н. Гришанов**

Применение визуализирующего флуориметра для оценки состояния биологических объектов в закрытых экосистемах.....160

**А.А. Кузнецов, А.С. Абрамов, Д.А. Бодунов, Н.А. Халимов, С.П. Эйум Эссака, В.Д. Самышкин, А.О. Кучерик**

Создание гидрофобного покрытия на поверхности металлов методом лазерного облучения.....163

**В.А. Кузнецов, А.С.Софьин, А.В.Неупокоева, И.А.Братченко**

Исследование лазерной модификации жидких сред методом рамановской спектроскопии.....165

**С.Ю. Кулагина, С.А. Нефедов**

Структура и состав нанокompозита пористого кремния с гидроксиапатитом для остеопластики.....168

**Р.А. Курамшин, А.П. Торбин, П.А. Михеев**

Константы скоростей энергообменных процессов в плазме Kr/He.....170

- М.В. Левусь, Г.Э. Ризаев, Д.В. Пушкарев, Л.В. Селезнев**  
Эффективность генерации терагерцового излучения из плазмы одноцветного филамента в зависимости от разных параметров лазерного импульса.....173
- И.П. Матвеев, С.П. Котова, Д.В. Прокопова, Н.Н. Лосевский**  
Определение жесткости оптического пинцета в различных средах.....175
- Е.О. Митюшкин, А.В. Леонтьев, Л.А. Нуртдинова, А.Г. Шмелев, Д.К.**  
Мониторинг температуры с помощью одиночных частиц NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er.....178
- А.Р. Рымжина, А.П. Муродов, П. Шарма, И.А. Андреев, А.Б. Темирбулатов, В.И. Платонов, В.С. Павельев, Н. Трипати**  
Гетероструктуры из новых низкоразмерных материалов для применения в оптоэлектронике.....180
- Нагаева А.П., Аязов В.Н.:**  
Исследование реакции образования простейшего ПАУ по механизму НАСА методом молекулярно-пучковой масс-спектрометрии.....183
- Д.А. Нестеров, Н.В. Латухина**  
Структуры с пористым кремнием, легированные эрбием и иттербием.....185
- В.Е. Один, А.А. Кренц**  
Генератор истинно случайных чисел на основе хаотической динамики полупроводникового лазера с запаздывающей обратной связью.....187
- И.А. Песков, И.О. Антонов**  
Акустический левитатор.....189
- И.А. Пименова, И.А. Матвеева**  
Идентификация хронической сердечной недостаточности с помощью рамановской спектроскопии.....192
- М.С. Подгорный, А.А. Кренц**  
Формирование оптических волн убийц в полупроводниковом лазере с оптоэлектронной обратной связью запаздывающей по времени и управляющей потерями резонатора.....195

**И.А. Помельников, Д.С. Рящиков, Н.Е. Молевич, Д.К. Пометко**

Оценка характерных размеров и периодов следования ударных волн в межзвёздной среде с параметрами ФДО Orion Bar.....197

**А.И. Пономарев, В.А. Любошенко, Т.Н. Сапцина, О.А. Заякин**

Особенности конструкции макета оптического датчика воды в авиационном топливе.....199

**В.Н. Приземин, Н.В. Голубова, Е.С. Серёгина, В.В. Дрёмин, Е.В. Потапова**

Исследование гемодинамических нарушений кишечника методом лапароскопической лазерной спекл-контрастной визуализации.....201

**Г.А. Реутова, В.В. Ивахник**

Связь между пространственной селективностью и коэффициентом отражения четырехволнового преобразователя излучения.....203

**А.А. Родионова, В.В. Ивахник**

Пространственная селективность квазивырожденного шестиволнового преобразователя в многомодовых волноводах с керровской нелинейностью....205

**О.В. Рябенкова, А.В. Щербак**

Оптические свойства структур карбида кремния на поликоре, получаемых методом магнетронного распыления.....207

**Е.В. Скопцова, Д.С. Рящиков, Д.И. Завершинский**

Диагностика параметров нагрева солнечной короны по наблюдаемой гравитационной стратификации среды.....209

**Е.В. Сорокина, Ю.А. Христофорова**

Классификация спектров комбинационного рассеяния сыворотки крови по MCR-компонентам с помощью методов машинного обучения.....211

**К.Е. Томникова, И.А. Матвеева**

Исследование спектральных признаков для классификации рамановских спектров кожи методом случайного леса.....213

**Д.С. Труфанов, С.О. Тучин, Е.А. Батракова, И.О. Антонов**

Симуляция времяпролетного масс-спектрометра для установки «криогенные поверхностные процессы» в линейном режиме работы.....215

<b><u>С.О. Тучин, Е.А. Батракова, Д.С. Труфанов, И.О. Антонов</u></b> Экспериментальная оптимизация времяпролетного масс-спектрометра установки КПП: масс-спектр калибровочной смеси.....	217
<b><u>В.К. Урюпина, Н. А. Горбунов, С. П. Котова, Н. Н. Лосевский, А. М. Майорова</u></b> Захват и удержание микроскопических объектов с различными биомаркерами в оптической и оптотермической ловушках.....	219
<b><u>В.Д. Фомина, А.А. Акимов</u></b> Четырехволновой преобразователь излучения на резонансной нелинейности при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны.....	222
<b><u>А.А. Цапенко</u></b> Фурье и КР спектры каптоприла.....	224
<b><u>К.А. Целогородцев, И.О. Антонов, С.П. Котова</u></b> Световые поля с медленно вращающейся линейной поляризацией.....	226
<b><u>Д.А. Чабуркин, А.А. Девяткин, А.Г. Исхакова, С.П. Котова</u></b> Определение фазовых и поляризационных характеристик кристаллизованных слезных структур для людей с патологиями.....	229
<b><u>П.А. Чижов, А.А. Советский, Л.А. Матвеев, А.Л. Матвеев, В.Ю. Зайцев</u></b> Процедуры предварительной калибровки для получения независимых от устройства оценок коэффициента затухания оптической волны на основе анализа ОКТ сканов.....	232
<b><u>Д.О. Шилов, Е.С. Козлова</u></b> Исследование влияния турбулентности на топологический заряд суперпозиции вихрей в виде геометрической прогрессии.....	234
<b><u>А.М. Юдина, Д.С. Рящиков</u></b> Проявления эффекта теплового дисбаланса в ультрафиолетовом излучении, вызванном медленными магнитоакустическими волнами в корональных петлях.....	236

**Н. В. Ремизов, Д. С. Якименко**

Анализ методов цифровой обработки изображений для повышения контрастности вен человека при визуализации в ближнем ИК диапазоне.....238

**К.А. Янина, А.А. Акимов**

Четырёхволновой преобразователь излучения на резонансной нелинейности в схеме с попутными волнами накачки.....240

**В.С. Янушин, Е.В. Жарких, Ю.И. Локтионова, И.А. Горюнов, В.В. Шуплецов, А.В. Дунаев**

Флуоресцентная спектроскопия с временным разрешением и портативный мультимодальный анализатор в оценке окислительного метаболизма биотканей.....242

**ЛЕКЦИИ ВЕДУЩИХ УЧЁНЫХ И  
ПРИГЛАШЁННЫЕ ДОКЛАДЫ.  
АННОТАЦИИ**

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ХОЛОДНОЙ МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ

**И.О. Антонов**

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: antonovio@smr.lebedev.ru*

Образование сложных органических молекул (СОМ) в межзвездной среде является нерешенной фундаментальной научной проблемой, решение которой требует комплексного междисциплинарного подхода на основе сочетания лабораторных экспериментов, теоретических расчетов электронной структуры, моделирования условий и процессов межзвездной среды, и астрономических наблюдений. В центре лабораторной астрофизики (ЦЛА) СФ ФИАН построена уникальная научная установка нового поколения для изучения криогенных поверхностных процессов («КПП») в межзвездной среде. Продукты реакций КПП детектируются с помощью фотоионизационной масс-спектрометрии (ФИМС). Изомеры СОМ могут различаться по энергиям ионизации с помощью перестраиваемого вакуумного ультрафиолетового излучения. Для расчета энергий ионизации предложены высокоточные схема расчетов *ab initio*, учитывающие конформационную изомерию СОМ. В докладе будут представлены основные направления и результаты работы ЦЛА – результаты испытаний установки КПП, расчеты энергий ионизации и поверхностей потенциальной энергии реакций и экспериментальные работы по изучению астрохимических реакций в модельных системах на основе ледяных пленок этанола/монооксида углерода ( $C_2H_5OH + CO$ ), метанола/диоксида углерода ( $CH_3OH + CO_2$ ), ацетальдегида/аммиака ( $CH_3CO + NH_3$ ) и ацетальдегида/монооксида углерода ( $CH_3CO + CO$ ).

## МГД-СЕЙСМОЛОГИЯ СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПО ИЗГИБНЫМ КОЛЕБАНИЯМ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ

С.А. Анфиногентов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового  
Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения  
Российской академии наук  
(664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126А)  
e-mail: anfinogentov@iszf.irk.ru*

В докладе представлен современный подход к измерению альфвеновской скорости и магнитного поля в короне Солнца по изгибным колебаниям корональных петель, наблюдаемых по изображениям активных областей в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне с использованием метода увеличения движений (motion magnification), применением байесовского вывода и метода Монте-Карло по схеме Марковской цепи для оценки параметров плазмы в корональных петлях и получения надёжных доверительных интервалов.

**Ключевые слова:** Солнце, МГД-волны, корональная сейсмология, физика плазмы.

Большая часть геоэффективных процессов на Солнце, таких как солнечные вспышки и корональные выбросы масс (КВМ), связаны с активными областями, где концентрируются самые сильные магнитные поля. При этом процесс накопления энергии и её взрывного высвобождения во время вспышек и КВМ происходят в корональной части активных областей. Так как в солнечной короне магнитное давление значительно превышает газодинамическое, магнитное поле является основным резервуаром для накопления энергии и практически полностью определяет процессы, происходящие во время её высвобождения, в том числе выбросы вещества и ускоренных частиц в межпланетное пространство. Таким образом информация о магнитном поле в корональной части активных областей является критически важной как для прогноза геоэффективных событий, так и для понимания фундаментальных физических процессов, происходящих в активных областях во время накопления и высвобождения энергии. Кроме того, будучи основным энергетическим резервуаром магнитное поле, скорее всего, играет существенную роль в нагреве солнечной короны.

К сожалению традиционные методы измерения магнитных полей, основанные на эффекте Зеемана, неприменимы к солнечной короне из-за чрезвычайно сильного теплового уширения спектральных линий. По этой причине главным источником информации о магнитном поле в короне Солнца служат косвенные методы, такие как моделирование коронального поля на основе фотосферных магнитограмм, анализ микроволнового излучения и корональная магнитогидродинамическая (МГД) сейсмология. Последняя предполагает использование наблюдений магнитогидродинамических волн для получения информации о параметрах корональной плазмы, в том числе значений магнитного поля, характерных скоростей и температуры.

Для измерения магнитного поля наиболее удобна изгибная (кинк) мода колебаний корональных петель. Период этих колебаний напрямую зависит от альфвеновской скорости в короне, а значит и от модуля магнитного поля. Такие колебания наблюдаются в двух режимах: затухающем и незатухающем. Изгибные колебания в затухающем режиме характеризуются большой амплитудой и связаны с эруптивными процессами в активных областях. Причем далеко не каждая вспышка или КВМ вызывает эти колебания. По этой причине затухающие колебания плохо подходят для регулярной диагностики активных областей и прогноза эруптивных явлений в них. Ключом к решению этой проблемы стал второй режим изгибных колебаний — незатухающий. Хотя незатухающие изгибные колебания и обладают значительно меньшей амплитудой, они постоянно наблюдаются в практически любой активной области, а значит могут быть использованы для регулярной диагностики коронального магнитного поля методами МГД-сейсмологии.

В докладе представлен современный подход к измерению альфвеновской скорости и магнитного поля в короне Солнца по изгибным колебаниям корональных петель, наблюдаемых по изображениям активных областей в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне. Данный подход включает в себя использование метода увеличения движений (*motion magnification*) на последовательности изображений для выделения колебаний с малой амплитудой, применение байесовского вывода и метода Монте-Карло по схеме Марковской цепи для оценки параметров плазмы в корональных петлях и получения надёжных доверительных интервалов. Комбинация этих методов с традиционными методиками позволяет определять пространственное распределение изгибной и альвеновских скоростей в активной области. Таким образом, продемонстрирована возможность диагностики короны активных областей методами МГД-сейсмологии на спокойной и предвспышечной стадиях их развития.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-72-10158-П.

## **MGD SEISMOLOGY OF SOLAR ACTIVE REGIONS BY FLEXURAL VIBRATIONAL CORONAL LOOPS**

**S.A. Anfinogentov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of solar-terrestrial physics  
(Lermontov st., 126a, Irkutsk, Russia, 664033)  
e-mail: anfinogentov@iszf.irk.ru*

The report presents a modern approach to measuring the Alfvén speed and magnetic field in the solar corona by kink oscillations of coronal loops observed from images observed in the EUV range using the motion magnification method and Markov chain Monte-Carlo to estimate plasma parameters in coronal loops and obtaining reliable confidence intervals.

## **ИНТЕГРИРОВАННОЕ ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

**В.П. Захаров<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: zakharov@ssau.ru*

Рассмотрены современные тенденции применения нейронных сетей и глубокого обучения для создания мультимодальных интегрированных систем диагностики, классификации и сегментации медицинских изображений. Систематизированы и показаны результаты исследований по ИИ диагностике онкологических заболеваний, жидкостной рамановской биопсии, применения мультимодальных нейронных сетей для классификации неврологических расстройств.

## **INTEGRATED DEEP LEARNING FOR MEDICAL DIAGNOSTICS**

**V.P. Zaharov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: zakharov@ssau.ru*

The current trends in the use of neural networks and deep learning to create multimodal integrated systems for diagnostics, classification and segmentation of medical images are considered. The results of research on AI diagnostics of cancer, liquid Raman biopsy, and the use of multimodal neural networks for the classification of neurological disorders are systematized and shown.

# **РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ИОНАХ В РОССИИ И МИРЕ: ПРИБОРЫ, АЛГОРИТМЫ, ВОЗМОЖНОСТИ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**Н.Н. Колачевский<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)  
e-mail: mayorovaal@smr.lebedev.ru*

В докладе дано представление об основных принципах построения квантовых вычислителей. Рассматривается принцип работы многокубитного квантового вычислителя на ионах, созданного в рамках российской Дорожной карты по квантовым вычислениям. Наряду с общим описанием прогресса в области, представлены методы управления одиночными ионами: охлаждение, манипуляции с квантовыми состояниями, перепутывание и считывание. Обсуждается ряд алгоритмов, выполненных на ионном квантовом вычислителе, возможности масштабирования и повышения точности операций, а также потенциал применения вычислителей к решению практических задач.

## **DEVELOPMENT OF QUANTUM COMPUTING ON IONS IN RUSSIA AND THE WORLD: DEVICES, ALGORITHMS, POSSIBILITIES OF SOLVING PRACTICAL PROBLEMS**

**N.N. Kolachevsky<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)  
e-mail: mayorovaal@smr.lebedev.ru*

The report provides an overview of the basic principles of building quantum computers. The operating principle of a multi-qubit ion quantum computer created within the framework of the Russian Quantum Computing Roadmap is considered. Along with a general description of progress in the field, methods for controlling single ions are presented: cooling, manipulation of quantum states, entanglement and reading. A number of algorithms implemented on an ion quantum computer, the possibilities of scaling and increasing the accuracy of operations, as well as the potential for using computers to solve practical problems are discussed.

## **ДИЗАЙН ПЛЕНОЧНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БЕТА-ДИКЕТОНАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНОИДОВ**

**В.Г. Никифоров<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»  
(420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31)  
e-mail: vgnik@mail.ru*

В докладе обсуждаются аспекты создания новых пленочных люминесцентных материалов для устройств фотоники. Рассматриваются структурные особенности бета-дикетонатных комплексов, способы изготовления пленочных материалов, возможности управления люминесцентными характеристиками пленок в процессе эксплуатации, области применения и многое другое.

## **DESIGN OF FILM LUMINESCENT MATERIALS BASED ON BETA- DIKETONATE COMPLEXES OF LANTHANIDES**

**V.G. Nikiforov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Federal research center «Kazan scientific center of the Russian academy of sciences»  
(Lobachevsky str., 2/31, Kazan, Russia, 420111)  
e-mail: vgnik@mail.ru*

The report discusses aspects of creating new film luminescent materials for photonic devices. Structural features of beta-diketonate complexes, methods for producing film materials, the possibility of controlling the luminescent characteristics of films during operation, areas of application, and much more are considered.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ ХИМИИ В ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ

А.А. Першин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: andrepershin1993@yandex.ru*

В докладе представлены современные методы квантовой химии для изучения возбужденных состояний молекулярных систем. Приведен обзор теоретических исследований процессов с участием возбужденных атомов и молекул в активных средах газовых лазеров и радиочастотных ловушках.

**Ключевые слова:** многоконфигурационные методы, квантовая химия, спектроскопия.

Современные методы квантовой химии позволяют решать огромный спектр задач разных разделов химии, но чаще всего сопряжены с анализом поведения молекулярных систем в основных электронных состояниях. Существуют различные методы расчета возбужденных состояний, которые можно применить к задачам фотохимии и аналитической UV-Vis спектроскопии, в том числе, органических соединений, хотя они требуют больших вычислительных ресурсов. На малых системах, таких как возбужденные атомы и двухатомные молекулы и их комплексы, использование подобных методов не требует больших ресурсов, а их результаты можно применить в физике плазмы и спектроскопии.

В докладе будет рассказано о нескольких задачах, в рамках которых были успешно применены многоконфигурационные методы квантовой химии.

## APPLICATION OF QUANTUM CHEMISTRY METHODS IN PLASMA PHYSICS

А.А. Pershin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: andrepershin1993@yandex.ru*

The paper presents modern methods of quantum chemistry for the study of excited states of molecular systems. A review of theoretical studies of processes involving excited atoms and molecules in active media of gas lasers and radiofrequency traps is given.

**Keywords:** multiconfigurational methods, quantum chemistry, spectroscopy.

# ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Е.П. Пожидаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*

*(г. Москва, Ленинский пр-т, 53)*

*e-mail: pogidaev@lebedev.ru*

Жидкокристаллические дисплеи являются основным средством отображения информации в современном мире. Технологии их производства, основанные на сочетании фундаментальных достижений физики, химии и микроэлектроники, доведены до совершенства в промышленности некоторых стран Азии, полностью обеспечивающих потребности человечества в разнообразных бытовых устройствах отображения информации.

Современные концепции развития фотоники жидких кристаллов базируются на новых физических эффектах и оптических средах, не доведенных пока до промышленного освоения, и характеризуются несколькими аспектами их практической значимости. Во-первых, формируются физико-химические идеологии, которые могли бы обеспечить упрощение и удешевление технологии производства бытовых дисплеев при повышении качества формируемых изображений. Во-вторых, продолжается совершенствование жидкокристаллической компонентной базы нанофотоники и биофотоники, в частности, генераторов вихревых световых полей, фокусаторов, систем гиперспектрального и мультиспектрального анализа оптических сигналов в видимом и ближнем ИК-диапазонах излучения. В-третьих, ведутся работы по созданию и практическому использованию электроуправляемых фотонно-кристаллических структур, включающих в себя жидкокристаллические подсистемы. В-четвёртых, предлагаются физико-технологические решения, обеспечивающие совершенствование лазерной техники, сенсорных и дифракционно-оптических устройств благодаря использованию жидкокристаллических электрооптических модуляторов амплитуды или фазы электромагнитных волн.

В данном сообщении рассматриваются физико-химические концепции создания упомянутых выше жидкокристаллических фотонных устройств нового поколения, а также предпосылки для их технологической реализации и промышленного освоения.

Лекция подготовлена при финансовой поддержке РФФ, грант № 24-22-00239

# СИНХРОНИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ДИНАМИКИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Е.Н. Попов

*Университет ИТМО*

*(197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, литер А.)*

*e-mail: enp-tion@yandex.ru*

В работе теоретически рассматривается эффект синхронизации динамики атомов, которые находятся внутри периодического магнитного поля без постоянной компоненты. Синхронизация происходит при определённых частотах внешнего магнитного поля, когда изменение квантового состояния атома за период является тождественным и не зависит от начальных условий. Около таких частот атомный ансамбль проявляет свойства, подобные резонансу, при котором резко возрастает поляризация среды.

**Ключевые слова:** синхронизация, лазерная накачка, спиновая поляризация.

Резонанс – это один из самых известных эффектов в физике. Кроме того, он повсеместно используется на практике. Смысл резонанса состоит в том, что физическая система имеет некоторую точку равновесия, около которой параметры данной системы могут совершать колебания с собственной частотой. Если частота внешнего возмущения совпадает с собственной частотой, то амплитуда колебаний возрастает, пока процессы релаксации и внешнего возмущения не уравновесят друг друга. Полуширина резонанса примерно равна скорости релаксации системы, поэтому чем больше время жизни возмущённого состояния, тем уже резонанс. Эта зависимость используется в лазерной физике для создания измерительных устройств, предел точности которых ограничен временем жизни поляризованного состояния и, следовательно шириной оптического или радио-оптического резонанса.

В данной работе мы предлагаем рассмотреть радио-оптический эффект, который по качественным свойствам похож на резонанс, но отличается от него по своей природе. Сходство эффекта состоит в том, что при некоторой частоте внешнего возмущения происходит резкое увеличение поляризованного состояния среды, причём ширина линии рассматриваемого эффекта в несколько раз меньше скорости релаксации поляризованного состояния, в отличие от резонанса.

Физически, рассматриваемая система - это ансамбль атомов, поляризация которого представляет собой квантовое среднее от оператора углового момента. Внешнее возмущение создаётся постоянным лазерным полем круговой поляризации, которое определяет направление среднего вектора углового момента, и сильным переменным магнитным полем, которое формирует неадиабатическую динамику всей системы. Магнитное поле является периодическим и меняется по направлению. В работе показано, что при заданном временном профиле и амплитуде магнитного поля существует ограниченное сверху дискретное множество частот магнитного поля, при которых поляризация атомного ансамбля резко возрастает. Этот эффект не является резонансом в привычном определении, так как постоянное магнитное поле, задающее

собственную частоту квантовой системы, отсутствует. Также отсутствуют и другие точки устойчивости квантовой системы, около которых происходили бы осцилляции. Резкое увеличение спиновой поляризации можно объяснить синхронизацией движения атомов в фазовом пространстве их квантовых состояний: только при определённых частотах сильного периодического возмущения оператор эволюции системы за один период становится единичным. Будем называть такие частоты – частотами периодичности. Отклонение частоты магнитного поля от частоты периодичности приводит к быстрой рассинхронизации движения атомов в ансамбле и, следовательно уменьшению среднего углового момента всей системы. Данный эффект может быть использован как замена резонансу в измерительных методиках.

## **SYNCHRONOUS ATOMIC DYNAMICS INDUCED WITH STRONG PERIODIC EXCITATION**

**E.N. Popov**

*ITMO University*

*(Kronverksky Pr. 49, bldg. A, St. Petersburg, 197101, Russia)*

*e-mail: enp-tion@yandex.ru*

The effect of synchronous dynamics of atomic ensemble in the presence of a periodic magnetic field without a constant component theoretically explored in the work. Synchronization occurs at certain frequencies of the external magnetic field, when the in the atomic quantum state evolution over the single period is identical and does not depend on the initial wave function. Near the frequencies, an atomic ensemble exhibits properties similar to resonance, at which the polarization of the medium steep increases.

**Keywords:** synchronous dynamics, laser pumping, spin polarization.

## ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В МАЛОИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ

**Е.В. Потапова**

*Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
(302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95)  
e-mail: potapova\_ev\_ogu@mail.ru*

В работе описаны обобщенные результаты исследований в области применения оптической диагностики в малоинвазивной хирургии. Показано, что использование спектроскопических методов дает дополнительную информацию, на основе которой врач может корректировать диагностические и лечебные алгоритмы.

**Ключевые слова:** малоинвазивная хирургия, оптическая диагностика.

Малоинвазивные хирургические вмешательства (МИХВ) позволяют значительно снизить травматизацию, а также свести к минимуму время восстановления и общие затраты на лечение. Однако данные процедуры имеют ряд особенностей, в первую очередь связанных с тем, что хирург имеет доступ к органу в ограниченном пространстве и оценивает функциональное состояние биологических тканей оперируемых органов исключительно по изображению в белом свете и данным инструментальной пальпации. Также для ряда малоинвазивных процедур существует проблема точного позиционирования хирургических инструментов. Методы оптической диагностики в настоящее время практически не имеют альтернатив при определении оценки состояния биотканей *in vivo* и в режиме реального времени, что может играть решающую роль при определении тактики МИХВ. При этом важным преимуществом является возможность их конструктивного совмещения со стандартными инструментами для малоинвазивной хирургии.

Цель работы заключалась в разработке методологии интраоперационной диагностики перфузионно-метаболических параметров биотканей при МИХВ на основе методов оптической диагностики в совокупности с применением оптоволоконных зондов различной конструкции, совместимых со стандартными хирургическими инструментами.

Проведены преклинические и клинические исследования на основе которых разработаны методы интраоперационной диагностики для пункционных МИХВ, позволяющие на основе применения метода флуоресцентной спектроскопии дифференцировать ткани печени на два класса – опухоли и здоровая паренхима с чувствительностью и специфичностью 0,9 и 0,95, соответственно, а также классифицировать типы новообразований печени на три класса – доброкачественные, злокачественные опухоли и метастазы с чувствительностью и специфичностью более 0,84 и 0,88, соответственно.

Также разработаны алгоритмы реализации интраоперационной диагностики перфузионно-метаболических параметров биологических тканей во время проведения дренирующих, лапароскопических и пункционных МИХВ. Предложены: алгоритм оценки влияния миом на перфузию эндометрия, построенный на основе регистрации и дальнейшего анализа сигналов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии; алгоритм оценки функционального состояния печени у пациентов с синдромом механической желтухи, построенный на основе регистрации спектров флуоресцентной спектроскопии интраоперационно при установке дренажных систем, а также спектров комбинационного рассеяния желчи, полученной по дренажному каналу; алгоритм определения метаболического статуса новообразований молочной железы, построенный на регистрации и анализе спектров диффузного отражения, а также алгоритм интраоперационной оценки микроциркуляции крови в тканях поджелудочной железы, построенный на основе лазерной спекл-контрастной визуализации.

Интраоперационная оптическая диагностика обладает высоким диагностическим потенциалом и может применяться при проведении малоинвазивных хирургических вмешательств с целью корректировки диагностических и лечебных протоколов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Е.В. Потапова, Разработка биотехнической системы интраоперационной диагностики перфузионно-метаболических параметров биотканей при малоинвазивных хирургических вмешательствах // Биомедицинская радиоэлектроника, 2024, т. 27, № 5. с. 5-16.
2. Е.В. Потапова, Метод синтеза биотехнической системы интраоперационной оптической диагностики перфузионно-метаболических параметров в малоинвазивной хирургии // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2024, т. 366, № 5, с. 60-70.

## **INTRAOPERATIVE OPTICAL DIAGNOSTICS IN MINIMALLY INVASIVE SURGERY**

**E.V. Potapova**

*Orel State University  
(Komsomolskaya str., 95, Orel, Russia, 302026)  
e-mail: potapova\_ev\_ogu@mail.ru*

The paper describes the generalized results of research in the field of application of optical diagnostics in minimally invasive surgery. It is shown that the use of spectroscopic methods provides additional information on the basis of which the doctor can adjust diagnostic and therapeutic algorithms.

**Keywords:** minimal invasive surgery, optical diagnostics.

## **ОШИБКИ В КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА СВЕТА В МУТНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ И СРЕДАХ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ**

**Д.А. Рогаткин<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф.Владимирского  
e-mail: rogatkin@medphyslab.com*

В биомедицинской оптике необходимы теоретические модели распространения света в мутных биотканях и средах. Однако аналитическое моделирование затруднено, т.к. нет точных решений уравнения переноса излучения (УПИ). Анализ феноменологических основ теории показывает наличие ошибок при выводе УПИ. В частности, не учитываются дискретные рассеиватели внутри сплошной поглощающей среды. Более корректный вывод УПИ позволяет вскрыть ошибки, а также оценить погрешности численного метода Монте-Карло.

## **ERRORS IN THE CLASSICAL THEORY OF LIGHT TRANSFER IN TURBID BIOLOGICAL TISSUES AND ENVIRONMENTS AND NEW APPROACHES**

**D.A. Rogatkin<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>GBUZ MO MONIKI named after M.F. Vladimirovsky  
e-mail: rogatkin@medphyslab.com*

In biomedical optics, theoretical models of light propagation in turbid biological tissues and environments are needed. However, analytical modeling is difficult because there are no exact solutions to the radiation transfer equation (RTE). Analysis of the phenomenological foundations of the theory shows the presence of errors in the derivation of the RTE. In particular, discrete scatterers inside a continuous absorbing medium are not taken into account. A more correct derivation of the RTE allows us to reveal errors, as well as estimate the errors of the numerical Monte Carlo method.

**ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЭНЕРГИИ**

**И.Н.Тиликин<sup>1</sup>, Т. А. Шелковенко<sup>1</sup>, С. А. Пикуз<sup>1</sup>, А. Р. Мингалеев<sup>1</sup>,  
А. А.Мингалеев<sup>1</sup>, В. М. Романова<sup>1</sup>, А. Е. Тер-Оганесян<sup>1</sup>,  
А. В. Огинов<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53)  
e-mail: ivan.tilikin@gmail.com*

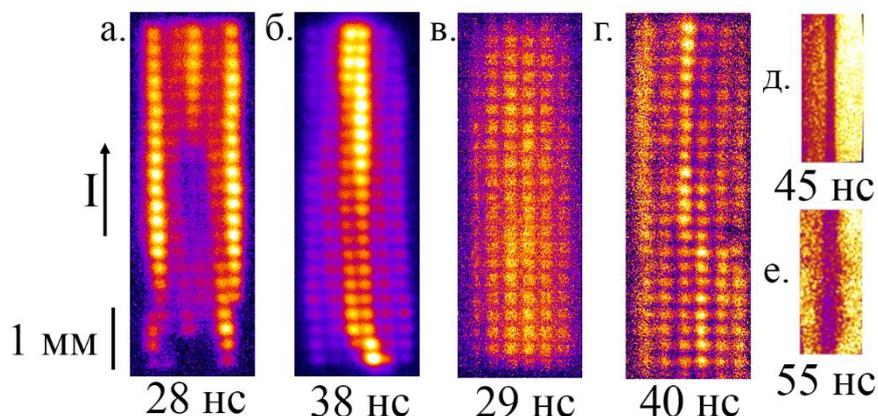
В работе приведены результаты экспериментальных исследований, проводимых в отделении физики высоких плотностей энергий ФИАН. Эксперименты проводятся на установках БИН (270 кА, 300 кВ, время нарастания импульса 100 нс), КИНГ (200 кА, 45 кВ, 190 нс) и ГВП (10 кА; 20 кВ; 250 нс). Синхронизация установок между собой и использование современных методов диагностики плазмы, включая использования X-пинча как источника излучения, позволяют получать уникальные результаты.

**Ключевые слова:** физика плазмы, X-пинч, диагностика плазмы.

В Отделении Физики Высоких Плотностей Энергии ФИАН находятся несколько сильноточных установок: БИН (270 кА, 300 кВ, время нарастания импульса 100 нс), КИНГ (200 кА, 45 кВ, 190 нс) и ГВП (10 кА; 20 кВ; 250 нс). Генераторы БИН и КИНГ могут использоваться для работы с X-пинчами различных конфигураций. В настоящее время наиболее активно используются гибридные X-пинчи, состоящие из вольфрамовых электродов конической формы и тонкой короткой проволочкой, натянутой между ними. При протекании тока через такую нагрузку образуется уникальный плазменный объект: горячая точка (ГТ), который является источником мягкого рентгеновского излучения (МРИ). При этом источник может иметь сверхмалые размеры (< 1 мкм) и короткое время жизни (< 1 нс), что позволяет использовать подобный источник для исследования других плазменных объектов. В качестве исследуемых объектов используются взрывающиеся проволочки или фольги. При этом их можно помещать как в обратный токопровод генератора, так и на другой генератор, синхронизованный по времени с основным генератором.

В последнее время наиболее интересные результаты были показаны в экспериментах по взрыву фольг. Продемонстрирована возможность усиления или сглаживания нестабильностей, возникающих в процессе взрыва, с помощью нанесения периодических структур на поверхность фольги. Нанесение отверстий с шагом 400 мкм позволило создать однородный источник УФ излучения с размером 4x20 мм и сохраняющего однородность излучения со всей площади в течении времени от 20 до 70 нс. На рис.1 приведено сравнение изображения сетки с шагом 500 мкм в излучении от фольги без обработки (а,б) и с периодической искусственной структурой (в,г). На рис.1.д,е показан пример использования данного излучения для получения изображения

плазменного объекта: взрывающейся Cu проволоочки диаметром 70 мкм с 5 нс временным разрешением.[1]



*Рис. 1. УФ-изображение сетки с шагом 500 мкм в излучении от необработанной фольги (а,б) и от фольги с искусственной периодической структурой (отверстия с шагом 400 мкм) (в,г) и УФ-изображение взорванной Cu проволоочки диаметром 70 мкм (д,е), зарегистрированные с помощью МКП-камеры с подсветкой от излучения взрывающейся Al-фольги толщиной 4 мкм. Направление тока через фольгу показано стрелкой. Моменты начала кадра указаны снизу каждого кадра.*

Другой цикл работ посвящен исследованию процессов взрыва одиночных проволоочек. В результате этих работ опробирован метод двух-длинноволнового лазерного зондирования, позволяющего получать изображения внутренней структуры взрывающейся проволоочки[2].

Одним из новых направлений работы лаборатории является исследование поверхностного пробоя по ферритам. Было показано, что в предпробойной стадии регистрируется короткая вспышка мягкого рентгеновского излучения, которое по своей природе может являться когерентным[3]. В настоящее время идет построение моделей данного излучения и экспериментальные работы по их подтверждению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. N. Tilikin, T. A. Shelkovenko, S. A. Pikuz, A. V. Oginov, A. R. Mingaleev, V. M. Romanova, A. E. Ter-Oganessian, Exploding foils with artificial structure as a source of ultraviolet radiation // Journal of Applied Physics, 2023, v. 3, p. 134.
2. V. M. Romanova, G. V. Ivanenkov, E. V., Parkevich, I. N. Tilikin, M. A. Medvedev, T. A. Shelkovenko, S. A. Pikuz, A. S. Selyukov, Laser scattering by submicron droplets formed during the electrical explosion of thin metal wires // Journal of Physics D: Applied Physics, 2021, v. 54. p.17.
3. I. N. Tilikin, N. V. Pestovskii, S. N. Tskhai, T. A. Shelkovenko, S. A. Pikuz, S. Y. Savinov, Coherent properties of high-current nanosecond discharge radiation // Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 2024 v.194, №8, p. 865-880.

## STUDY OF OBJECTS WITH HIGH ENERGY DENSITY

**I.N.Tilikin<sup>1</sup>, T.A.Shelkovenko<sup>1</sup>, S.A.Pikuz<sup>1</sup>, F.R.Mingaleev<sup>1</sup>, A.A.Mingaleev<sup>1</sup>,  
V.M.Romanova<sup>1</sup>, A.E.Ter-Oganesyan<sup>1</sup>, A.V.Oginov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences  
(119991, Moscow, 53 Leninskiy pr.)  
e-mail: ivan.tilikin@gmail.com*

The paper presents the results of experimental studies carried out at the Department of High Energy Density Physics, LPI. The experiments are carried out at the following generators: BIN (270 kA, 300 kV, rise time 100 ns), KING (200 kA, 45 kV, 190 ns), and GVP (10 kA; 20 kV; 250 ns). Synchronization of the generators with each other and the use of modern methods of plasma diagnostics, including the use of X-pinch as a radiation source, allow obtaining unique results.

**Keywords:** plasma physics, X-pinch, plasma diagnostics.

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИРОВОЙ ТКАНИ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ САХАРНОГО ДИАБЕТА 1 И 2 ТИПОВ

И. Ю. Янина,<sup>1,2</sup> Д. К. Тучина,<sup>1,2</sup> Н.А. Шушунова,<sup>1</sup> А.Б. Бучарская,<sup>3</sup> А. М.  
Мыльников,<sup>3</sup> Н. А. Наволокин,<sup>4</sup> В.В. Тучин<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный  
университет имени Н.Г. Чернышевского»  
(410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
(634050, г. Томск, пр. Ленина, 36)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В. И.  
Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации (410012, г.  
Саратов, ул. Большая Казачья, 112)

<sup>4</sup>ИПТМУ ФИЦ "Саратовский научный центр РАН" (410028, г. Саратов, ул. Рабочая,  
24)

*e-mail: irina-yanina@yandex.ru*

Статистика заболеваемости диабетом ежегодно растет, и, как считают эксперты, если ситуация будет развиваться теми же темпами, то к 2025 году количество пациентов с диабетом увеличится в два раза, а в 2030 году это заболевание станет седьмой причиной смерти во всем мире.

Сахарный диабет — заболевание, связанное с нарушением обмена углеводов, характеризуется высоким содержанием глюкозы в крови [1]. Различают сахарный диабет 1-го и 2-го типов. Несмотря на различные механизмы патогенеза, оба типа заболевания сопровождаются гипергликемией, которая дает серьезные осложнения, поскольку гликирование биологических молекул происходит во всем организме, включая жизненно важные органы, то исследуя структурные и химические изменения, ассоциированные с продолжительной гипергликемией в организме, оказывается возможным получать информацию о степени гликированности не только гемоглобина, но и различных тканей, что непосредственно должно указывать на риски серьезных осложнений при развитии диабета. Гликированию подвержены не только аминокислотные остатки белков, липопротеинов как липидпереносящих макромолекул белка, но и липиды. Аминофосфолипиды непосредственно реагируют с глюкозой, образуя конечные продукты гликолиза, которые далее подвергаются окислению активными формами кислорода [2, 3].

Данные об оптических свойствах тканей в сочетании с гистологическим анализом предоставляют информацию о структурных изменениях, происходящих с биотканями и их компонентами, что необходимо учитывать при диагностике [4]. В данном экспериментальном исследовании показаны существенные различия оптических параметров, таких как коэффициент поглощения, коэффициент рассеяния и фактор анизотропии рассеяния, абдоминальной жировой ткани здоровых и диабетических животных.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-00082, <https://rscf.ru/project/24-44-00082/>

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. O. Mookpaksacharoen, S. Choksakunwong, R. Lertwattanak Comparison of clinical characteristics and treatment outcomes between initially diagnosed type 1 and type 2 diabetes mellitus patients presenting with diabetic ketoacidosis // BMC Endocrine Disorders, 2024, v. 24, №. 1, p. 114
2. J. W. Baynes, S. R. Thorpe, Glycoxidation and lipoxidation in atherogenesis //Free Radical Biology and Medicine, 2000, v. 28, №. 12, 1708-1716.
3. В. Н. Титов, Н. В. Хохлова, Ю. К. Ширяева, Глюкоза, гликотоксины и продукты гликирования протеинов: роль в патогенезе // Клиническая медицина, 2013, № 3, с. 15-24.
4. D. K. Tuchina, V. V. Tuchin, Diabetes mellitus-induced alterations of tissue optical properties, optical clearing efficiency, and molecular diffusivity // Handbook of Tissue Optical Clearing, 2022, с. 517-538.

**СЕКЦИЯ АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ  
УЧЕНЫХ**

## ФОРМИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ТЕТРАХЛОРАУРАТА ВОДОРОДА ( $\text{HAuCl}_4$ ) ПРИ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ

В.Д. Самышкин<sup>1</sup>, А.С. Абрамов<sup>1</sup>, Н.А. Халимов<sup>1</sup>, С.П. Эйум Эссака<sup>1</sup>, Д.А. Бодунов<sup>1</sup>, А.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.О. Кучерик<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (600000, г. Владимир, ул. Горького, 67)  
e-mail: abramov.andrey.1997@gmail.com*

Разработан экспериментальный метод синтеза тонких металлоуглеродных пленок, состоящих из линейных sp-углеродных цепочек, стабилизированных прикрепленными к их краям наночастицами золота.

**Ключевые слова:** линейные углеродные цепи, карбин, золотые наночастицы, наноэлектроника.

За последнее десятилетие было проведено множество исследований по синтезу и изучению свойств углеродных структур с sp-гибридизацией [1]. В электронике такие материалы могут быть использованы для создания суперконденсаторов нового поколения с высокой плотностью энергии, в химии - в качестве эффективных катализаторов химических процессов, а в нанопотонике - в качестве новой элементной базы.

В качестве исходных образцов использовались суспензии шунгита в водных растворах  $\text{HAuCl}_4$ . Углеродные наночастицы шунгита были диспергированы в дистиллированной воде в объеме в качестве прекурсоров для углеродных линейных цепей. Были получены растворы  $\text{HAuCl}_4$  для синтеза наночастиц золота объемом. Лазерную обработку коллоидных систем проводили при температуре раствора, не превышающей 50-55°C, чтобы избежать перегрева синтезированных углеродных цепей при лазерном облучении [2]. Использовался лазер с длиной волны 532 нм, длительностью импульса 20 нс и средней мощностью до 10 Вт. Коллоидные растворы облучали в течение 30 и 60 минут.

Существующий способ формирования наноструктур C-Au предполагает, что облучение раствора происходит под воздействием лазерного излучения, а образование наночастиц золота сопровождается дроблением частиц шунгита. Этот метод не позволяет создавать отдельные, изолированные углеродные цепочки; однако он очень эффективен для формирования тонких пленок, состоящих из множества линейных цепочек, как это видно на рисунке 1а.

Важным преимуществом этого метода является эффективное дробление аморфного углерода, приводящее к резкому уменьшению доли такого материала за счет лазерного излучения, как показано на спектрах комбинационного рассеяния света на рисунке 1б.

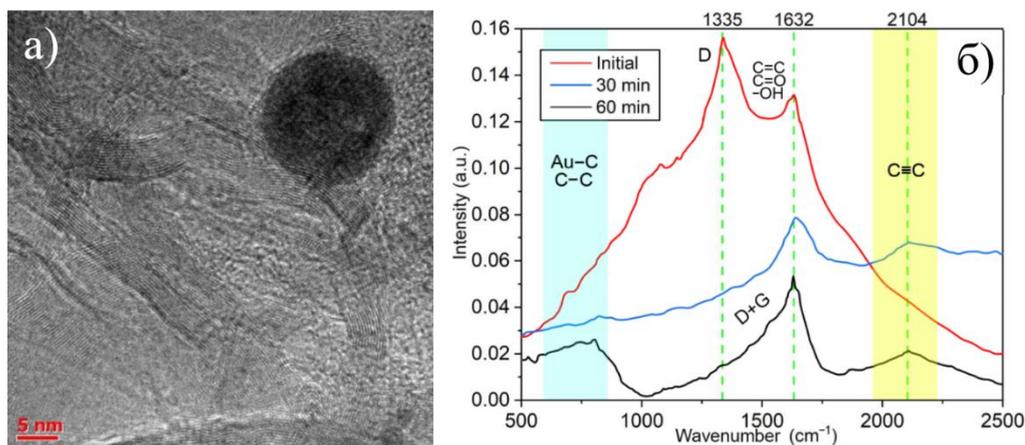


Рис. 1. Изображение карбина с золотыми наночастицами и спектры комбинационного рассеяния света многоэлементного раствора, полученные на разных этапах лазерной обработки.

На данном рисунке показаны спектры комбинационного рассеяния света многоэлементного раствора, полученные на разных этапах лазерной обработки: красная кривая соответствует исходному раствору; синяя и черная линии демонстрируют эволюцию исследуемого раствора после 30 и 60 минут воздействия лазера соответственно.

В заключение следует отметить, что лазерный синтез металлоуглеродных комплексов открывает новые перспективы в материаловедении, предоставляя инновационные возможности для создания новых материалов с уникальными свойствами, применимых в различных областях науки и техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.F. Lv, X.G. Yang, C.X. Shan, One-dimensional sp carbon: Synthesis, properties, and modifications // Chinese Physics B, 2022, v. 31, № 12, p. 128103.
2. A. Kucherik et al. Laser-induced synthesis of metal-carbon materials for implementing surface-enhanced Raman scattering // Optics and spectroscopy, 2016, v. 121, p. 263-270.

## FORMATION OF LINEAR CARBON CHAINS IN AQUEOUS SOLUTIONS OF HYDROGEN TETRACHLORATE (HAUCL<sub>4</sub>) UNDER LASER IRRADIATION

V.D. Samyshkin<sup>1</sup>, A.S. Abramov<sup>1</sup>, N.A. Halimov<sup>1</sup>, S.P. Eyum Essaka<sup>1</sup>, D.A. Bodunov<sup>1</sup>,  
A.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, A.O. Kucherik<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs  
(600000, Vladimir, Gorkiy str., 67)  
e-mail: abramov.andrey.1997@gmail.com

An experimental method has been developed for the synthesis of thin metal-carbon films consisting of linear sp-carbon chains stabilized by gold nanoparticles attached to their edges.

**Keywords:** linear carbon chains, carbyne, gold nanoparticles, nanoelectronics.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ТЕПЛОВОГО ДИСБАЛАНСА НА ДИНАМИКУ МЕДЛЕННЫХ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В МАГНИТНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПЛАЗМЕ

Д.В. Агапова<sup>1,2</sup>, Д.И. Завершинский<sup>1,2</sup>, Н.Е. Молевич<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: agapovadaria2019@gmail.com*

В работе анализируется влияние эффекта теплопроводности, процессов нагрева и радиационного охлаждения на магнитоакустические волны (МА), распространяющиеся в солнечной короне. С помощью дисперсионного соотношения для МА волн, полученного в приближении магнитного слоя, показано, что геометрическая дисперсия и дисперсия, обусловленная нагревом и охлаждением приводят к изменению длинноволнового предела, модифицируя выражение адиабатической трубочной скорости. Коротковолновым пределом для фазовой скорости медленных волн становится изотермическая звуковая скорость, что связано с влиянием теплопроводности.

**Ключевые слова:** физика плазмы, тепловой дисбаланс, теплопроводность, магнитоакустические волны.

Понимание физических процессов, происходящих в атмосфере Солнца, является ключевым элементом солнечной физики. Особое внимание уделяется изучению взаимосвязи магнитоакустических (МА) волн с теплопроводностью, нагревом и радиационным охлаждением, позволяющее на основе данных волн проводить диагностику корональной плазмы. Радиационное охлаждение короны напрямую зависит от плотности и температуры плазмы. В то же время, механизмы нагрева короны до сих пор остаются предметом активных исследований и часто моделируются как функция параметров плазмы. В однородной плазме в стационарных условиях нагрев и охлаждение уравнивают друг друга. Однако в случае возмущения стационарного состояния зависимость мощности нагрева и охлаждения от термодинамических параметров плазмы может привести к дисбалансу между этими процессами. Этот дисбаланс, известный как тепловой дисбаланс, может привести к преобладанию либо нагрева, либо охлаждения в возмущении. Возникающая в результате этого дисбаланса положительная или отрицательная обратная связь между возмущениями и окружающей средой может привести к усилению или затуханию МА волн, а также к изменению их фазовой скорости, которые могут быть использованы для диагностики плазмы.

Исследование совместного воздействия теплопроводности и теплового дисбаланса на медленные МА волны проводилось с использованием предположения о сильном магнитном структурировании. В результате были получены дисперсионные соотношения для изгибных и осесимметричных волн, распространяющихся в плазменном слое.

Численное решение уравнений для параметров солнечной короны показало, что фазовая скорость медленных МА волн подвержена влиянию двух видов дисперсии: геометрической дисперсии, обусловленной конечной шириной плазменного слоя, и дисперсии, связанной с неадиабатическими процессами. Основное влияние теплового дисбаланса проявляется в длинноволновой области спектра, где длинноволновым пределом является не классическое выражение для адиабатической трубчатой скорости, а модифицированное выражение, которое учитывает воздействие мощностей нагрева и охлаждения плазмы. В коротковолновой области фазовая скорость медленных МА-волн определяется только теплопроводностью, и изотермическая звуковая скорость становится коротковолновым пределом фазовой скорости медленных волн.

В данной работе были изучены механизмы нагрева, которые предполагают затухание всех мод сжатия. При учёте теплопроводности как неадиабатического процесса зависимость декремента медленных волн от волнового числа изменяется: декремент будет увеличиваться до определённого волнового числа из-за теплового дисбаланса, после чего продолжит расти из-за теплопроводности. Зависимость инкремента/декремента быстрых МА волн становится монотонной, и при достижении определённого значения она больше не стремится к нулю в высокочастотном пределе, как это было бы при учёте только теплового дисбаланса, и увеличивается. Таким образом, учёт теплопроводности при исследовании волн в термически активном магнитном слое существенно влияет на затухание и фазовую скорость медленных волн в высокочастотном пределе.

Работа частично поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FSSS-2023-0009, FMR-2024-0017).

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMAL MISBALANCE ON THE DYNAMICS OF SLOW MAGNETOACOUSTIC WAVES PROPAGATING IN A MAGNETICALLY STRUCTURED PLASMA**

**D.V. Agapova<sup>1,2</sup>, D.I. Zavershinskii<sup>1,2</sup>, N.E. Molevich<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: agapovadaria2019@gmail.com*

In this paper, we analyze the influence of the effect of thermal conductivity, heating, and radiative cooling on magnetoacoustic (MA) waves propagating in the solar corona. Using the dispersion relation for MA waves obtained in the magnetic slab approximation, it is shown that geometric dispersion and dispersion due to heating and cooling lead to a change in the long-wavelength limit, modifying the adiabatic tube speed expression. The short-wavelength limit for the phase speed of slow waves becomes the isothermal sound speed, which is due to the influence of thermal conduction.

**Keywords:** plasma physics, thermal misbalance, thermal conductivity, magnetoacoustic waves.

## МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ N-ПАУ В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ

А.В. Асташова<sup>1,2</sup>, М.М. Евсеев<sup>1</sup>, В.Н. Азязов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: avastas2345@gmail.com

В данной работе рассматривались реакции нарастания молекул N-ПАУ из цианометильных радикалов  $CH_2CN$ . Для этого были получены оптимизированные геометрии реагентов, продуктов и переходных состояний и колебательные частоты на уровне теории функционала плотности  $wB97X-D/cc-pVTZ$  и относительные энергии на уровне теории  $QCISD(T)/cc-pVTZ$ .

**Ключевые слова:** астрохимия, ацетонитрил, пиримидин, пиридазин.

Обнаружение молекулы бензонитрила  $C_6H_5CN$  в молекулярном облаке ТМС-1 [1] свидетельствует о том, что циклические вещества, такие как ПАУ и N-ПАУ, могут образовываться в межзвездной среде из более мелких молекул, например, молекулы ацетонитрила ( $CH_3CN$ ).

Целью нашей работы было рассмотрение радикала ацетонитрила  $CH_2CN$  и пути роста из данной молекул азот-замещенных ПАУ в условиях глубокого космоса. В качестве опоры в построении теории были рассмотрены исследования рекомбинации пропаргильных радикалов  $C_3H_3+C_3H_3$ , ведущую к нарастанию молекулы  $C_6H_6$  [62]. На рис. 1 представлены 3 способа взаимодействия радикалов  $CH_2CN$  в зависимости от симметрии подлета одного радикала к другому и от локализации электрона на внешней электронной оболочке. Один из результатов таких взаимодействий – образование двух из трех известных диазинов: пиридазина VII\_1 и пиримидина VII\_2. На уровне метода  $wB97X-D/cc-pVTZ$  были проведены оптимизация, расчеты колебательных частот, энергий нулевых колебаний и электронные энергии. Дальнейшее уточнение энергий велось на уровне  $QCISD(T)/cc-pVTZ$ . На рис. 1 показана ППЭ, на которой выдвинуты предположительно энергетически более выгодные пути синтеза пиримидина и пиридазина на поверхности  $CH_2CN+CH_2CN$ . Исходя из анализа относительных потенциальных энергий и высот барьеров можно определить, что наиболее выгодный с точки зрения энергии путь  $R-II_2-VIII_2-IX_3-VII_1$  образования пиридазина.

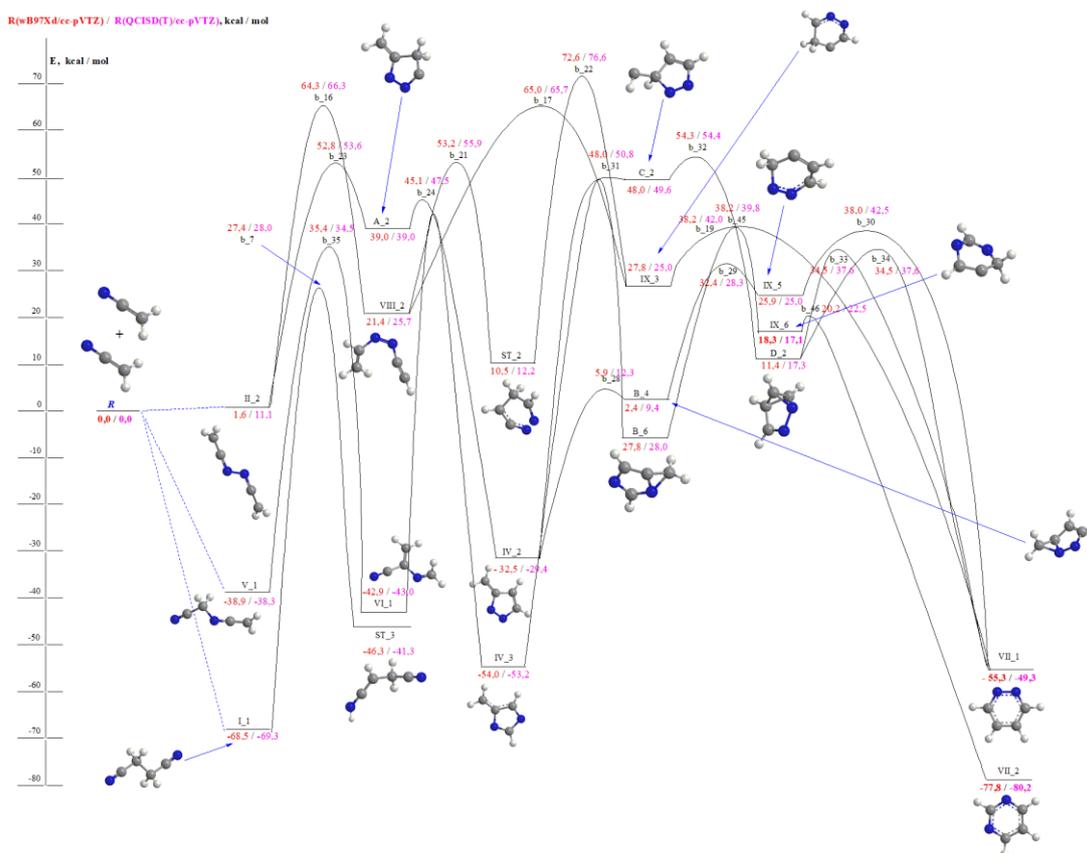


Рис. 1. ППЭ  $CH_2CN + CH_2CN$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B.A. McGuire, A.M. Burkhardt et al, Detection of the aromatic molecule benzonitrile ( $C_6H_5CN$ ) in the interstellar medium. // Science, 2018, v. 359, p. 202-205.
2. J.A. Miller, S.J. Klippenstein, The Recombination of Propargyl Radicals and Other Reactions on a  $C_6H_6$  Potential // J. Phys. Chem. A, 2003, v. 107, p. 7783-7799.

## MECHANISMS OF N-PAH FORMATION IN THE INTERSTELLAR MEDIUM

A.V. Astashova<sup>1,2</sup>, M.M. Evseev<sup>1</sup>, V.N. Azyazov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: avastas2345@gmail.com

The present study examines the chain propagation reactions of N-PAHs from cyanomethyl radicals ( $CH_2CN$ ). Optimized geometries of reactants, products, and transition states, as well as vibrational frequencies, were obtained using density functional theory (wB97X-D/cc-pVTZ). Relative energies were calculated at the QCISD(T)/cc-pVTZ level of theory.

**Keywords:** astrochemistry, acetonitrile, pyrimidine, pyridazine.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ AU-AG ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

Д.А.Бодунов<sup>1</sup>, А.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.С.Абрамов<sup>1</sup>, В.Д. Самышкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Владимирский государственный университет им. А.Г. И Н.Г. Столетовых  
(600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

В данной работе проведено исследование, в котором изучалось изменение спектров оптического поглощения при варьировании пропорций наночастиц благородных металлов в коллоидных растворах, полученных методом лазерной абляции в жидкости. Используя метод лазерного синтеза, были получены гибридные коллоидные системы с различным соотношением наночастиц золота и серебра, что позволило выявить зависимость, при которой спектр поглощения света сдвигался ввиду изменения соотношения объёмов [1].

**Ключевые слова:** биметаллы, наночастицы, коллоидные системы, спектр поглощения, лазерная фрагментация.

Для проведения эксперимента были созданы коллоидные системы на основе дистиллированной воды с различным содержанием наночастиц золота и серебра, как показано на рисунке 1б. Эти образцы помещали в кварцевую кювету размером 10×10×45 мм. Наносекундный лазерный луч генерировался лазерной системой Nd:YAG с длиной волны 532 нм. Длительность импульсов составляла 1 нс. Частоту следования импульсов установили на уровне 80 кГц [2].

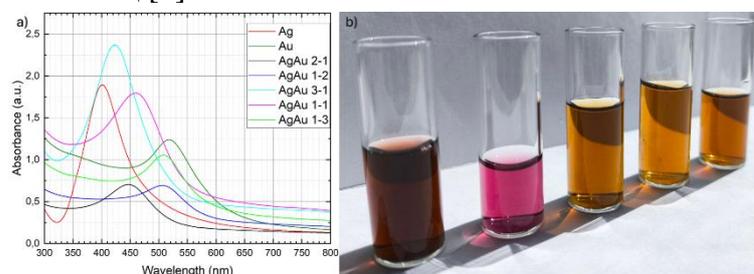


Рис. 1. а) Спектры поглощения коллоидных систем при разной концентрации Au и Ag; б) изменение цвета коллоидной системы в зависимости от концентрации Au и Ag

В качестве результатов представлена зависимость длины волны падающего светового излучения (нм) от интенсивности (у.е.) на рисунке 1а. В зависимости от пропорций Au (~530 нм) и Ag (~400 нм) спектр поглощения сдвигался в сторону 400 нм в случаях, когда содержание частиц серебра преобладало; в случаях преобладания золотых наночастиц можно наблюдать сдвиг в сторону 530 нм [3]. На рисунке 2 продемонстрирован результат проведённого исследования, в котором химическая стабильность данных биметаллических систем подтверждается спектрами оптического поглощения, полученных спустя 7 суток.

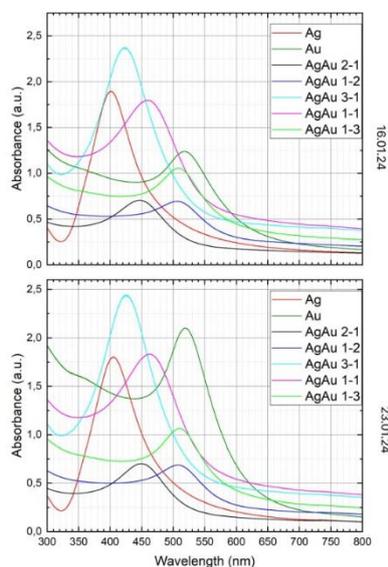


Рис. 2. Исследование химической стабильности коллоидных систем с содержанием биметаллических наночастиц путём повторного измерения длин волн поглощения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Lasemi, G. Rupprechter, Chemical and Laser Ablation Synthesis of Monometallic and Bimetallic Ni-Based Nanoparticles. // *Catalysts* 2020, v.10, p.1453
2. Joseph Lik Hang Chau, Chun-Yen Chen, Chih-Chao Yang, Facile synthesis of bimetallic nanoparticles by femtosecond laser irradiation method. // *Arabian Journal of Chemistry*, 2017, v. 10, № 1, p. S1395-S1401
3. Г. Н. Макаров, Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии. // *УФН*, 2013, v. 183, № 7, p. 673-718.

## PREPARATION OF AU-AG HYBRID NANOPARTICLES BY LASER FRAGMENTATION OF COLLOIDAL SYSTEMS

D.A. Bodunov<sup>1</sup>, A.A Kuznetsov<sup>1</sup>, A.S. Abramov<sup>1</sup>, V.D. Samyshkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Vladimir state university named after A.G. and N.G. Stoletov. A.G. and N.G. Stoletovs  
(87 Gorkogo St., Vladimir, Russia, 600000)*

In this work, a study was carried out to investigate the change in the optical absorption spectra when varying the proportions of noble metal nanoparticles in colloidal solutions obtained by laser ablation in liquid. Using the method of laser synthesis, hybrid colloidal systems with different ratios of gold and silver nanoparticles were obtained, which allowed us to reveal the dependence at which the light absorption spectrum shifted due to changes in the volume ratio.

**Keywords:** bimetal, nanoparticles, colloidal systems, absorption spectrum, laser fragmentation.

## ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С НАНОДИСПЕРСНЫМИ АДСОРБЕНТАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕД С ИЗВЕСТНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНОРАСТВОРИМОГО АНАЛИТА

А.С. Брыксин<sup>1</sup>, И.А. Платонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: 79376442669@yandex.ru*

Повышение точности аналитических измерений, в условиях растущих требований к аналитическому контролю различных объектов, становится все более актуальной задачей. Это обусловлено рядом факторов, таких как усложнение технологических процессов, а также ужесточение экологических стандартов. Для получения достоверных результатов анализа необходимо использовать современные способы приготовления стандартных образцов. В работе представлены результаты исследования монолитных хромато-десорбционных систем, с использованием которых представляется возможным получать растворы органических сред с известным содержанием целевого вещества статическим методом.

**Ключевые слова:** стандартные образцы, статические методы, монолитные хромато-десорбционные системы.

Сегодня актуальной задачей является создание газовых и жидких сред известного состава в условиях повышенных значений давления и температуры. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых инструментальных подходов и материалов, включая полимерные композиционные материалы, позволяющих создавать газообразные и жидкие смеси с известным содержанием целевых компонентов в экстремальных условиях [1,2].

Целью данной работы является изучение возможности получения постоянных концентраций органорастворимых аналитов в органических средах в процессе эксплуатации монолитных хромато-десорбционных систем (МХДС) при различных температурных и барометрических условиях в статическом режиме экстракции.

В качестве материала матрицы использовали двухкомпонентную эпоксидную смолу, в качестве аналитов использовали органические кислоты (тетра-, пента- и гексадекановая кислоты), в качестве адсорбента использовали нанодисперсный диоксид кремния.

Изготовленные образцы представляют собой полимерные композиционные материалы, состоящие из полимерной монолитной матрицы, в которых аналиты, предварительно нанесенные на нанодисперсный адсорбент, равномерно распределены в объеме изделия.

Для оценки возможности применения изготовленного материала в качестве матрицы для создания постоянных концентраций аналита было проведено десять циклов экстракции в статическом режиме, которые заключались в помещении исследуемых

МХДС на 24 часа в *n*-октан в объеме 100 см<sup>3</sup> (с обновлением *n*-октана после каждого погружения) при температурах 25, 50 и 80°C и давлении 17-18 МПа.

Анализ полученных экстрактов позволяет заключить, что со второго погружения МХДС в экстракционную среду для всех исследуемых аналитов наблюдается постоянство получаемых концентраций в экстрактах с погрешностью, не превышающей 10%. Повышение температуры статической экстракции приводит к увеличению органорастворимых аналитов в растворе *n*-октана.

В результате проведенного эксперимента был сделан вывод о том, что использование МХДС, состоящих из эпоксидной смолы и нанодисперсного адсорбента с нанесенными аналитами, позволяют получать растворы *n*-октана с известным содержанием органических кислот в режиме статической экстракции при 25, 50 и 80°C и давлении 17-18 МПа.

Изготовленные системы позволяют исследователям создавать эталонные образцы для правильного, точного и прецизионного количественного анализа широкого спектра веществ в системах, условия эксплуатации которых близки к экстремальным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.А. Платонов, О.В. Родинков, А.Р. Горбачева, Л.Н. Москвин, И.Н. Колесниченко, Методы и средства приготовления стандартных газовых смесей. // Журнал аналитической химии, 2018, т.73, № 2, с. 83-105.
2. И.А. Платонов, А.С. Брыксин, И.М. Муханова, И.Н. Колесниченко Сравнительная оценка работы монолитных хромато-десорбционных систем в статическом и динамическом режимах экстракции. // Сорбционные и хроматографические процессы, 2023, т.23, № 4, с. 504-513.

## CHROMATO-DESORPTION SYSTEMS WITH NANODISPERSED ADSORBENTS FOR CREATING ORGANIC MEDIA WITH A KNOWN CONTENT OF ORGANICALLY SOLUBLE ANALYTE

**A.S. Bryksin, I.A. Platonov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: 79376442669@yandex.ru*

Increasing the accuracy of analytical measurements, in the context of growing requirements for analytical control objects, is becoming increasingly relevant in various aspects. This is due to a number of factors, such as the complexity of technological processes, as well as tightening environmental standards. To obtain reliable results of analysis it is necessary to use modern methods of preparation of standard samples. The paper presents the results of the study of monolithic chromato-desorption systems, using which it is possible to obtain solutions of organic media with a known content of the target substance by the static method.

**Keywords:** standard samples, static methods, monolithic chromato-desorption systems.

# УКОРОЧЕНИЕ УФ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО K<sub>r</sub>F ЛАЗЕРА В СУБНАНОСЕКУНДНЫЙ И ПИКОСЕКУНДНЫЙ ДИАПАЗОН ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ЗА СЧЕТ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ.

П.В. Велиев<sup>1,2</sup>, В. Д. Зворыкин<sup>1,2</sup>, Н.Н. Устиновский<sup>1</sup>, А.В.<sup>1</sup> Шутов

<sup>1</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН  
(119991, г. Москва, Ленинский пр-т., 53)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(115409, г. Москва, Каширское ш., 31)  
e-mail: p.veliev@lebedev.ru

Исследовано временное сжатие импульсов электроразрядного K<sub>r</sub>F-лазера длительностью ~ 20 нс в пикосекундные и субнаносекундные импульсы при нелинейном взаимодействии УФ излучения со сжатыми газами SF<sub>6</sub> и CH<sub>4</sub>. Для длины волны лазерного излучения  $\lambda = 248$  нм эти газы являются перспективными средами для вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ), вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) и четырехволнового смещения (ЧВС) [1–4].

**Ключевые слова:** нелинейное взаимодействие, вынужденное комбинационное рассеяние, четырехволновое смещение.

Узкополосное излучение с энергией импульса  $\leq 200$  мДж, расходимостью пучка  $\sim 2 \cdot 10^{-4}$  рад и спектральной шириной  $\Delta\nu \sim 0,2$  см<sup>-1</sup> было получено с помощью двухкамерного газоразрядного лазера Lambda Physik EMG TMSC. Одна из камер которого генерирует узкополосное излучение, инжектируемое во вторую камеру - усилитель мощности, оснащенный неустойчивым резонатором. Выходное излучение фокусировалось различными линзами с фокусными расстояниями 0,5, 1 и 2 м в газовые ячейки высокого давления. Как строго обратно отраженное излучение с сопряженным волновым фронтом, так и рассеянное вперед, излучение наблюдались в SF<sub>6</sub> при давлении 10 атм и CH<sub>4</sub> при давлении 50 атм. Интегральные по времени спектры, формы импульсов для различных спектральных компонент с временным разрешением ~1 нс и отраженная энергия измерялись спектрометром ASP 150 (ООО Авеста-Проект), фотодиодами Thorlabs DET10A с осциллографом TDS 3054C 500 МГц (Tectonics), совмещенным с монохроматором, и калориметром соответственно. Для измерения более коротких импульсов излучения использовалась стрик-камера PS-1/S1(ИОФАН).

В спектрах были идентифицированы спектральные компоненты ВКР и ВРМБ. Эффективность преобразования энергии излучения накачки в отраженное излучение составила 14% в обоих газах при входной энергии 100 мДж. Энергетические пороги обратного ВРМБ- и ВКР-отражения в SF<sub>6</sub> составили около 10 и 30 мДж соответственно. Отраженные импульсы были укорочены с помощью ВРМБ до ~4 нс, а с помощью ВКР до 30÷60 пс. В CH<sub>4</sub> 1-я стоксова компонента генерировалась в ходе прямого и обратного ВКР-рассеяния, рассеянные импульсы укорачивались до ~ 3÷4 нс.

Для дальнейшего сокращения длительности УФ импульсов предполагается сокращение импульсов накачки до  $\sim 3$  нс путем их вырезания из исходных 20-нс лазерных импульсов с помощью ячейки Поக்கельса и последующего усиления в KrF лазере LPX 200 (Lambda Physik). Усиленные импульсы в свою очередь позволят получить большее сокращение при нелинейном взаимодействии с ВКР и ВРМБ активными средами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Kuwahara, E Takahashi, Y. Matsumoto, S. Kato, Y. Owadano, Short-pulse generation by saturated KrF laser amplification of a steep Stokes pulse produced by two-step stimulated Brillouin scattering. // J. Opt. Soc. Am. B, 2000, v. 17, p. 1943-1947.
2. E Takahashi, K. Kuwahara, Y. Matsumoto, I. Okuda, I. Matsushima, S. Kato, Y. Owadano, High-intensity short KrF laser-pulse generation by saturated amplification of truncated leading-edge pulse. // Opt. Commun., 2000, v. 185, p. 431-437.
3. E Takahashi, L.L Losev, Matsumoto, Y. Matsumoto, I. Okuda, I. Matsushima, S. Kato, H. Nakamura, K. Kuwahara, Y. Owadano, KrF laser picosecond pulse source by stimulated scattering processes. // Opt. Commun., 2003, v. 215, p. 163-167.
4. V.D. Zvorykin, G.E. Metreveli, I.V. Smetanin, A.V. Shutov, N.N. Ustinovskii, P.V. Veliev, Nonlinear Scattering of 248 nm Wavelength Light in High-Pressure SF<sub>6</sub> and CH<sub>4</sub> Gases for the Temporal Compression of a 20 ns KrF Laser Pulse. // Photonics, 2024, v. 11, p. 39.

## SHORTENING OF UV PULSES OF ELECTRIC DISCHARGE KrF LASER TO SUBNANOSECOND AND PICOSECOND DURATION RANGE DUE TO NONLINEAR OPTICAL TRANSFORMATIONS IN GASEOUS MEDIA.

Veliev P. V.<sup>1,2</sup>, Zvorykin V. D.<sup>1,2</sup>, Ustinovskii N. N.<sup>1</sup>, Shutov A. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute*

*(Leninsky Prospect, 53, Moscow, Russia, 119991)*

<sup>2</sup>*National Research Nuclear University "MEPhI"*

*(Kashirskoye Shosse 31, Moscow, Russia, 115409)*

*e-mail: p.veliev@lebedev.ru*

The temporal compression of  $\sim 20$  ns KrF electric-discharge laser pulses into picosecond and subnanosecond pulses was investigated in the nonlinear interaction of UV radiation with compressed SF<sub>6</sub> and CH<sub>4</sub> gases. For the laser radiation wavelength  $\lambda = 248$  nm, these gases are promising media for stimulated Brillouin scattering (SBS), stimulated Raman scattering (SRS) and four-wave mixing (FWM). [1–4].

**Keywords:** nonlinear interaction, stimulated Brillouin scattering, stimulated Raman scattering, four-wave mixing.

## УЛУЧШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ЗА СЧЕТ ПОВЕРХНОСТНО- КОНЦЕНТРИРОВАННОГО МАГНИТНОГО И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОКСИДА ГРАФЕНА

Р.М. Гатауллина<sup>1</sup>, А.Н. Солодов<sup>1,2</sup>, В.Г. Никифоров<sup>1</sup>, Р.Р. Амиров<sup>2</sup>,  
А.Г. Шмелев<sup>1</sup>, Д.К. Жарков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН,  
(420029, г. Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7)

<sup>2</sup>Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казанский федеральный университет,  
(420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 29/1)  
e-mail: ramigataullina1999@gmail.com

Получен модифицированный оксид графена (MLGO) путем последовательного связывания поверхности оксида графена (GO) с магнитными ( $Fe_3O_4$ , продукт – MGO) и люминесцентными ( $NaYF_4:Yb/Er$ , продукт – MLGO) наночастицами. Показано, что MLGO позволяет существенно повысить износостойкость эпоксидных композитов. На основе MLGO с содержанием 0,03 мас. % были изготовлены эпоксидные нанокompозиты EP/MLGO, отвержденные в магнитном поле и без него. Образец EP/MLGO, в котором нанонаполнитель сконцентрирован на поверхности образца под действием магнитного поля, показал значительное снижение скорости износа на 87% по сравнению с чистым эпоксидным полимером и на 17% по сравнению с равномерным распределением MLGO в эпоксидной матрице. Присутствие MLGO в структуре композита повышает жесткость и сопротивление образованию трещин. Таким образом, MLGO является универсальным нанонаполнителем для широкого спектра применений в современных материалах, который не только улучшает механические свойства и износостойкость композитов, но и придает им дополнительные функции, такие как магнитная чувствительность и люминесценция. Отметим, что магнитная чувствительность позволяет управлять распределением наполнителя в объеме материала, а люминесцентные свойства, могут быть использованы для визуализации и контроля состояния материала.

**Ключевые слова:** оксид графена, функционально-градиентные нанокompозиты, магнитные наночастицы, люминесцентные наночастицы, износостойкие свойства.

В настоящее время одним из наиболее удобных и эффективных способов улучшения комплексных характеристик эпоксидных композитов является включение в матрицу смолы 1D и 2D углеродных наноматериалов. Однако использование больших концентраций углеродных наноматериалов приводит к ухудшению прочностных свойств материала. Концентрация нанонаполнителя вблизи поверхности, где износ наиболее вероятен, позволяет решить эту проблему, обеспечивая высокое содержание функционального нанонаполнителя на рабочей поверхности без ухудшения прочностных свойств всего материала, а также позволяет снизить межфазное напряжение между полимерной структурой и подложкой, предотвращая их расслаивание. Применение магнитного поля позволяет эффективно контролировать

распределение нанонаполнителя в материале. Использование оксида графена (GO) с магнитными наночастицами является эффективным подходом для улучшения трибологических характеристик и износостойкости эпоксидных композитов.

В этой работе предложен простой способ функционализации GO магнитными ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , продукт – MGO) и люминесцентными ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb/Er}$ , продукт – MLGO) наночастицами. Восприимчивость к магнитному полю и наличие апконверсионной люминесценции позволяет контролировать распределение двумерного нанонаполнителя и отслеживать профили распределения хлопьев MLGO в объеме материала. Результаты исследования (рисунок 1) указывают на связывание  $\text{NaYF}_4:\text{Yb/Er}$  с поверхностью хлопьев MGO, посредством нековалентного взаимодействия алкильных групп защитных олеат-ионов на поверхности  $\text{NaYF}_4:\text{Yb/Er}$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . На основе эпоксидного олигомера NPEL-128 и гибридного нанонаполнителя MLGO были получены образцы EP/MLGO, отвержденные в магнитном поле и без него. Для полученных образцов была исследована смачиваемость поверхности. Самые высокие значения угла смачивания были достигнуты для образцов, отвержденных в магнитном поле, что означает, что более гидрофобные свойства образцу придают хлопья MLGO, собранные вблизи его поверхности. Последнее также является причиной самой низкой скорости износа и коэффициента трения, проявляемых этими образцами по сравнению с образцами, отвержденными без применения магнитного поля. Тем самым, нанонаполнитель MLGO является универсальным и ценным дополнением для материалов, где требуется улучшенные свойства материала и многофункциональность.

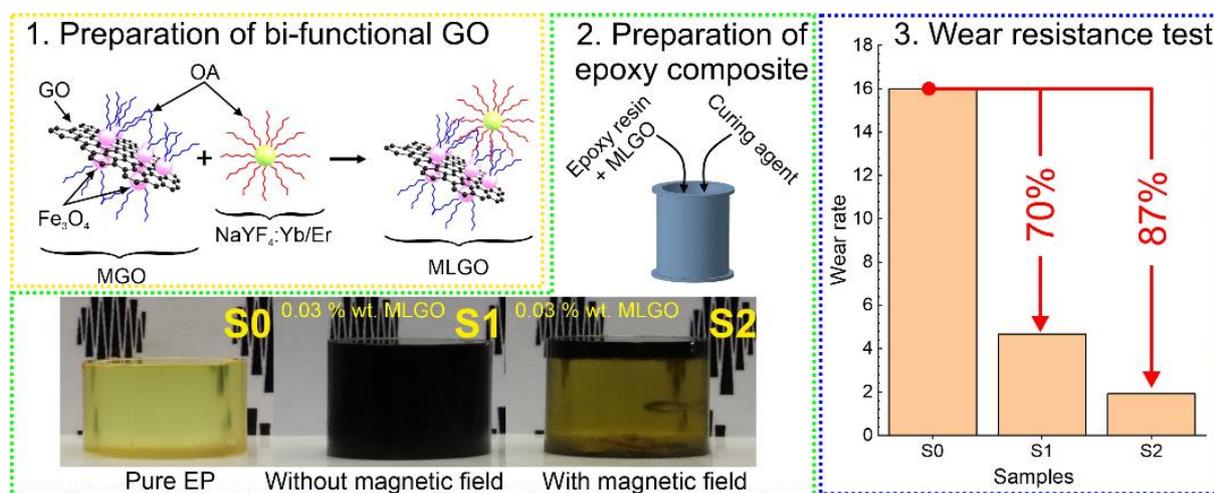


Рис. 1. Этапы исследования: 1. Схема получения мультифункционального наполнителя на основе оксида графена, магнитных и ап-конверсионных наночастиц. 2. Фотографии эпоксидных композитов. 3. Скорость износа для полученных эпоксидных композитов при частоте 5 Гц и нагрузке 10 Н.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-42-10012, <https://rscf.ru/project/23-42-10012/>.

Работа выполнена в рамках Соглашения с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2024-624 от 12.07.2024.

## **ENHANCED WEAR RESISTANCE AND MECHANICAL PROPERTIES OF EPOXY NANOCOMPOSITES THROUGH SURFACE-CONCENTRATED MAGNETIC AND LUMINESCENT GRAPHENE OXIDE**

**R.M. Gataullina<sup>1</sup>, A.N. Solodov<sup>1,2</sup>, V.G. Nikiforov<sup>1</sup>, R.R. Amirov<sup>2</sup>,  
A.G. Shmelev<sup>1</sup>, D.K. Zharkov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Zavoisky Physical-Technical Institute, FRC Kazan Scientific Center of RAS,  
(Siberian tract, 10/7, Kazan, Russia, 420029,)*

<sup>2</sup> *A.M. Butlerov Chemical Institute, Kazan Federal University,  
(Kremlyevskaya str., 18, Kazan, Russia, 420008)  
e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

In this work, modified graphene oxide (MLGO) was obtained by sequentially binding the surface of graphene oxide (GO) with magnetic ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , product – MGO) and luminescent ( $\text{NaYF}_4:\text{Yb/Er}$ , product – MLGO) nanoparticles. Due to its unique composition, MLGO demonstrates properties that make it a promising material for improving the characteristics of epoxy composites. Based on MLGO with a content of 0.03 mass. %, epoxy nanocomposites EP/MLGO were manufactured, cured in and without a magnetic field. The EP/MLGO sample, in which the nanofiller was concentrated on the sample surface under the influence of a magnetic field, showed a significant reduction in wear rate by 87% compared to pure epoxy polymer and by 17% compared to uniform distribution of MLGO in the epoxy matrix. The improvement is attributed to the increased rigidity and crack resistance due to the MLGO structure. Uniform distribution of MLGO in the epoxy matrix leads to the formation of cracks during wear, while the concentration of MLGO on the surface prevents cracks and significantly improves wear resistance. Thus, MLGO is a versatile nanofiller for a wide range of applications in modern materials, which not only improves the mechanical properties and wear resistance of composites, but also imparts additional functions to them, such as magnetic sensitivity and luminescence. It should be noted that magnetic sensitivity allows controlling the distribution of filler in the volume of the material, and luminescent properties can be used to visualize and control the state of the material.

**Keywords:** graphene oxide, functionally graded nanocomposites, magnetic nanoparticles, luminescent nanoparticles, wear resistant properties.

## О ВЛИЯНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БИФОТОННЫХ СОСТОЯНИЙ НА ЭФФЕКТЫ АНТИГРУППИРОВКИ И КВАНТОВОЙ ЗАПУТАННОСТИ

М.С. Гусельников<sup>1</sup>, А.А. Гайдаш<sup>1</sup>, А.Д. Киселев<sup>1</sup>, Г.П. Мирошниченко<sup>1</sup>,  
А.А. Калинин<sup>2</sup>, А.В. Козубов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

(197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет

(198504, г. Санкт-Петербург, ул. Ульяновская, 5)

e-mail: msguselnikov@itmo.ru

В настоящее время активно развивается область фундаментальных и прикладных исследований квантовых гироскопов. Одной из актуальных задач в данной области является поиск корреляций между эффектом антигруппировки, наблюдаемым в экспериментах с гироскопами, и степенью квантовой запутанности используемых состояний. В настоящей работе для бифотонного состояния общего вида определена прямая функциональная связь между вероятностью антигруппировки и числом Шмидта, характеризующим степень квантовой запутанности.

**Ключевые слова:** бифотонные состояния, антигруппировка, квантовая запутанность

Квантовые интерферометры благодаря своим уникальным характеристикам используются как в прикладных целях, например, для прецизионного позиционирования и навигации, так и для решения научных задач. Множество последних публикаций по квантовой интерферометрии посвящено исследованию влияния релятивистских эффектов на степень квантовой запутанности бозонных состояний [1]. Для этих целей используют различные двухфотонные модификации квантового интерферометра Саньяка и запутанные бифотонные состояния. В таких экспериментах степень запутанности состояния характеризуется по результатам двухфотонной интерференции на основании того, что эффект антигруппировки может наблюдаться только для запутанных состояний [2], обладающих некоторой степенью спектральной асимметрии. Вместе с тем в настоящий момент не существует детального аналитического описания связи между степенью антисимметрии бифотонного состояния, антигруппировкой и квантовой запутанностью. Но без такого описания невозможно однозначно и точно интерпретировать результаты интерференционных экспериментов с бифотонами.

В настоящей работе аналитически показано, что для бифотонного спектра вида

$$\Psi(\omega_1, \omega_2) = N\varphi_1(\omega_1)\varphi_2(\omega_2)\exp\left(-(\omega_1 + \omega_2 - 2\Omega)^2/2\sigma_p^2\right), \quad (0.1)$$

где  $N$  – нормировочная константа,  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – частоты первого и второго фотонов, соответственно,  $2\Omega$  – центральная частота излучения накачки,  $\sigma_p$  – его полуширина, вероятность антигруппировки  $P_2$  функционально связана с числом Шмидта  $K$ , которое характеризует степень запутанности квантового состояния, через соотношение

$$P_2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \frac{\hat{B}(\omega_2, \omega_1) \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 d\omega_2 \varphi_1(\omega_1) \varphi_2^*(\omega_1) \varphi_2(\omega_2) \varphi_1^*(\omega_2)}{\hat{B}(\omega_2, \omega_1) \int_{-\infty}^{\infty} d\omega_1 d\omega_2 |\varphi_2(\omega_1)|^2 |\varphi_1(\omega_2)|^2}, \quad (0.2)$$

где оператор В определен как

$$\hat{B}(\omega_2, \omega_1) = \exp \left[ \frac{s_1^2 s_2^2}{2} (K^2 - 1)^{-1/2} \frac{d^2}{d\omega_2^2} \Big|_{\omega_2 = -\omega_1 + 2\Omega} \right]. \quad (0.3)$$

Здесь  $s_1, s_2$  – некоторые параметры, определяемые таким образом, чтобы выполнялись условия ортонормированности мод Шмидта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Государственного задания (Паспорт No 2019-0903)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Cromb, S. Restuccia, G.M. Gibson, M. Toroš, M. J. Padgett, D. Faccio. Mechanical rotation modifies the manifestation of photon entanglement. // Phys. Rev. Research., 2023, v. 5, p. L022005.
2. K. Wang. Quantum theory of two-photon wavepacket interference in a beamsplitter. // J. Phys. B., 2006, v. 39, p. R293.

## INFLUENCE OF BIPHOTON STATES SPECTRAL PROPERTIES ON ANTIBUNCHING AND QUANTUM ENTANGLEMENT EFFECTS

**M.S. Guselnikov<sup>1</sup>, A.A. Gaidash<sup>1</sup>, A.D. Kiselev<sup>1</sup>, G.P. Miroshnichenko<sup>1</sup>, A.A. Kalinichev<sup>2</sup>, A.V. Kozubov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ITMO University*

*(Kronverksky av., 49, St. Petersburg, Russia, 197101)*

<sup>2</sup>*Saint Petersburg State University*

*(Ulianovskaya st. 5, St. Petersburg, Russia, 198504)*

*e-mail: msguselnikov@itmo.ru*

Currently, the area of fundamental and applied investigations of quantum gyroscopes develops rapidly. One of the current problems in this area is the search of correlations between antibunching observed in experiments with gyroscopes and quantum entanglement degree of exploited states. In this paper the straight functional connection between antibunching probability and Schmidt number, which characterizes quantum entanglement degree, is defined for a general form biphoton state.

**Keywords:** biphoton states, antibunching, quantum entanglement

## ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ НЕЙТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ Ar-He ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ГЕНЕРАЦИЮ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ АРГОНА

А.Д.Дворников<sup>1,2</sup>, М.В.Загидуллин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: tolya.dvornikov@mail.ru, zagidullin\_marsel@rambler.ru

Лазер с оптической накачкой инертных газов является перспективным источником мощного лазерного излучения. В работе получена зависимость концентрации метастабильных атомов аргона и средней тепловой мощности от процентного содержания аргона в Ar-He смеси. **Ключевые слова:** Импульсно-периодический газовый разряд, метастабильные атомы, инертные газы.

Для генерации метастабильных атомов (МА) аргона, которые являются активными частицами ЛОНИГ, используется наносекундный импульсно-периодический разряд (НИПР) в смеси Ar-He при атмосферном давлении. Эффективное преобразование излучения накачки в лазерное излучение требует наработки МА аргона  $\sim 10^{13}$  см<sup>-3</sup>. Кинетика Ar-He газоразрядной плазмы в значительной степени зависит от исходного состава Ar-He смеси. В работах [1]-[3] приведены результаты экспериментов и расчетов средней концентрации МА для некоторых составов Ar-He смесей.

Цель данной работы – найти зависимость средней концентрации МА и средней удельной тепловой мощности в плазме при различном составе Ar-He смеси.

Задача решалась численно в пакете COMOLE Multiphysics в рамках нульмерной кинетической модели. Значения констант скоростей реакций электронного удара рассчитывались с помощью уравнения Больцмана в пакете BOLSIG+ [4]. После нахождения периодического решения уравнений рассчитывались распределение во времени всех компонент, характеристик плазмы.

На рисунке 1 представлена зависимость средней во времени концентрации МА аргона от процентного содержания аргона в смеси Ar-He и амплитуды приведенного поля. НИПР создавался импульсами напряжения треугольной формы длительностью 160 нс и частотой 200 кГц. Из графика видно, что максимум средней концентрации МА аргона для каждой амплитуды приведенного поля достигается при некотором

содержании аргона. Для этих же условий на рисунке 2 представлена зависимость средней удельной тепловой мощности, выделяемой в плазме НИПР.

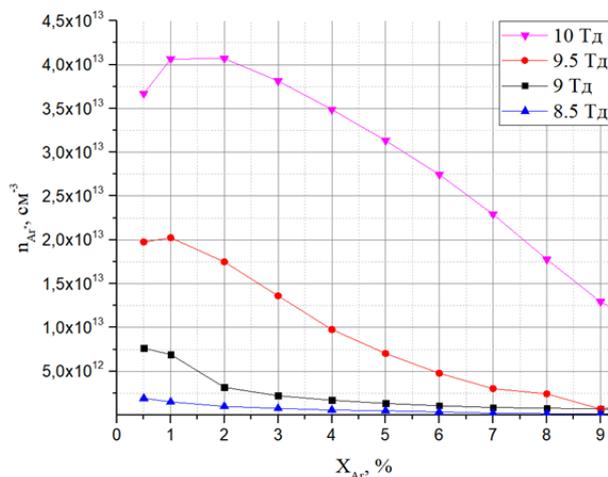


Рис. 1. Зависимость концентрации МА аргона от процентного состава аргона при различных значениях амплитуды приведенного поля

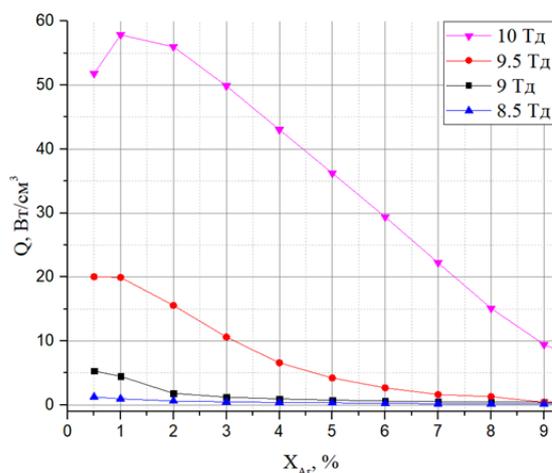


Рис. 2. Зависимость выделяемой тепловой мощности от процентного состава аргона при различных значениях амплитуды приведенного поля

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. A. Mikheyev, Optically pumped rare-gas lasers // Quantum Electronics, 2015, 8, № 45.
2. M. V. Zagidullin, P. A. Mikheyev, Numerical study of a nanosecond repetitively pulsed discharge in an Ar-He mixture at near atmospheric pressure // Physics of Plasmas, 2023, v. 12, №30.
3. J. Han, Demonstration of a diode-pumped metastable Ar laser // Optics Letters, 2013, v. 24, №38.
4. G. J. M. Hagelaar, Pitchford L. C. Solving the Boltzmann equation to obtain electron transport coefficients and rate coefficients for fluid models // Plasma Sources Science and Technology, 2005, v. 4, №14.

## THE EFFECT OF THE CONCENTRATION RATIO OF NEUTRAL AR-HE COMPONENTS OF ATMOSPHERIC PRESSURE DISCHARGE PLASMA ON THE GENERATION OF METASTABLE ARGON ATOMS

Dvornikov A.D.<sup>1,2</sup>, M.V.Zagidullin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: tolya.dvornikov@mail.ru, zagidullin\_marsel@rambler.ru

The laser with optical pumping of inert gases is a promising source of high-power laser radiation. In this work, we obtained the dependence of the concentration of metastable argon atoms and the average thermal power on the percentage of argon in the Ar-He mixture.

**Keywords:** Pulse-periodic gas discharge, metastable atoms, inert gases.

**БРЭГГОВСКАЯ ДИФРАКЦИЯ НА РЕГУЛЯРНЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУРАХ С НАКЛОННЫМИ СТЕНКАМИ В КРИСТАЛЛЕ 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub> ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗОНДИРУЮЩЕГО ПУЧКА ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ****А.В. Дубиков, Д.Е. Бельская, Е.Н. Савченков**

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
(634050, г. Томск, пр. Ленина, 40)  
e-mail: bigtrix@yandex.ru*

Представлены результаты экспериментального исследования брэгговской дифракции света на пространственных гармониках возмущений, создаваемых регулярными доменными структурами (РДС) с наклонными стенками в образцах 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub>, при разных положениях эллиптического зондирующего гауссова пучка вдоль полярной оси.

**Ключевые слова:** регулярные доменные структуры, наклонные доменные стенки, дифракция Брэгга, кристалл 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub>

Особенности дифракции Брэгга на РДС с наклонными стенками в кристалле 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub> при использовании сфокусированного зондирующего гауссова пучка от He-Ne лазера с диаметром перетяжки около 280 мкм изучались в [1]. В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования брэгговской дифракции света на первых трёх пространственных гармониках возмущений необыкновенного показателя преломления, создаваемых РДС с наклонными стенками в образцах 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub>, при разных положениях эллиптического зондирующего гауссова пучка вдоль полярной оси.

На рисунке 1 изображена схема экспериментальной установки. Для создания зондирующего светового пучка эллиптической формы использовалось излучение He-Ne лазера 1 с длиной волны 632.8 нм, апертурой 0,7 мм и мощностью 22,5 мВт, которое преобразовывалось оптической системой. Оптическая система состояла из сферического 2 и цилиндрического 3 коллиматоров, с увеличением системы 1:2,2 по координате  $x$  и 1:4,4 – по координате  $z$ . Далее располагалась цилиндрическая линза 4 с фокусным расстоянием  $f = 95$  мм, позволяющая создать зондирующий гауссов пучок с перетяжкой на входной грани кристалла  $y = 0$ , имеющей размеры 2.2 мм × 25 мкм вдоль осей  $X$  и  $Z$ .

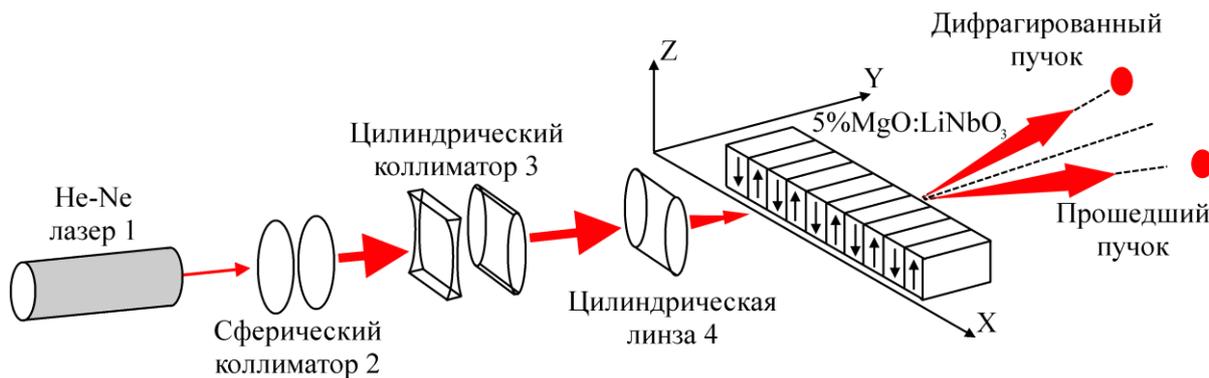
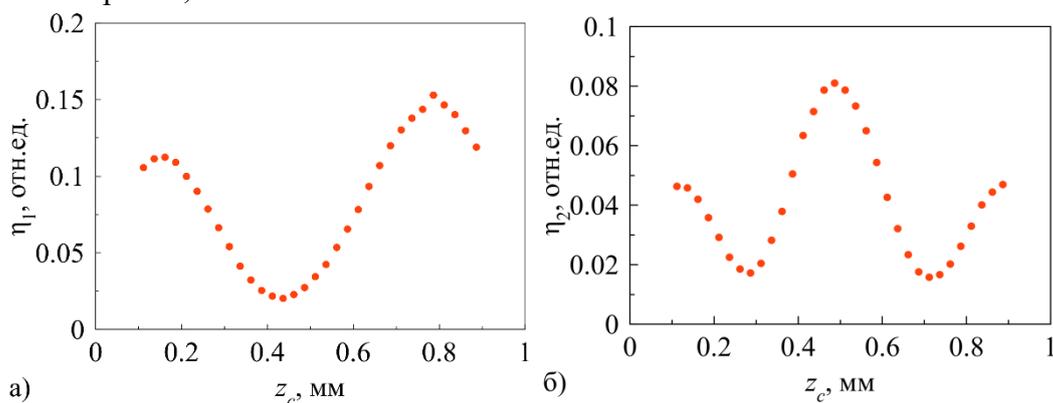


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Кристалл  $5\%MgO:LiNbO_3$  имел размеры  $40 \times 2 \times 1$  мм<sup>3</sup> вдоль осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , соответственно, а сформированная в нем РДС характеризовалась пространственным периодом  $\Lambda_x = 8.79$  мкм с доменными стенками  $Y$  типа, имеющими угол наклона  $\alpha = \pm 0.31^\circ$  к полярной оси. Он размещался на поворотном столике, позволяющем задавать углы Брэгга и проводить измерения эффективности дифракции  $\eta_m$  на возмущениях необыкновенного показателя преломления, соответствующих пространственным гармоникам РДС с номером  $m$ . Перемещение столика вдоль оси  $Z$  механической системой с шагом 25 мкм позволяло получить данные о зависимостях дифракционной эффективности  $\eta_m(z)$  от положения центра зондирующего пучка в кристалле.

Из представленных на рис. 2 результатов измерений видно, что дифракционная эффективность зависит от положения центра зондирующего пучка вдоль полярной оси кристалла. Для первой пространственной гармоники (рис. 2,а) наблюдаются два максимума и один минимум дифракционной эффективности  $\eta_1(z)$ , со значениями  $\sim 0,11$  и  $\sim 0,15$ , при  $z = 0.05$  и  $0.675$  мм соответственно. Распределение  $\eta_2(z)$ , представленное на рис. 2,б, является более сложным, и характеризуется тремя максимумами и двумя минимумами. Еще более сложное распределение, с тремя минимумами для  $\eta_3(z)$ , показано на рис. 2,в.



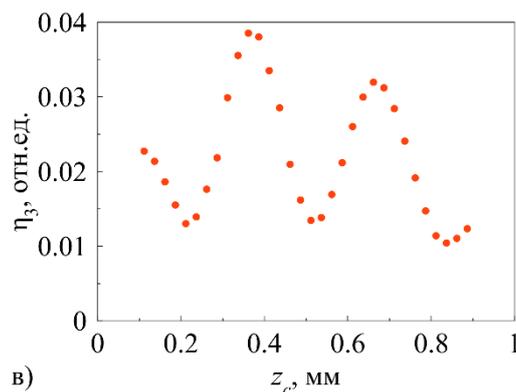


Рис. 2. Зависимости эффективности дифракции на РДС от положения зондирующего пучка по оси Z кристалла 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub>. а), б) и в) соответствуют дифракции Брэгга на 1-й, 2-й и 3-ей пространственных гармониках возмущений необыкновенного показателя преломления

Таким образом, экспериментально установлена сложная структура распределения возмущений необыкновенного показателя преломления, создаваемых РДС с наклонными стенками в кристалле 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е. Н. Савченков, С. М. Шандаров, С. В. Смирнов, А. А. Есин, А. Р. Ахматханов, В. Я. Шур, Письма в ЖЭТФ // 110:3, 2019, 165-169.

### BRAGG DIFFRACTION ON REGULAR DOMAIN STRUCTURES WITH INCLINED WALLS IN 5%MGO:LINBO<sub>3</sub> CRYSTAL USING A PROBE BEAM OF ELLIPTICAL FORM

A.V. Dubikov, D.E. Belskaya, E.N. Savchenkov

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
(634050, Tomsk, Lenina dist. 40)  
e-mail: bigtrix@yandex.ru*

The results of an experimental study of Bragg diffraction of light on spatial harmonics of disturbances created by regular domain structures (RDS) with inclined walls in 5% MgO:LiNbO<sub>3</sub> samples are presented for different positions along the polar axis of the elliptical probing Gaussian beam.

**Keywords:** regular domain structures, inclined domain walls, Bragg diffraction, 5%MgO:LiNbO<sub>3</sub> crystal.

## ОСЕВОЕ НЕПАРАКСИАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПУЧКОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ОБОБЩЕННОЙ ЛИНЗОЙ

О.А. Дюкарева

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: dukarevaola@gmail.com*

В работе рассматривается распределение интенсивности на оптической оси для пучков, сформированных обобщенной линзой со степенной зависимостью от радиуса, при переходе от параксиальной волновой модели к непараксиальной. Показана возможность генерации локальных максимумов интенсивности с нулевой энергией на оси между ними за счет линейного аксикона.

**Ключевые слова:** обобщенная линза, идеальная линза, оптические ловушки, аксикон.

Использование обобщенных линз  $\exp[-i(k\beta r)^Y]$  в оптической микроманипуляции позволяет формировать как обычные трехмерные ловушки высокой интенсивности, так и цепочку оптических ловушек, позволяющих одновременно захватывать частицы на разной дистанции от входной плоскости, что находит широкое применение во многих естественнонаучных областях [1-3].

Одной из особенностей метода дополнения аксиконами  $\cos(ar)$  является несимметричность максимумов интенсивности, являющихся стенками оптической ловушки, относительно изначального фокуса, поскольку к фокусирующему влиянию аксикона добавляется фокусирующее влияние линзы таким образом, что энергии на первый максимум приходится больше.

При параксиальном распространении картина интенсивности на оси, образованная идеальной линзой, совпадает с картиной, образованной параболической линзой. При увеличении числовой апертуры  $NA = \sin(\arctg(R/f))$  сокращается длина оптической ловушки, что может быть частично компенсировано увеличением коэффициента аксиконов  $\alpha$ , поскольку он определяет расстояние между пиками интенсивности.

При приближении модели к непараксиальной наблюдается перераспределение интенсивности между двумя пиками. Квадратичная часть полинома входной функции образована идеальной линзой во избежание aberrаций. В случае, когда  $R = f$ , наблюдается выраженный пик интенсивности вблизи входной плоскости, энергия на второй максимум приходится незначительная. Далее при уменьшении  $f$  энергия, приходящаяся на второй пик, растет, и становится сопоставимой первому при  $R \approx 1,66f$ . При дальнейшем увеличении апертурного числа вся энергия перераспределяется на второй пик, профиль которого стремится к профилю параболической линзы с соответствующими параметрами, поскольку  $f \rightarrow 0$ , что показано на рисунке 1.

Полученные результаты могут быть полезны при непараксиальном оптическом захвате частиц для контроля формирования оптических ловушек.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-79-10007).

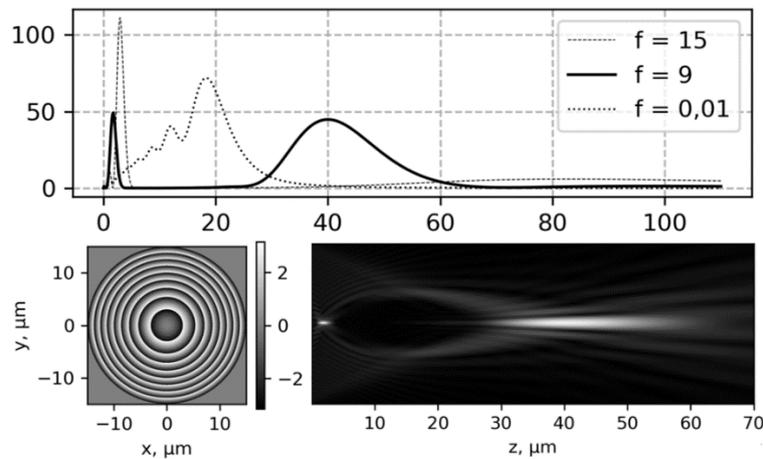


Рис. 1. Осевое распределение интенсивности пучка при варьировании  $f$ ; фаза и продольная амплитуда при фиксированном  $f = 9$  мкм,  $R = 15$  мкм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Yang, Y.-X. Ren, M. Chen [at al.], Optical trapping with structured light: a review // *Advanced Photonics*, 2021, v. 3, no. 3, p. 034001.
2. O.A. Dyukareva, Propagation of beams with a power-law dependence on the radius. // 2022 VIII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), 2022, p. 1-6.
3. R.V. Skidanov, S.N. Khonina, A.P. Porfirev [at al.], Three-dimensional laser trapping on the base of binary radial diffractive optical element // *Journal of Modern Optics*, 2015, v. 62, no. 14, p. 1183-1186.

## AXIAL NON-PARAXIAL PROPAGATION OF BEAM FORMED BY A GENERALIZED LENS

O.A. Dyukareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: dukarevaola@gmail.com*

The paper considers the intensity distribution on the optical axis for beams formed by a generalized lens with a power dependence on the radius, when moving from a paraxial wave model to a non-paraxial one. The possibility of generating local intensity maxima with zero energy on the axis between them due to a linear axicon is shown.

**Keywords:** generalized lens, ideal lens, optical traps, axicon.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ В РАСТВОРАХ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ И АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ

М.Е.Дядищев<sup>2</sup>, А.Н. Зяблов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Воронежский государственный университет  
(394018, г. Воронеж, Университетская площадь 1)*

<sup>2</sup>*Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина  
(399770, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28)  
e-mail: dyadisheff.mischa@yandex.ru*

В настоящее время, для ученых и исследователей все больший интерес представляет большая группа сложно устроенных органических соединений, которые называются поверхностно-активными веществами (ПАВ). Во многом, это обусловлено масштабным и повсеместным использованием разнообразных комбинаций и сочетаний сложных веществ, в состав которых и входят ПАВ различных классификаций и групп. В данной работе исследовали додецилсульфат натрия (лаурилсульфат натрия,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ ).

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, додецилсульфат натрия, водные растворы, спектрофотометрическое определение.

На данный момент додецилсульфат натрия является одним из самых распространенных веществ во всем мире. Это обусловлено рядом причин, среди которых главными являются: низкая стоимость вещества, относительная безопасность, высокое значение очищающих, пенообразующих, а также бактерицидных и санитарно-гигиенических свойств. Преимущественно, данное ПАВ можно встретить в моющих средствах: для удаления масляных остатков и жирных пятен, мылах, шампунях и гелях для душа, кремах для бритья, зубных пастах, пенах для ванн и стиральных порошках. Таким образом актуальным является определение додецилсульфата натрия в водных растворах. Одной из таких методик является методика спектрофотометрического определения, но ввиду сложности пробоподготовки целесообразным является разработка более экспрессных способов анализа. Один из таких способов может быть реализован на основе амперометрического метода с использованием сенсоров, модифицированных полимерами с молекулярными отпечатками додецилсульфата натрия.

Экспериментальная часть работы проводилась на спектрофотометре УФ-1200 при длине волны 590 нм, с кюветами с толщиной поглощающего слоя 1 см. Определение концентраций проводили методом градуировочного графика, который описывается следующим уравнением:  $D = 0.204C + 0.165$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0.996$ .

В ходе работы установлены метрологические характеристики определения додецилсульфат натрия в модельных растворах. Так диапазон определяемых концентраций составил от 1.0 до 0.05 мг/дм<sup>3</sup>, а предел обнаружения – 0.02 мг/дм<sup>3</sup>.

Установлено, что при увеличении концентрации аналита в растворе наблюдается снижение аналитического сигнала модифицированного амперометрического сенсора. В ходе эксперимента были определены метрологические характеристики полученных сенсоров. Диапазон определяемых концентраций додецилсульфата натрия составил 0.03 – 0.5 г/л и предел обнаружения – 0.015 г/л. В ходе работы эксперименты разработаны амперометрические сенсоры, в которых, в качестве селективного материала использовались молекулярно-импринтированные полимеры с шаблоном додецилсульфата натрия. Синтез полимеров проводили по методике [1]. Сенсоры на основе этих полимеров показали диапазон определяемых концентраций 0.03 – 0.5 г/л и предел обнаружения 0.015 г/л.

Таким образом важно отметить, что для использования спектрофотометрического метода определения требуется дальнейшее совершенствование методики с целью упрощения пробоподготовки и снижения предела обнаружения. В то время, как амперометрический метод является более удобным, универсальным и быстрым.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ву Хоанг Иен, Определение сорбата калия и бензоата натрия в безалкогольных напитках пьезосенсорами на основе молекулярно-импринтированных полимеров // Известия вузов. Химия и химическая технология, 2022, т. 65, № 10, с. 14-20.
2. Л. К. Неудачина, Ю. С. Петрова, Применение поверхностно-активных веществ в анализе. // Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017, 76 с.
3. К. Холмберг, Б. Йенссон, Б. Кронберг, Б. Линдман, Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020, 531 с.

## DETERMINATION OF SODIUM DODECYL SULFATE IN SOLUTIONS BY SPECTROPHOTOMETRIC AND AMPEROMETRIC METHODS

**M.E. Dyadishchev<sup>2</sup>, A.N. Zyablov<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Voronezh State University*

*(394018, Voronezh, University Square 1)*

*<sup>2</sup>Yelets State University named after I.A. Bunin*

*(399770, Yelets, Kommunarov Street, 28)*

*e-mail: dyadisheff.mischa@yandex.ru*

Currently, scientists and researchers are increasingly interested in a large group of complex organic compounds called surface-active substances (SAS). This is largely due to the large-scale and widespread use of various combinations and combinations of complex substances, which include SAS of various classifications and groups. In this work, sodium dodecyl sulfate (sodium lauryl sulfate,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ ) was studied.

**Keywords:** surfactants, sodium dodecyl sulfate, aqueous solutions, spectrophotometric determination.

## СИНТЕЗ КОМПЛЕКСОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ДИПИКОЛИНОВОЙ КИСЛОТОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Р.А. Ермаков<sup>1</sup>, И.А. Платонов<sup>1</sup>, Е.Н. Тупикова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: osa-osa2001@mail.ru

В данной работе представлены результаты синтеза комплексов лантаноидов с дипиколиновой кислотой в неионизированной форме из водных и водно-спиртовых растворов. Синтез из водных растворов позволяет получить продукт с выходом 74-91%, имеющий состав, близкий к  $\text{Ln}_2\text{L}_3$  и содержащий от 3 до 6 молекул воды. Из водно-спиртовых растворов с выходом около 60% образуются комплексы состава  $\text{LnL}_2$ . Растворимость комплексов для легких РЗЭ в воде, вне зависимости от метода синтеза, равна примерно 1 г/л.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, комплексные соединения, дипиколиновая кислота, комплексометрическое титрование.

Комплексы редкоземельных элементов (РЗЭ) широко применяются в промышленности за счет своих уникальных свойств. Некоторые комплексы достаточно прочные и имеют избирательную растворимость в воде или органических растворителях, что позволяет использовать их для концентрирования и разделения РЗЭ [1]. Представляет интерес использование редкоземельных и рассеянных элементов в качестве микроэлементной метки для маркирования различных материалов, например взрывчатых веществ. В ряду лигандов, с которыми координируются РЗЭ активно исследуются возможности использования карбоновых кислот различных гомологических рядов. Наличие в ароматическом заместителе карбоновой кислоты системы сопряженных  $\pi$ -связей обуславливает проявление различных специфических свойств их комплексов с лантаноидами, например, люминесценции [3].

В работе из оксидов неодима, празеодима, эрбия, лантана и самария были синтезированы комплексы с дипиколиновой кислотой. Реакцию проводили при молярном соотношении лантаноид-лиганд 2:3. Оксиды переводили в хлориды, рН растворов хлоридов доводили до 6 добавлением КОН. Навеску дипиколиновой кислоты растворяли в 20 мл воды и нейтрализовали 0,01М КОН до рН=6. Затем к раствору дипиколиновой кислоты по каплям добавляли раствор хлорида РЗЭ при активном перемешивании и нагреве до 50°C. Через несколько минут выпадал осадок комплекса, который отфильтровывали и сушили в эксикаторе. Для синтеза комплексов РЗЭ в водно-спиртовом растворе при соотношении вода-изопропиловый спирт 1:1 кислоту растворяли в спирте и к нему добавляли водный раствор хлорида лантанида с различным мольным соотношением металл-лиганд. Реакцию проводили при комнатной температуре.

Анализ содержания РЗЭ в полученных комплексах проводили после разрушения последних и перевода их в хлориды путем комплексонометрического титрования ЭДТА. Содержание кристаллизационной воды в комплексах определяли гравиметрическим методом.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Выход продукта, синтезированного в водной среде (74-91%) больше, чем полученного в водно-спиртовых растворах (60%);
2. В составе комплексов молярное соотношение Ln:L для водных сред составляло 2:3, для водно-спиртовых 1:2.
3. Содержание молекул кристаллизационной воды в комплексах варьируется от 3 до 6.
4. Растворимость полученных комплексов в воде около 1 г/л.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Матюха, С.В. Матюха, Оксалаты редкоземельных элементов и актиноидов // отв. ред. В.В. Болдырев – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: ИздАТ, 2008, 607 с.
2. R. Janicki, A. Mondry, P. Starynowicz, Carboxylates of rare earth elements Coordination Chemistry: Reviews // Coordination Chemistry Reviews, 2017, v. 340, p. 98–133.

### SYNTHESIS OF REE COMPLEXES WITH DIPICOLIC ACID AND INVESTIGATION OF THEIR PROPERTIES

**R.A. Ermakov<sup>1</sup>, I.A. Platonov<sup>1</sup>, E.N. Tupikova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: osa-osa2001@mail.ru*

This paper presents the results of the synthesis of lanthanide complexes with dipicolinic acid in nonionized form from aqueous and aqueous alcohol solutions under heating and room temperature. Synthesis from aqueous solutions makes it possible to obtain a product with a yield of 74-91%, having a composition close to Ln<sub>2</sub>L<sub>3</sub> and containing from 3 to 6 water molecules. Complexes of the LnL<sub>2</sub> composition are formed from aqueous alcohol solutions with a yield of ≈60%. The solubility of complexes for light REE in water, regardless of the synthesis method, is approximately 1 g/l.

**Keywords:** rare earth elements, synthesis, dipicolic acid, complexometric titration.

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОРЕЗОНАТОРА С ХИРАЛЬНЫМ  
ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМ СЛОЕМ С ТАНГЕНЦИАЛЬНО-  
КОНИЧЕСКИМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ**

**Н. А. Золотовский<sup>1,2,3</sup>, П. С. Панкин<sup>1,2</sup>, Д. С. Бузин<sup>1</sup>, В. С. Сутормин<sup>1,2</sup>,  
Д. А. Костиков<sup>1</sup>, А. И. Краснов<sup>1</sup>, С. В. Наболь<sup>1</sup>, А. С. Абдуллаев<sup>1</sup>,  
М. Н. Крахалёв<sup>1,2</sup>, С. В. Неделин<sup>2,3</sup>, И. А. Тамбасов<sup>1,3</sup>, Д. Н. Максимов<sup>1,2</sup>,  
В. Я. Зырянов<sup>1</sup>, И. В. Тимофеев<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,  
(660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 38)*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет,  
(660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79)*

<sup>3</sup>*ООО “Научно-производственная компания “Спецтехнаука”,  
(660043, г. Красноярск, ул. Чернышевского, 67)  
e-mail: nikitazolotovskiy@mail.ru*

Исследованы спектральные свойства микрорезонатора с хиральным жидкокристаллическим резонансным слоем. Осуществлено управление добротностью микрорезонатора путем приложенного к резонаторному слою внешнего напряжения.

**Ключевые слова:** связанное состояние в континууме, фотонный кристалл, жидкий кристалл.

Был исследован микрорезонатор, в котором в качестве зеркал используются два одномерных фотонных кристалла, а слой жидкого кристалла является резонаторным. Слой хирального жидкого кристалла имеет тангенциально-конические граничные условия, что позволяет управлять поляризацией проходящего через него света посредством приложения внешнего напряжения к слою [1]. При падении света на микрорезонатор под углом Брюстера для ТЕ-поляризованных волн возникает фотонная запрещенная зона, что обеспечивает локализацию микрорезонаторных мод. Энергия, запасенная в локализованной моде, может выходить из микрорезонатора через радиационный канал ТМ-поляризованных распространяющихся волн. Изменяя связь между ТЕ- и ТМ-волнами можно управлять добротностью системы [2]. На рисунке 1 представлен измеренный спектр пропускания микрорезонатора, который демонстрирует многочисленные коллапсы резонансных линий.

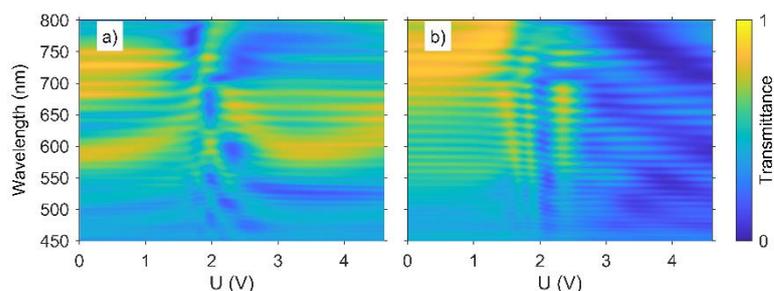


Рис. 1. Спектры пропускания микрорезонатора для ТМ-поляризованного света в зависимости от приложенного напряжения к слою жидкого кристалла. Свет падает на образец со стороны зеркала с коническими граничными условиями. Ориентация молекул жидкого кристалла на границе с тангенциальными условиями параллельна плоскости падения света (а), перпендикулярна плоскости падения света (b)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, Правительства Красноярского края, грант № 24-12-20007, ссылка на проект <https://rscf.ru/en/project/24-12-20007/>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. S. Sutormin, M. N. Krakhalev, I. V. Timofeev et al., Cholesteric layers with tangential-conical surface anchoring for an electrically controlled polarization rotator. // *Optical Materials Express*, 2021, v. 11, № 5, p. 1527-1536.
2. A. I. Krasnov, P. S. Pankin, D. S. Buzin et al. Voltage-tunable Q factor in a photonic crystal microcavity // *Optics Letters*, 2023, v. 48, № 7, p. 1666-1669.

## SPECTRAL PROPERTIES OF A MICROCAVITY WITH A CHIRAL LIQUID CRYSTAL LAYER WITH TANGENTIAL-CONICAL BOUNDARY CONDITIONS

N. A. Zolotovskii<sup>1,2,3</sup>, P. S. Pankin<sup>1,2</sup>, D. S. Buzin<sup>1</sup>, V. S. Sutormin<sup>1,2</sup>, D. A. Kostikov<sup>1</sup>, A. I. Krasnov<sup>1</sup>, S. V. Nabol<sup>1</sup>, A. S. Abdullaev<sup>1</sup>, M. N. Krakhalev<sup>1,2</sup>, S. V. Nedelin<sup>1,2,3</sup>, I. A. Tambasov<sup>1,3</sup>, D. N. Maksimov<sup>1,2</sup>, V. Ya. Zyryanov<sup>1</sup>, I. V. Timofeev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS  
(660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, bldg. 38)*

<sup>2</sup>*Siberian Federal University  
(660041, Krasnoyarsk, Svobodny Ave., 79)*

<sup>3</sup>*LLC Research and Production company "Spectehnauka"  
(660043, Krasnoyarsk, Chernishevskogo St., 67)*

Spectral properties of a microcavity with a chiral liquid-crystal resonant layer have been investigated. The quality factor of the microcavity has been governed by applying an external voltage to the resonator layer.

**Keywords:** bound state in the continuum, photonic crystal, liquid crystal.

**ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЯМИ ВОЛН  
НАКАЧКИ НА АМПЛИТУДНЫЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕПЛОВОЙ И РЕЗОНАНСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЯХ**

**К.Г. Казакова<sup>1</sup>, А.А. Акимов<sup>1</sup>, В.В. Ивахник<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: kazakova.cen@yandex.ru*

Проанализировано влияние изменения интенсивностей волн накачки на коэффициент отражения четырехволнового преобразователя излучения и полуширину полосы пространственных частот объектной волны при наличии двух типов нелинейностей в схеме с обратной связью. Проведено сравнение значений амплитудных и пространственных характеристик четырехволнового преобразователя на резонансной и тепловой нелинейностях в случае равных и неравных интенсивностей волн накачки.

**Ключевые слова:** четырехволновой преобразователь, резонансная нелинейность, тепловая нелинейность, обратная связь.

Существует целый ряд работ, посвященных исследованию влияния изменения интенсивности волн накачки на амплитудные и пространственные характеристики четырехволнового преобразователя излучения в схеме с обратной связью [1]. Например, для четырехволнового преобразователя излучения на тепловой нелинейности исследовано влияние соотношения между интенсивности волн накачки на амплитудный коэффициент отражения и полуширину пространственного спектра объектной волны в схеме с обратной связью [2]. Однако, в растворах сложных органических соединений наряду с тепловой нелинейностью реализуется резонансная нелинейность.

Представляет интерес проанализировать влияние изменения интенсивности волн накачки на эффективность и качество преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на резонансной и тепловой нелинейностях в схеме с обратной связью.

В работе рассматривался процесс вырожденного четырехволнового взаимодействия  $\omega + \omega - \omega = \omega$  в среде с тепловой и резонансной нелинейностями при условии большого коэффициента отражения. При большом коэффициенте отражения учитывается перекачка энергии из сигнальной волны в объектную, так и из объектной волны в сигнальную, самодифракция волн накачки. Обратная связь накладывалась на сигнальную и объектную волны с помощью кольцевого резонатора.

Четырехволновое взаимодействие описывалось с помощью уравнения Гельмгольца, которое дополнялось уравнением Пуассона. Волны накачки считались плоскими. Сигнальная и объектная волны раскладывались по плоским волнам. Использовались приближение заданного поля по волнам накачки, приближение

медленно меняющихся амплитуд и параксиальное приближение. Была получена система связанных дифференциальных уравнений для пространственных спектров сигнальной и объектной волн, температурных решеток. Система связанных дифференциальных уравнений с учётом граничных условий анализировалась численным методом путем рассмотрения многократного прохождения сигнальной и объектной волн через нелинейный слой в кольцевом резонаторе.

При неравных интенсивностях волн накачки построены зависимости амплитудного коэффициента отражения четырехволнового преобразователя, полуширины полосы пространственных частот объектной волны от нормированной интенсивности волн накачки. При отклонении интенсивности волн накачки от единицы максимальное значение коэффициента отражения уменьшается. При равных интенсивностях волн накачки построены зависимости амплитудного коэффициента отражения и полуширины полосы пространственных частот от параметра, характеризующего соотношение между тепловой и резонансной нелинейностями. С ростом параметра, характеризующего соотношение между тепловой и резонансной нелинейностями, наблюдается увеличение коэффициента отражения и уменьшение полуширины полосы пространственных частот объектной волны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник, Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. // Самара: Самарский университет, 2010, с. 246.
2. А.А. Акимов, С.А. Гузаиров, В.В. Ивахник, Качество преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на тепловой нелинейности с учетом обратной связи. // Компьютерная оптика, 2021, т. 45, № 5, с. 667-672.

## THE INFLUENCE OF THE RATIO BETWEEN PUMP WAVE INTENSITIES ON THE AMPLITUDE AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF A FOUR-WAVE RADIATION CONVERTER ON THERMAL AND RESONANT NONLINEARITIES

**K.G. Kazakova, A.A. Akimov, V.V. Ivakhnik**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: kazakova.cen@yandex.ru*

The influence of changes in pump wave intensities on the reflection coefficient of a four-wave radiation converter and the half-bandwidth of the spatial frequencies of the object wave on two types of nonlinearities with feedback is analyzed. A comparison of the values of the amplitude and spatial characteristics of a four-wave converter on resonant and thermal nonlinearities in the case of equal and unequal intensities of pump waves is carried out.

**Keywords:** four-wave converter, resonant nonlinearity, thermal nonlinearity, feedback.

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НУЛЕЙ ОТРАЖЕНИЯ В СЛОИСТЫХ СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

А.И. Кашапов<sup>1,2</sup>, Е.А. Безус<sup>1,2</sup>, Д.А. Быков<sup>1,2</sup>, А.А. Мингазов<sup>1,2</sup>, Л.Л. Досколович<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИСОИ РАН, НИЦ «Курчатовский институт»  
(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: ar.kashapov@gmail.com

В работе исследуются топологические свойства нулей отражения в трёхслойных структурах «металл-диэлектрик-металл». Показано, что нули отражения обладают ненулевыми топологическими зарядами, что делает их топологически защищёнными. При небольшом изменении параметров структуры (например, толщины слоя) нуль отражения не исчезает, а смещается в пространстве параметров — на другую длину волны и угол падения. Полученные результаты могут быть полезны для применения слоистых металл-диэлектрических структур с нулями отражения для оптического дифференцирования.

**Ключевые слова:** оптическое дифференцирование, структура «металл-диэлектрик-металл», топологический заряд, нуль отражения.

Оптическая обработка сигналов привлекает внимание исследователей благодаря скорости и энергоэффективности, а структуры нанофотоники считаются перспективными для реализации устройств аналоговой обработки информации. Одной из ключевых операций является дифференцирование оптических сигналов [1]. Проблема аналоговых систем заключается в высокой чувствительности к изменениям параметров структуры. Одно из решений заключается в использовании структур с топологической защищённостью. В настоящей работе, в качестве примера рассмотрена трёхслойная структура «металл-диэлектрик-металл» (МДМ-структура) (толщины слоёв от верхнего к нижнему слою составляют 27.8 нм, 69.1 нм, 50 нм, материал металлических слоёв – медь (Cu), диэлектрических – диоксид титана (TiO<sub>2</sub>), над структурой – воздух), в которой формирование нуля отражения наблюдается при  $\lambda = 633$  нм,  $\theta = 45^\circ$  (см. рис. 1а,в). Структура обладает устойчивостью к изменениям толщин слоёв. На рис. 1б,г показаны спектры «смещенной» МДМ-структуры при изменении толщины верхнего слоя на 3.5 нм. Видно, что нуль отражения не исчезает, а смещается на другую длину волны (623.3 нм) и угол падения ( $65^\circ$ ). Также появляется второй нуль (при 616.8 нм и  $73.5^\circ$ ), который при дальнейшем увеличении толщины слоя приближается к первому, а затем сливается с ним.

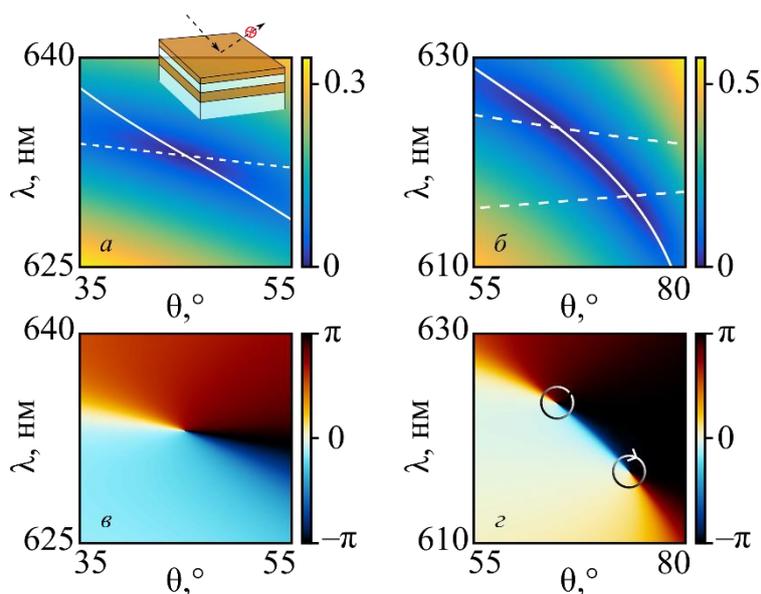


Рис. 1. Модули и аргументы коэффициента отражения рассчитанной (а,в) и “смещенной” (б,г) МДМ-структур в зависимости от длины волны и угла. Сплошные и пунктирные белые линии на графиках (а-в) показывают кривые, на которых соответственно обращаются в ноль вещественная и мнимая части коэффициента отражения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.I. Kashapov, L.L. Doskolovich, E.A. Bezus, D.A. Bykov, V.A. Soifer, Spatial differentiation of optical beams using a resonant metal-dielectric-metal structure. // J. Opt., 2021, v. 23, n. 2, p. 023501.

## TOPOLOGICAL PROPERTIES OF REFLECTION ZEROS IN LAYERED METAL-DIELECTRIC-METAL STRUCTURES

A.I. Kashapov<sup>1,2</sup>, E.A. Bezus<sup>1,2</sup>, D.A. Bykov<sup>1,2</sup>, A.A. Mingazov<sup>1,2</sup>, L.L. Doskolovich<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”  
(Molodogvardeyskaya str., 151, Samara, Russia, 443001)

<sup>2</sup>Samara National Research University  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: ar.kashapov@gmail.com

We investigate the topological properties of reflection zeros in metal-dielectric-metal structures, showing that these zeros have non-zero topological charges, making them topologically protected, and that small changes in structure parameters cause the reflection zero to shift to different wavelengths and angles of incidence, which can be useful for optical differentiation applications.

**Keywords:** optical differentiator, metal-dielectric-metal structure, reflection zero, topological charge.

## ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД

**И.А. Платонов, И.Н. Колесниченко, Д.Л. Колесниченко**

*Самарский национальный исследовательский университет,*

*(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

*e-mail: pia@ssau.ru*

Разработаны хромато-десорбционный способ получения газовых смесей ацетона. Апробированы инъекционный, трубчатый и микрофлюидный тип проточной системы. Установлено, что хромато-десорбционный способ позволяет получать газовые смеси ацетона в диапазоне 1-5 ppm в одном цикле анализа, суммарная неопределенность не превышает 10%.

**Ключевые слова:** стандартные газовые среды, методы получения газовых сред, хромато-десорбционный способ, газовая хроматография, микрофлюидные системы.

Стандартные газовые среды широко используются в практике для обеспечения единства измерений, контроля качества, а также создания атмосфер для ускоренных испытаний. Ассортимент аттестованных государственных стандартных образцов достаточно широк и коммерчески доступен, однако их недостатком кроме высокой стоимости является также громоздкость коммерческих ГСО и установок для их получения, что ограничивает их применение во внелабораторных условиях. Для решения этих задач используют динамические методы получения газовых смесей. Наиболее задачам миниатюризации и автоматизации отвечает хромато-десорбционный способ получения газовых сред.

Целью работы являлось получение газовых сред с низким содержанием ацетона (1-5 ppm) в воздухе хромато-десорбционным способом.

Для количественного анализа использовали портативный микрофлюидный хроматограф «ПИА». Сравнение характеристик стабильности и однородности осуществляли по ГОСТ Р 50.2.058-2007 для газовых смесей, приготовленных в мешках из объеметрическим методом, анализ равновесной паровой фазы, методом добавки и хромато-десорбционным способом с использованием сорбционно-активной соли хлорида кобальта, нанесенной на инертный носитель. В качестве образца сравнения использовались аттестованные газовые смеси с содержанием ацетона 1 ppm (ПГС 10385-2013). Установлено, что хромато-десорбционный способ позволяет получать газовые смеси ацетона в диапазоне 1-5 ppm в одном цикле анализа, суммарная неопределенность не превышает 10%. Что соизмеримо с ранее полученными результатами для хроматомембранного метода [1] – 6.7%, и парофазного источника [2] – 7%. При этом хромато-десорбционный и хроматомембранный методы отличаются простотой аппаратного оформления и могут быть использованы во внелабораторных условиях. При выборе метода необходимо также учитывать, что данные по значениям константы распределения ацетона в системе вода-пар в различных источниках отличаются на 30-

50% при одинаковых температурных условиях [3-5], а в натуральных условиях при отклонении от заданных параметров это значение будет непрогнозируемо отличаться, что будет значительно увеличивать суммарную неопределенность аттестованного значения концентрации аналита, и, следовательно, влиять на достоверность анализа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Р. Горбачева, О.В. Родинков, Хроматомембранное генерирование стандартных газовых смесей летучих органических соединений на уровне ппм // Аналитика и контроль, 2018, т. 22, № 3, с. 267-272.
2. А.О. Малышева, М.Н. Балдин, В.М. Грузнов, Л.В. Блинова, Внелабораторный экспрессный газохроматографический метод анализа выдыхаемого человеком воздуха с автоматизированной градуировкой // Аналитика и контроль, 2018, т. 22, №2, с. 177-185.
3. А.О. Малышева, М.Х. Балдин, Б.М. Грузнов, Определение коэффициентов распределения летучих органических веществ в системе жидкость-воздух для создания градуировочных газообразных образцов со следовыми концентрациями веществ // Журнал аналитической химии, 2017, т. 72, №10, с. 867-871.
4. А.Г. Витенберг, Л.А. Конопелько, Парофазный газохроматографический анализ: метрологические приложения // Журнал аналитической химии, 2011, т. 66, № 5, с. 452-472.
5. А.Г. Витенберг, Статический парофазный газохроматографический анализ. Физико-химические основы и области применения // Рос.хим.журнал, 2003, т. 57, № 1, с. 7-22.

## CHROMATO-DESORPTION METHOD FOR OBTAINING STANDARD GASEOUS MIXTURES

**I.A. Platonov, I.N. Kolesnichenko, D.L. Kolesnichenko**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: pia@ssau.ru*

A chromatographic-desorption method for obtaining acetone gas mixtures has been developed. Injection, tubular and microfluidic flow system types have been tested. It has been established that the chromatographic-desorption method allows obtaining acetone gas mixtures in the range of 1-5 ppm in one analysis cycle, the total uncertainty does not exceed 10%.

**Keywords:** standard gas mixtures, methods for obtaining gas mixtures, chromatographic-desorption method, gas chromatography, microfluidic systems.

## АНАЛИЗ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ С ПОМОЩЬЮ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Комлев А. И.

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: andrei.komlev@yandex.ru

Тезис посвящён работе над анализом гиперспектральных изображений новообразований кожи с помощью свёрточных нейронных сетей. Для решения задачи построена архитектура сверточной нейронной сети для классификации новообразований кожи по нозологиям. Результаты обучения показывают высокие показатели точности анализа. Это позволяет говорить о возможном эффективном применении сверточных нейронных сетей в системах помощи принятия решений в области дерматологии и онкологии.

**Ключевые слова:** гиперспектральные изображения, нейронные сети, новообразования.

Исследование новообразований кожи для выявления онкологии является перспективным направлением в медицине. Новый виток в исследовании и автоматизации процесса внесли свёрточные нейронные сети.

Разработка архитектуры проводилась на языке программирования Python. Основным требованием к архитектуре стало малое количество обучающих параметров. Это связано с необходимостью использовать большие объёмы данных для обучения нейронных сетей, причем большее количество обучаемых параметров зачастую требует больших объёмов обучающих данных. Однако формирование больших наборов медицинских данных затруднено, так как исследуемый ряд заболеваний встречается редко, а регистрация дерматоскопических изображений проводилась на базе одного медицинского учреждения – Самарского областного клинического онкологического диспансера [4].

Архитектура сверточной нейронной сети, предлагаемая в данном исследовании, представлена на рис. 1, а. Она состоит из трех чередующихся блоков слоев Conv2D, Max\_Pooling2D и Batch\_Normalization и нескольких полносвязных слоев на выходе. Общее количество обучаемых параметров равно 815 281.

Для обучения использовались данные, полученные с помощью гиперспектральной камеры. На этих данных производилось обучение нейронной сети. Данные изображения дают больше информации по сравнению с обычными трёхцветными изображениями.

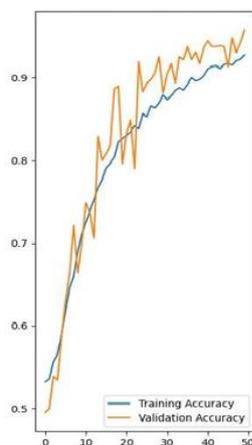
Результатом этого стала модель способная распознавать меланому от обычного невуса результаты представлены на рисунке 1. Кроме обучения так же была проведена визуализация результата работы нейронной сети на рисунке 2.

Model: "Test\_Neural\_Derm"

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d_97 (Conv2D)	(None, 480, 640, 8)	80
max_pooling2d_7 (MaxPooling2D)	(None, 160, 213, 8)	0
batch_normalization_97 (BatchNormalization)	(None, 160, 213, 8)	32
conv2d_98 (Conv2D)	(None, 160, 213, 16)	1,168
max_pooling2d_8 (MaxPooling2D)	(None, 53, 71, 16)	0
batch_normalization_98 (BatchNormalization)	(None, 53, 71, 16)	64
conv2d_99 (Conv2D)	(None, 53, 71, 32)	4,640
max_pooling2d_9 (MaxPooling2D)	(None, 17, 23, 32)	0
batch_normalization_99 (BatchNormalization)	(None, 17, 23, 32)	128
flatten_1 (Flatten)	(None, 12512)	0
dense_one (Dense)	(None, 64)	800,832
dropout_one (Dropout)	(None, 64)	0
dense_two (Dense)	(None, 128)	8,320
dropout_two (Dropout)	(None, 128)	0
output (Dense)	(None, 1)	129

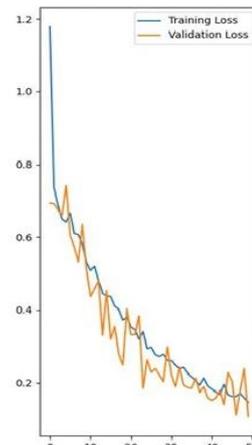
Total params: 815,393 (3.11 MB)  
 Trainable params: 815,281 (3.11 MB)  
 Non-trainable params: 112 (448.00 B)

а)



Количество эпох

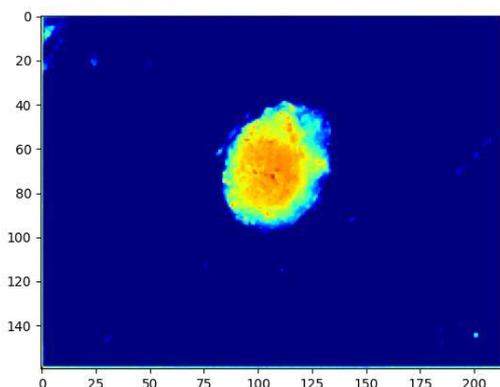
б)



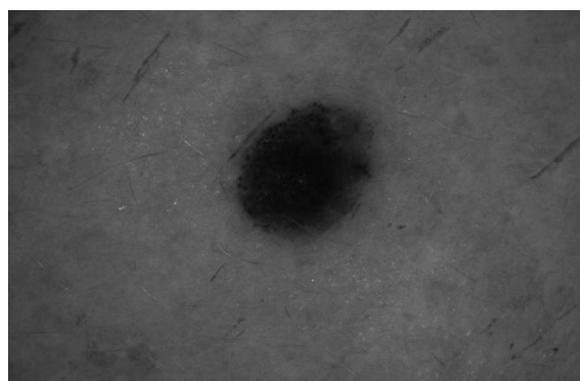
Количество эпох

в)

Рис. 1. а) Архитектура нейронной сети дерматоскопического комплекса; б) График зависимости точности обучения от количества эпох для обучающей (Training Accuracy) и валидационной выборки (Validation Accuracy); в) График зависимости ошибки обучения от количества эпох для обучающей (Training Loss) и валидационной выборки (Validation Loss)



а)



б)

Рисунок 2 – Исходная фотография тестовой выборки и визуализация работы нейронной сети

Судя по виду графиков (рис. 1, б-в) и визуализации, нейронная сеть обладает потенциалом для дальнейшего обучения. Этому, а также расширению выборки данных, и будут посвящены дальнейшие исследования. Автоматизация процесса распознавания новообразований кожи по дерматоскопическим изображениям делает нейронные сети претендентом на широкое использование в системах контроля принятия решения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Wu, B. Gao, X. Wei. Recent advances in Raman spectroscopy for skin diagnosis // Journal of Innovative Optical Health Sciences, 2023, т. 16, № 03, p. 2330003.

2. А.И. Комлев, И.А. Матвеева. Разработка мультиспектральной подсветки для цифрового дерматоскопа // Оптические методы исследования потоков: Труды XVII Международной научно-технической конференции, 2023, с. 208-212.
3. S. G. Konovalov, O. A. Melsitov, O. O. Myakinin, et.al. Dermatoscopy software tool for in vivo automatic malignant lesions detection // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2018, v. 4, № 4, p. 040302.

## ANALYSIS OF HYPERSPECTRAL IMAGES OF SKIN NEOPLASMS USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

A. I. Komlev <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Samara National Research University,  
(34 Moskovskoe shosse str., Samara, 443086)  
e-mail: andrei.komlev@yandex.ru*

The thesis is devoted to the work on the analysis of hyperspectral images of skin neoplasms using convolutional neural networks. To solve the problem, a convolutional neural network architecture was built to classify skin neoplasms by nosology. The training results show high levels of analysis accuracy. This allows us to talk about the possible effective use of convolutional neural networks in decision-making assistance systems in the field of dermatology and oncology.

**Keywords:** hyperspectral images, neural networks, neoplasms.

## ПОВЕРХНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ АЦЕТОНИТРИЛА С МЕТИНОВЫМ РАДИКАЛОМ

Л.И. Крикунова<sup>1,2</sup>, Д.П. Порфирьев<sup>1,2</sup>, В.Н. Азязов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

*e-mail: lubov\_markova@inbox.ru*

В данной работе рассмотрена реакция ацетонитрила ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) с метиновым радикалом. В результате взаимодействия реагентов получены линейные и циклические интермедиаты. Для всех структур найдены оптимальные геометрии, частоты колебаний и значения потенциальных энергий на уровне теории функционала плотности с использованием гибридного метода теории функционала плотности  $\omega\text{B97xd/cc-pvtz}$ . В рамках теории РРКМ рассчитаны относительные выходы и константы скорости реакции.

**Ключевые слова:** метиновый радикал, теория функционала плотности, поверхность потенциальной энергии.

Метиновый радикал является одной из первых молекул, обнаруженных в межзвездной среде (1938г.) в ультрафиолетовом диапазоне. Наличие высокореактивного метинового радикала в космосе даёт возможность рассматривать реакции с образованием сложных органических соединений, которые в ряде случаев ведут к получению азотистых оснований – строительных блоков в цепочках ДНК [1]. В результате исследования химических реакций в системе  $\text{NC}_3\text{H}_4$  в условиях холодного космоса при энергии столкновения молекул, не превышающей 5,0 ккал/моль построена поверхность потенциальной энергии (ППЭ), включающая наиболее энергетически выгодные пути [2,3,4].

Оптимизированы геометрии реагентов, интермедиатов, переходных состояний, и продуктов реакции, а также найдены колебательные частоты с использованием гибридного метода теории функционала плотности  $\omega\text{B97xd/cc-pVTZ}$  [5,6,7]. Расчет кинетических констант и коэффициентов ветвления продуктов произведен в рамках теории Райса-Рампергера-Касселя-Маркуса (РРКМ) в пределе нулевого давления [8]. Данные, полученные в пределе одиночных столкновений, свидетельствуют о преобладании линейных продуктов и, в частности, наибольший выход в реакции имеет молекула синильной кислоты. Нельзя исключать так же из рассмотрения сопутствующие радикалы, единичные столкновения с которыми также представляют интерес для астрохимии.

Научно-исследовательская работа в Самарском университете выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках гранта

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.L. Miller, H.C. Urey, Science journal. // 1959, v. 130, p. 245.
2. J.-C. Loison, A. Bergeat, Phys. Chem. // Chem. Phys., 2009, v. 11, p. 655.
3. A.A. Nikolayev, V.N. Azyazov, R.I. Kaiser, A.M. Mebel, J. Phys. Chem. A. // 2021, v. 125, p. 9536.
4. C. He, K. Fujioka, A.A. Nikolayev, L. Zhao, S. Doddipatla, V.N. Azyazov, A.M. Mebel, R. Sun, R.I. Kaiser, Phys. Chem // Chem. Phys, 2022, v. 24, p. 578.
5. J.-D. Chai and M. Head-Gordon., Long-range corrected hybrid density functionals with damped atom-atom dispersion corrections // Physics Chemical Journal, 2008, v. 10, p. 6615-6620.
6. J.-D. Chai and M. Head-Gordon, Systematic optimization of long-range corrected hybrid density functionals // Physics Chemical Journal, 2008, v. 128, p. 084106.
7. H. Eyring, S.H. Lin, S.M. Lin, Basic Chemical Kinetics. // John Wiley and Sons, Inc., New York, 1980.
8. R.A. Marcus, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. // Series A: Physical and Engineering Sciences, 1990, v. 332, p. 283.

## THEORETICAL STUDY CH<sub>3</sub>CN+CH REACTION UNDER COLD SPACE

L.I. Krikunova<sup>1,2</sup>, D.P. Porfirev<sup>1,2</sup>, V.N. Azyazov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

In this work the reaction of acetonitrile (CH<sub>3</sub>CN) with methine radical is considered. As a result of interaction linear and cyclic intermediates were obtained. For all structures optimal geometries, vibrational frequencies and potential energies were found at the level of functional theory. Energies at the density functional theory level using the hybrid ωB97xd/cc-pvtz density functional theory method. Within the framework of the RRKM theory, the following have been calculated relative yields and reaction rate constants.

**Keywords:** methylidyne, density functional theory, potential energy surface.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ БЕНЗИЛ РАДИКАЛА МОЛЕКУЛЯРНЫМ КИСЛОРОДОМ

А.А. Кузнецова<sup>1,2</sup>, Д.П. Порфирьев<sup>1</sup>, В.Н. Аязов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: malina-jun@yandex.ru

В данной работе представлены результаты квантово-химического исследования поверхности потенциальной энергии реакции окисления бензил радикала молекулярным кислородом. Результаты получены на уровне теории G3(MP2,CC)//B3LYP/6-311G(d,p). Данный подход обеспечивает химическую точность относительных энергий и молекулярных параметров. **Ключевые слова:** конкурс-конференция, моноциклические ароматические углеводороды, бензил радикал, окисление.

Исследование механизмов образования и разрушения моноциклических ароматических углеводородов в межзвездной среде представляет большой интерес, поскольку они являются предшественниками ПАУ. Последние, в свою очередь, достаточно распространены в космическом пространстве и могут играть важную роль в синтезе пребиотических молекул в космосе. Согласно современным спектроскопическим исследованиям, ПАУ составляют до 20% от наблюдаемого углерода в космическом пространстве. Они были обнаружены как в холодных межзвездных облаках, так и в околозвездных оболочках богатых углеродом звезд асимптотической ветви гигантов (AGB) [1].

В данной работе исследовалась реакция окисления бензил радикала молекулярным кислородом с помощью методов квантовой химии. Результаты получены на уровне теории G3(MP2,CC)//B3LYP/6-311G(d,p). На рисунке 1 представлена поверхность потенциальной энергии (ПЭС), на которой можно выделить основные каналы реакции: безбарьерный отрыв атомарного кислорода с образованием C<sub>7</sub>H<sub>7</sub>O (продукт P1), безбарьерный отрыв оксида формальдегида с образованием C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (продукт P2), безбарьерный отрыв атома водорода с образованием C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> (продукт P3), отрыв пероксиметана с образованием C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (продукт P4), отрыв формальдегида с образованием C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O (продукт P5), отрыв гидроксильного радикала с образованием C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O (продукт P6) и отрыв формальдегида с образованием C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O (продукт P7).

Работа выполнена при финансовой поддержке Новых научных групп 26-2024 «Зарождение, рост и разрушение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в условиях горения».

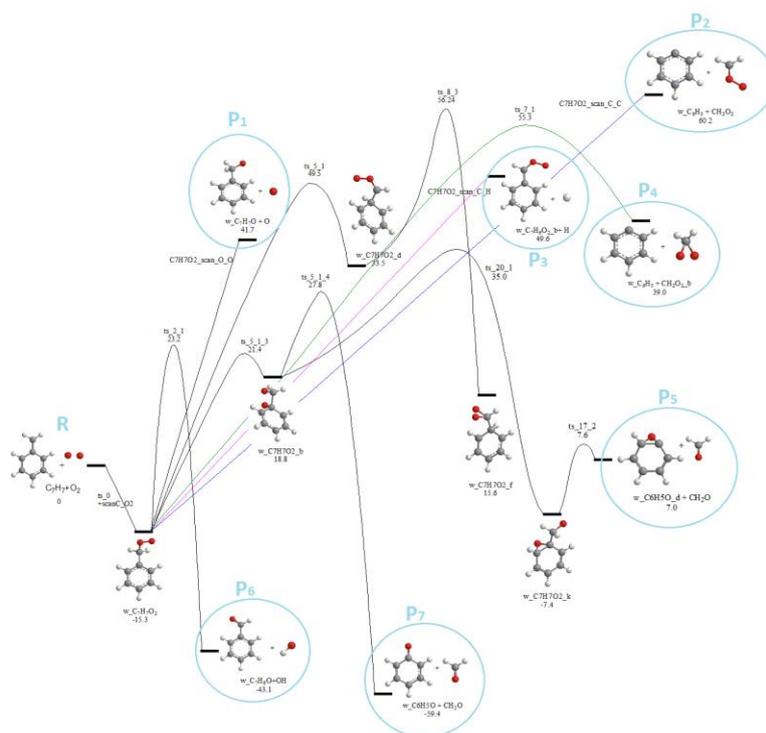


Рис. 1. Поверхность потенциальной энергии реакции окисления бензил радикала молекулярным кислородом. Относительные энергии представлены в ккал/моль

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. M. Mebel, A. Landera, R. I. Kaiser, Formation mechanisms of naphthalene and indene: from the interstellar medium to combustion flames // The Journal of Physical Chemistry A, 2017, v. 121, № 5, p. 901-926.

## THEORETICAL STUDY OF THE OXIDATION REACTION OF BENZYL RADICAL BY MOLECULAR OXYGEN

A.A. Kuznetsova<sup>1,2</sup>, D.P. Porfiriev<sup>1</sup>, V.N. Azyazov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: malina-jun@yandex.ru

This paper presents the results of a quantum-chemical study of the potential energy surface of the oxidation reaction of benzyl radical by molecular oxygen. The results were obtained at the level of G3(MP2,CC)//B3LYP/6-311G(d,p) theory. This approach provides chemical accuracy of relative energies and molecular parameters.

**Keywords:** conference-contest, monocyclic aromatic hydrocarbons, benzyl radical, oxidation.

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБЪЕМЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Е.В. Кузьмин<sup>1,2</sup>, Г.К. Красин<sup>1,2</sup>, П.А. Данилов<sup>1,2</sup>, А.С. Комшин<sup>2</sup>, А.Б. Сырицкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, 53)*

<sup>2</sup>*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,  
(105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр. 1)  
e-mail: kuzmine@lebedev.ru*

В работе обсуждаются перспективы применения технологии прямой лазерной записи оптических элементов в объеме диэлектриков, а также продемонстрирована технологическая возможность создания оптических линз в объеме плавленного кварца. Эффект фокусировки светового луча достигается за счет формирования двулучепреломляющих микротрещин в объеме кварцевого стекла под воздействием фемтосекундного лазерного излучения.

**Ключевые слова:** оптические элементы, лазерное воздействие, ультракороткие импульсы, прямая лазерная запись.

Прозрачные диэлектрики давно зарекомендовали себя как отличные платформы для создания устройств генерации [1], передачи [2] и модуляции [3] света. Создание интегрированных фотонных элементов в объеме диэлектрических материалов в значительной степени основано на записи различных трехмерных (3D) микро- и наноструктур [4] под воздействием фемтосекундного лазерного излучения. В настоящей работе продемонстрирована технология создания оптических элементов в объеме плавленного кварца на основе самоорганизующихся наноструктур.

Целью научного исследования является изучение процессов лазерно-индуцированного наноструктурирования в прозрачных диэлектриках и создании на их основе оптических компонентов. В работе используются стеклянные и полимерные органические материалы, прозрачные в оптическом диапазоне спектра, пригодные для создания облегченных оптических элементов с высоким качеством поверхности.

Для создания микроструктур в объеме кварца КУ-1 был использован фемтосекундный лазер Satsuma. Длительность лазерных импульсов составляла 0.3 пс. В результате лазерного воздействия в объеме плавленного кварца были записаны цилиндрическая и сферическая линзы. Характеристики записанных оптических элементов исследовались методами оптической микроскопии, фотолюминесцентной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния и поляриметрии. Так, на рисунке 1 представлен поляриметрический снимок записанной линзы, полученный на установке измерения двулучепреломления.

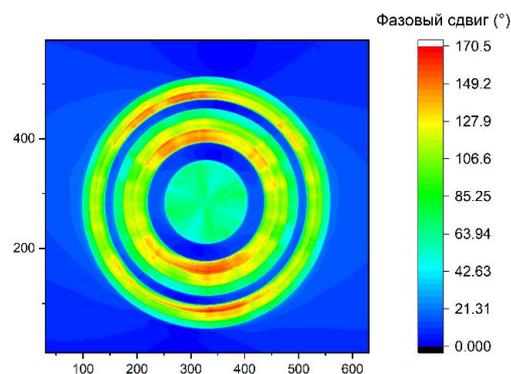


Рис. 1. Поляриметрический снимок записанной линзы в объёме плавленого кварца

Благодарность

Исследование было проведено в рамках Госзадания №FSFN-2024-0081.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. X.J. Wang, H.H. Fang, H.B. Sun, H. Xia. Laser writing of color centers, *Laser Photonics Reviews*, 2022, v. 16, p. 2100029.
2. P. Wang, Y. Wang, L. Tong. Functionalized polymer nanofibers: a versatile platform for manipulating light at the nanoscale, *Light: Science & Applications*, 2013, v. 2, p 102.
3. E. Pelucchi, G. Fagas, I. Aharonovich, D. Englund, E. Figueroa, Q. Gong, H. Hannes, J. Liu, C.-Y. Lu, N. Matsuda, J.-W. Pan, F. Schreck, F. Sciarrino, C. Silberhorn, J. Wang, K.D. Jöns. The potential and global outlook of integrated photonics for quantum technologies, *Nature Reviews Physics*, 2022, v. 4, p. 194–208.
4. S. Kudryashov, A. Rupasov, M. Smayev, P. Danilov, E. Kuzmin, I. Mushkarina, A. Gorevoy, A. Bogatskaya, A. Zolotko. Multi-parametric birefringence control in ultrashort-pulse laser-inscribed nanolattices in fluorite, *Nanomaterials*, 2023, v.13, p. 1133.

## PROSPECTS AND POSSIBILITIES OF CREATING OPTICAL ELEMENTS IN THE VOLUME OF DIELECTRICS

**E.V. Kuzmin<sup>1,2</sup>, G.K. Krasin<sup>1,2</sup>, P.A. Danilov<sup>1,2</sup>, A.S. Komshin<sup>2</sup>, A.B. Syritskii<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute*

*(Leninsky ave. 53, Moscow, Russia, 119991)*

*<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University,*

*(2-ya Baumanskaya st., 5, building 1, Moscow, Russia, 105005)*

*e-mail: kuzmine@lebedev.ru*

The paper discusses the prospects for using the technology of direct laser recording of optical elements in the volume of dielectrics, and also demonstrates the technological possibility of creating optical lenses in the volume of fused quartz. The effect of focusing a light beam in an optical element is achieved by forming birefringent microtracks in the volume of quartz glass under the influence of femtosecond laser radiation.

**Keywords:** optical elements, laser action, ultrashort pulses, direct laser writing.

## ХРОМАТО-ДЕСОРБЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С НАНОДИСПЕРСНЫМИ АДСОРБЕНТАМИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОДНЫХ СРЕД С ИЗВЕСТНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОРАСТВОРИМОГО АНАЛИТА

М.Ю. Лабаев<sup>1</sup>, И.А. Платонов

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: maxlabaev@gmail.ru*

В данной работе представлены результаты применения полимерных композиционных хромато-десорбционных систем (ХДС) для создания водных сред с известным содержанием аналита. Для улучшения эксплуатационных характеристик ХДС изготавливались с добавлением нанодисперсного адсорбента - диоксида кремния. В работе представлены результаты статической экстракции аналита из ХДС при температурах 25, 50, 75, 100, 125 градусов по Цельсию и давлении 150 бар. Концентрация в экстракте контролировалась методом ВЭЖХ с диодно-матричным детектированием. Данные системы могут применяться для установок и агрегатов, которые эксплуатируются в экстремальных условиях.

**Ключевые слова:** хромато-десорбционные системы, нанодисперсные адсорбенты, статическая экстракция, ОФ ВЭЖХ.

Поведение различных материалов при повышенных давлениях и температурах широко исследуется различными научными группами. В суровых условиях эксплуатации к подбору материалов следует относиться с большим вниманием [1]. В ряде случаев требуются материалы, которые выделяют вещества в необходимых контролируемых количествах для маркирования проходящей жидкости, с последующим аналитическим контролем этой жидкости различными инструментальными методами. Например, такая необходимость возникает для осуществления экологического контроля сточных вод предприятий или для контроля за перемещением и фильтрацией подземных флюидов.

Для решения вышеописанных задач были изготовлены композиционные хромато-десорбционные системы (ХДС) на основе полимерных смол с добавлением нанодисперсного адсорбента пирогенного диоксида кремния Аэросила 380. В качестве аналита был выбран синтетический краситель тартразин, поскольку он имеет хорошую термохимическую устойчивость, которая позволяет использовать его в установках и агрегатах эксплуатирующихся под высоким давлением и при повышенных температурах.

С полученными композиционными хромато-десорбционными системами проводили статическую экстракцию под давлением при различных температурах 25, 50, 75, 100, 125°C. Статическая экстракция проводилась на установке, состоящей из насоса высокого давления, термостата и экстрактора.

ХДС выдерживались при температуре на протяжении 3 ч, после чего раствор полученный раствор анализировался методом ОФ ВЭЖХ.

Применение нанодисперсного адсорбента позволяет получать равномерную структуру композита, за счёт чего зависимость извлечения аналита из полимерной матрицы имеет строгую степенную зависимость. По результатам регрессионного анализа экспериментальных точек зависимости извлечения аналита от времени для каждой температуры коэффициент детерминации  $R^2$  степенной зависимости превышает 0,95. Зависимость извлечения аналита от времени имеет вид (формула 1)

$$C = at^{-b} \quad (1),$$

где  $C$  – концентрация аналита мг/л,  $t$  – порядковый номер статической экстракции,  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнения степенной зависимости. В результате анализа коэффициентов уравнений, полученных при различных температурах, было выяснено что значение коэффициентов  $a$  и  $b$  имеют строго линейную зависимость от температуры, для данного температурного диапазона. С увеличением температуры коэффициент  $a$ , который отвечает за общий уровень получаемых концентраций пропорционально увеличивается, но в то же время коэффициент  $b$  отвечающий за скорость падения получаемых концентраций становится более отрицательным.

Композиционные ХДС на основе эпоксидных смол с использованием нанодисперсных адсорбентов демонстрируют стабильную работу при высоких давлениях до 150 бар и температурах до 125°C.

Коэффициенты степенных зависимостей извлечения аналита имеют линейную связь с температурой, при которой проводится статическая экстракция.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F.M. Shuaeib, K.Y. Benyounis, M.J. Hashmi, Material Behavior and Performance in Environments of Extreme Pressure and Temperatures. // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering., 2017, v. 183, p. 24-54.

## CHROMATO-DESORPTION SYSTEMS WITH NANODISPERSED ADSORBENTS FOR CREATING AQUEOUS MEDIA WITH A KNOWN CONTENT OF WATER-SOLUBLE ANALYTE

**M.Y. Labaev, I.A. Platonov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: maxlabaev@gmail.ru*

This paper presents the results of using polymer composite chromatograph desorption systems (CDS) to create aqueous media with a known analyte content. To improve the performance characteristics, CDS were manufactured with the addition of a nanodispersed adsorbent - silicon dioxide. The paper presents the results of static extraction of the analyte from CDS at temperatures of 25, 50, 75, 100, 125 degrees Celsius and a pressure of 150 bar. The concentration in the extractant was controlled by HPLC with diode-matrix detection. These systems can be used for installations and units that operate

under extreme conditions. Keywords: chromatographic desorption systems, nanodispersed adsorbents, static extraction, RP HPLC.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ ПРИ ДИФРАКЦИИ НА ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СПИРАЛЯХ

В.И. Логачев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: walle.log@yandex.ru*

В данной работе рассматривается способ формирования вихревых пучков при дифракции лазерного пучка на тонкой спиральной апертуре, формируемой  $n$ -угольниками, с наложением и без наложения спиральной фазовой пластинки (СФП) на входе.

**Ключевые слова:** оптический вихревой пучок, плотность потока энергии, орбитальный угловой момент, полигональная спираль.

Многие исследователи, проводящие эксперименты в области оптического захвата и манипуляции, сталкиваются с проблемой формирования лазерного пучка с определенным распределением плотности потока энергии (ППЭ) [1]. Часто за основу обычно берётся пучок Бесселя, однако специфические задачи требуют более сложных распределений ППЭ [2]. В таком случае на основе амплитудной или фазовой аподизации можно внести искажения в пучок Бесселя, в его распределение плотности орбитального углового момента (ОУМ) и, соответственно, порождаемое пучком распределение ППЭ.

В данной работе рассматривается способ формирования вихревых пучков при дифракции лазерного пучка на тонкой спиральной апертуре, формируемой  $n$ -угольниками, с наложением и без наложения спиральной фазовой пластинки (СФП) на входе. Круговая щель формирует пучок Бесселя нулевого порядка, в то время как спиралевидная щель формирует пучок Бесселя с ненулевым ОУМ, который убывает вдоль оси распространения [3]. В данной работе исследована зависимость распределения ОУМ от расстояния от входной плоскости при распространении вихревого пучка, формируемого при дифракции гауссова пучка на различных спиральных апертурах. Анализ показал, что полигональные спирали порождают вихревые пучки с ненулевым ОУМ. Хотя ОУМ таких пучков довольно мал, но его величина также уменьшается с ростом расстояния от входной плоскости, причём динамика зависит от типа световой спирали. Отмечено, что увеличение числа углов у полигональных апертур приводит к повышению значения ОУМ, а также что для неполных спиралей ОУМ несколько выше, чем для полных.

Полученные результаты могут быть полезны в области оптического захвата и манипулирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Y. Bekshaev, M.S. Soskin, Transverse energy flows in vectorial fields of paraxial beams

with singularities. // Opt. Commun, 2007, v. 271, p. 332-348.

2. S.N. Khonina, A.P. Porfirev, A.V. Ustinov, A.B. Muhammad, Generation of complex transverse energy flow distributions with autofocusing optical vortex beams. // Micromachines, 2021, v. 12, № 3, p. 297.
3. Y. Yang, X. Zhu, J. Zeng, X. Lu et al., Anomalous Bessel vortex beam: modulating orbital angular momentum with propagation. // Nanophotonics, 2018, v. 7, № 3, p. 677-682.

## **VORTEX BEAMS FORMATION SIMULATION DURING DIFFRACTION ON POLYGONAL SPIRALS**

**V.I. Logachev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: walle.log@yandex.ru*

In this paper, we consider a method for the vortex beams formation by diffraction of a laser beam on a thin spiral aperture formed by n-gons, with and without spiral phase plate (SFP) superposition at the input.

**Keywords:** optical vortex beam, energy flux density, orbital angular momentum, polygonal spiral.

## ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК9

Ю.В. Осинская, С.Г. Магамедова

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: oju76@mail.ru*

В работе представлены экспериментальные данные по микротвердости и параметрам тонкой структуры алюминиевого сплава АК9, состаренного при температуре 175 °С, времени отжига от 2 до 8 часов, в постоянном магнитном поле напряженностью 7 кЭ и в его отсутствие. Сформулированы основные наблюдаемые закономерности изменения структуры и свойств сплава.

**Ключевые слова:** старение, постоянное магнитное поле, магнитопластический эффект.

Известны различные способы использования внешнего воздействия на металлы и их сплавы с целью улучшения физико-механических свойств. Одним из таких методов является технология искусственного старения предварительно закаленного металлического сплава, которая приводит к существенному увеличению прочностных свойств. Как показано в [1], наложение постоянного магнитного поля (ПМП) на искусственное старение бериллиевой бронзы БрБ-2 приводит к значительному увеличению микротвердости данного сплава до ~30 %, изменению процессов фазообразования и магнитных свойств. На наш взгляд, представляет интерес выяснение степени общности эффекта влияния ПМП на процесс старения других металлических сплавов, в частности, на литейный алюминиевый сплав АК9.

Объектом исследований являлся алюминиевый литейный технический сплав АК9, основными легирующими добавками которого являются Si (~8.0 – 11.0 вес. %), Cu (~1.0 вес. %) и Fe (~1.3 вес. %), и содержащего неконтролируемые примеси до ~1.5 вес. %.

В закаленном состоянии среднее значение микротвердости составляет 80 кГ/мм<sup>2</sup>. При старении без наложения магнитного поля наблюдается увеличение микротвердости по сравнению с закаленным состоянием до 47 %. Повышение микротвёрдости сплава при старении можно объяснить тем, что в результате старения выделяются упрочняющие фазы (например, Mg<sub>2</sub>Si), которые тормозят движение дислокаций и тем самым приводят к возрастанию прочностных свойств сплава. Наложение ПМП на старение сплава приводит к уменьшению микротвердости до 25 %, при этом пластические свойства сплава возрастают, наблюдается положительный магнитопластический эффект [2]. Это можно объяснить тем, что при старении в ПМП тонкая структура алюминиевого сплава АК9 испытывает значительные изменения, становится более совершенной, однородной и менее искаженной, как показали результаты рентгеноструктурного анализа, представленные ниже. Вследствие этого, движущиеся дислокации встречают на своем

пути меньшее количество препятствий (фазы, границ зерен и т.д.), и сплав становится более пластичным.

Методом рентгеноструктурного анализа были определены параметры тонкой структуры (ПТС). Анализ полученных результатов показал, что значения средних размеров блоков когерентного рассеяния при наложении ПМП всегда больше, чем в его отсутствие, а величина относительной микродеформации и плотность дислокаций при наложении поля меньше, чем значения, полученные без него. Это свидетельствует о том, что структура сплава при наложении ПМП становится более однородной и совершенной. Установлено, что старение сплава в ПМП и без него при 4 ч приводит к уменьшению средних размеров блоков когерентного рассеяния до наноразмеров, данный факт может иметь практическое значение для получения наноматериалов с заданными свойствами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.В. Осинская, А.В. Покоев, С.В. Дивинский, С.Г. Магамедова Магнитные свойства бериллиевой бронзы БрБ-2, состаренной в постоянном магнитном поле. // Известия РАН. Серия физическая, 2022, т. 86, № 11, с. 1545–1552.
2. В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева, Е.А. Петржик Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы. // Кристаллография, 2003, т. 48, № 5, с. 838-867.

### TERMOMAGNETIC TREATMENT TECHNOLOGY ALUMINUM ALLOY AK9

**J.V. Osinskaya, S.G. Magamedova**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: oju76@mail.ru*

The paper presents experimental data on microhardness and fine structure parameters of aluminum alloy AK9, aged at a temperature of 175 °C, annealing time from 2 to 8 hours, in a constant magnetic field of 7 kOe and in its absence. The main observable patterns of changes in the structure and properties of the alloy are formulated.

**Keywords:** aging, constant magnetic field, magnetoplastic effect.

## ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95ПЧ

Ю.В. Осинская, С.Р. Макеев

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: oju76@mail.ru*

В работе представлены экспериментальные результаты влияния постоянного магнитного поля напряженностью 7 кЭ длительностью от 2 до 8 ч при температуре 140 °С на структуру и свойства состаренного алюминиевого сплава В95пч. Сформулированы основные наблюдаемые закономерности изменения структуры и свойств сплава.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав В95пч, термомагнитная обработка, магнитопластический эффект, ультрамелкозернистая структура.

Современная промышленность требует от конструкционных материалов все больше уникальных физико-механических свойств, используемых в различных условиях. В связи с этим, актуальным является разработка новых технологий обработки металлов и сплавов, в частности алюминиевых, с повышенными прочностными и пластическими свойствами. В последние годы наблюдается повышенный интерес к изучению влияния постоянного магнитного поля (ПМП) на процесс старения алюминиевых сплавов. Так как в результате этого воздействия формируется наноструктура сплава с повышенными прочностными характеристиками. В связи с этим, целью данной работы является комплексное экспериментальное исследование влияния ПМП на микроструктуру и величину магнитопластического эффекта состаренного алюминиевого сплава В95пч.

Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера HAUSER, полученные данные приведены на рисунке 1. Из рисунка 1 видно, что после старения в течение 2 ч без наложения ПМП наблюдается существенное возрастание микротвердости, что объясняется процессами старения. Известно [1], что при старении металлического сплава выделяются фазы (в частности, в данном случае –  $MgZn_2$ ), которые тормозят движение дислокаций и тем самым, приводят к возрастанию прочностных свойств сплава. Наложение ПМП на старение сплава приводит к увеличению микротвердости до ~21 %. Наблюдается отрицательный магнитопластический эффект (МПЭ) [2] Увеличение микротвердости объясняется тем, что при наложении ПМП в сплаве возникают более высокие микронапряжения и микродеформации. Это создает большее количество препятствий (фазовые выделения, межфазные границы и примеси) для движения дислокаций, что повышает прочность исследуемого сплава.

Методом рентгеноструктурного анализа были определены средние размеры блоков когерентного рассеяния и величины относительной микродеформации. Установлено, что значения величины относительной микродеформации при наложении ПМП всегда

больше, чем в его отсутствие. Это свидетельствует о том, что структура сплава при наложении ПМП становится более искаженной, чем в его отсутствие. Кроме этого обнаружено, что наложение ПМП на процесс старения сплава приводит к уменьшению средних размеров блоков когерентного рассеяния до наноразмеров, данный факт имеет большое научное и практическое значение для получения наноматериалов с заданными свойствами.

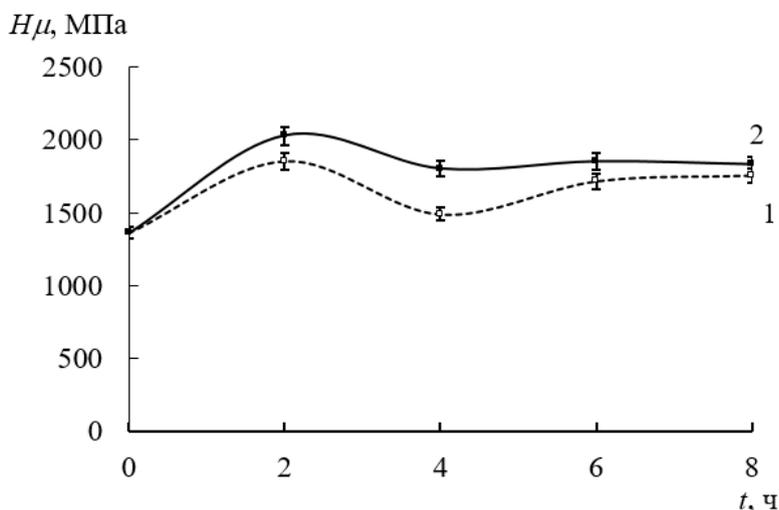


Рис.1. Зависимость микротвердости алюминиевого сплава B95пч от времени старения: 1 – старение без наложения ПМП, 2 – старение в ПМП

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.В. Шеметев. Алюминиевые сплавы: состав, свойства, применение: учеб. пособие для вузов. // СПб: Санкт-петербургский гос. политех. ун-т, 2012, 155 с.
2. В.И. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева, Е.А. Петржик Магнитоупругий эффект: основные свойства и физические механизмы. // Кристаллография, 2003, т. 48, № 5, с. 838-867.

## THE TECHNOLOGY OF THERMOMAGNETIC PROCESSING OF ALUMINUM ALLOY B95pch

**Yu.V. Osinskaya, S.R. Makeev**

*Samara National Research University,*

*(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: oju76@mail.ru*

The paper presents experimental results of the influence of a constant magnetic field with a strength of 7 kOe and a duration of 2 to 8 hours at a temperature of 140 °C on the structure and properties of aged aluminum alloy B95pch. The main observed patterns of changes in the structure and properties of the alloy are formulated.

**Keywords:** aluminum alloy B95h, thermomagnetic treatment, magnetoplastic effect, ultrafine-grained structure.

## МИКРОФЛЮИДНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Маргарян А.Э., Платонов И.А., Колесниченко И.Н., Новикова Е.А.

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: pia@ssau.ru*

Разработана технология изготовления планарных микрофлюидных концентраторов (МФК) на основе Силагерма 8040: изготовление шаблона, изготовление форм, герметизация, заполнение сорбентом. Показано, что МФК на основе Силагерма 8040, заполненные сорбентом Порапак-Q, позволяют в идентичных условиях осуществлять пробоподготовку и калибровку, при этом совместить стадию отбора пробы и концентрирования. Установлены оптимальные условия концентрирования ацетона с использованием МФК, при которых достигается максимальное значение коэффициента концентрирования, равное 43.

**Ключевые слова:** анализ выдыхаемого воздуха, сахарный диабет, биомаркер, ацетон, пробоотбор, пробоподготовка, сорбция, десорбция.

Повышение эффективности диагностики различных заболеваний достигается за счет развития методов неинвазивной диагностики, которые позволяют выявлять заболевания на ранних стадиях, исключая при этом физический и эмоциональный дискомфорт пациента. К неинвазивным методам диагностики можно отнести анализ газообразных компонентов, входящих в состав выдыхаемого воздуха.

Выдыхаемый воздух - это многокомпонентная смесь, состоящая из тысячи летучих органических соединений (ЛОС), содержание которых может показывать нормальное или патологическое состояние здоровья человека. Около 20 из них используются в качестве биомаркеров различных заболеваний. В число селективных соединений входит ацетон, который образуется в результате окисления жиров. Его повышенное содержание в выдыхаемом воздухе сигнализирует об избыточном уровне глюкозы в крови, что позволяет использовать ацетон в качестве биомаркера сахарного диабета [1,2].

Так как ацетон в выдыхаемом воздухе находится на уровне микропримесей, возникает необходимость предварительного концентрирования для увеличения чувствительности и точности определения.

Целью настоящего исследования является разработка планарных МФК для количественного анализа ацетона в сложных смесях с высокой точностью и чувствительностью методом газовой хроматографии.

Сорбционное концентрирование в динамическом режиме с использованием МФК проводится путем пропускания полученной модельной газовой смеси «ацетон в воздухе» с концентрацией  $2,54 \text{ мг/м}^3$  при  $t = 0^\circ\text{C}$  до появления проскока.

Проведение десорбции с использованием МФК на основе Порапака-Q осуществляется при температурах  $50^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  в динамическом режиме путем пропускания очищенного воздуха со скоростью  $0,5 \text{ мл/сек}$  (время проведения десорбции

составляет одну секунду). Выходящий поток анализируется газохроматографическим методом. Главным достоинством данной системы является возможность включения ее в состав газового микрохроматографа. Полученный аналитический комплекс является мобильным, что позволяет использовать его для проведения неизвазивной диагностики во внелабораторных условиях.

Установлены оптимальные условия концентрирования ( $t_{\text{сорб}}=0^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{дес}}=70^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{\text{сорб}} = 45$  мл,  $t_{\text{дес}} = 1$  сек) с использованием МФК, заполненных сорбентом Порапак- Q, при которых достигнуто максимальное значение коэффициента концентрирования, равное 43.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. Turner, C. Walton, S. Hoashi, M. Evans, Breath acetone concentration decreases with blood glucose concentration in type I diabetes mellitus patients during hypoglycaemic clamps. // J. Breath. Res., 2009, v. 3, № 4, p. 456-464.
2. Ф.Ю. Копылов, А.Л. Сыркин, П.Ш. Чохамидзе, Перспективы диагностики различных заболеваний по составу выдыхаемого воздуха. // Клиническая медицина, 2013, № 10, с. 16-21.

## MICROFLUIDIC CONCENTRATORS FOR THE DETERMINATION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

Margarian A.E., Platonov I.A., Kolesnichenko I.N., Novikova E.A.

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: pia@ssau.ru*

The technology of manufacturing planar microfluidic concentrators (MFCs) based on Silagerm 8040 has been developed: template manufacturing, mold manufacturing, sealing, sorbent filling. It is shown that IFC based on Silagerm 8040 filled with Porapak-Q sorbent allows sample preparation and calibration under identical conditions, while combining the sampling and concentration stage. Optimal conditions for the concentration of acetone using IFC have been established, at which the maximum value of the concentration coefficient is reached, equal to 43.

**Keywords:** exhaled air analysis, diabetes mellitus, biomarker, acetone, sampling, sample preparation, sorption, desorption.

## КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОФАЗНОЙ РЕАКЦИИ ВИНИЛЬНОГО РАДИКАЛА С МОЛЕКУЛОЙ ТРИУГЛЕРОДА

А.А. Николаев<sup>1,2</sup>, В.Н. Аязов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: nikolayev\_tolya57@inbox.ru

Работа посвящена изучению химической реакции в газовой фазе винильного радикала ( $C_2H_3$ ) с молекулой триуглерода ( $C_3$ ) в скрещенных молекулярных пучках в условиях однократных столкновений, имитирующих астрохимические условия глубокого космоса. Наряду с атомарным углеродом и диуглеродом, реакции триуглерода с ненасыщенными углеводородами и их радикалами приводят к более крупным углеводородным цепям с закрытой или открытой оболочкой (в частности, резонансно-стабилизированные свободные радикалы) при дефиците атомов водорода.

**Ключевые слова:** газовая фаза, скрещенные молекулярные пучки, астрохимия, ненасыщенные углеводороды, триуглерод, резонансно-стабилизированные свободные радикалы.

В течение последних десятилетий холодные молекулярные облака, такие как молекулярное облако Тельца (ТМС-1), были признаны естественными лабораториями макроскопического масштаба, обогащающими наши знания о молекулярном составе межзвездных углеводородов – молекул, содержащих только углерод и водород, – посредством астрономических наблюдений в радиотелескопах. В то время как экспериментальные исследования в молекулярных пучках вместе с расчетами электронной структуры предоставили фундаментальные знания об элементарных механизмах реакций, приводящих к ароматическим соединениям в молекулярных облаках, понимание внутренних путей реакций для их предшественников углеводородов C1–C6 еще не полностью достигнуто [1].

На рисунке 1 показана краткая схема реакции  $C_2H_3 + C_3$ , приводящей к дублетной поверхности потенциальной энергии  $C_5H_3$  и, в конечном счете, к продуктам отрыва атомарного водорода  $C_5H_2$ . Реакция может идти по двум связанным между собой каналам: TS1a и TS1b показывают безбарьерное присоединение  $C_2H_3$  и  $C_3$  друг к другу с образованием ациклического и циклического аддуктов, причем путь «а» характеризует изомеризацию ациклических интермедиатов, впоследствии идущих на ациклические продукты, тогда как «b» связан с циклическими структурами. Ввиду того, что триуглерод имеет продолговатую структуру, состоящую из трех атомов углерода, механизм внедрения с данной молекулой не наблюдался. В процессе реакции можно выделить 4 основных продукта P1–P4, три из которых ациклические. Однако, наиболее вероятным является образование циклического продукта P1+H, что подтверждается экспериментальными исследованиями.

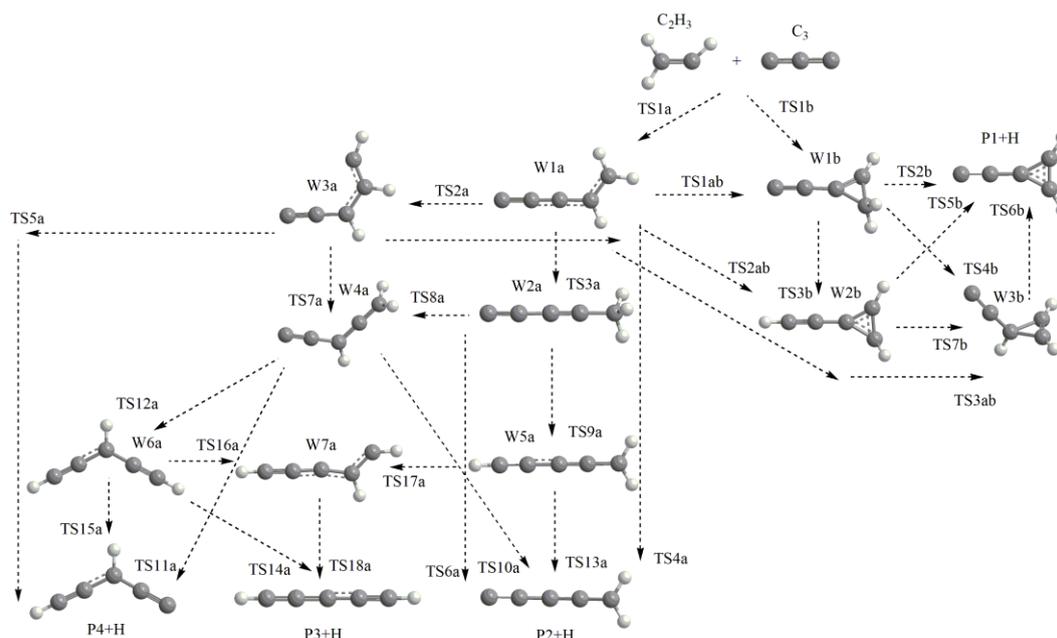


Рис. 1. Схема основных путей реакции винильного радикала с молекулой триуглерода

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.M. Mebel, M. Agúndez, J. Cernicharo, R.I. Kaiser, Elucidating the Formation of Ethynylbutatrienylidene (HCCCCHCC;  $X^1A'$ ) in the Taurus Molecular Cloud (TMC-1) via the Gas-phase Reaction of Tricarbon ( $C_3$ ) with the Propargyl Radical ( $C_3H_3$ ). // The Astrophysical Journal Letters, 2023, v. 945, № 2, p. L40.

## THE QUANTUM-CHEMICAL STUDY OF GAS-PHASE REACTION OF VINYL RADICAL WITH TRICARBON

A.A. Nikolayev<sup>1,2</sup>, V.N. Azyazov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: nikolayev\_tolya57@inbox.ru

The work is devoted to the study of the gas-phase chemical reaction of the vinyl radical ( $C_2H_3$ ) with the tricarbon molecule ( $C_3$ ) in crossed molecular beams under single collision conditions simulating astrochemical conditions of deep space.

**Keywords:** gas phase, crossed molecular beams, astrochemistry, unsaturated hydrocarbons, tricarbon, resonance-stabilized free radicals.

## ПЕРЕПУТЫВАНИЕ В ДВУХКУБИТНОЙ МОДЕЛИ ТАВИСА-КАММИНГСА ПРИ НАЛИЧИИ ДИПОЛЬ-ДИПОЛЬНОГО И ИЗИНГОВСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУБИТОВ

**А. Осман, Е.К. Башкиров**

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: bashkirov.ek@ssau.ru*

Исследована динамика перепутывания двух кубитов, взаимодействующих с тепловым одномодовым полем резонатора без потерь, с учетом прямой диполь-дипольной и изинговской связи между кубитами. Получено точное решение для временной матрицы плотности изучаемой системы. На его основе рассчитана временная зависимость отрицательности кубитов для различных параметров модели. Результаты расчетов показали, что прямое взаимодействие приводит к существенному увеличению степени перепутывания кубитов, а также может, при определенных условиях, приводить к исчезновению эффекта мгновенной смерти перепутывания. **Ключевые слова:** кубиты, тепловое поле, диполь-дипольно взаимодействие, изинговское взаимодействие, мгновенная смерть перепутывания.

Для организации связи удаленных друг от друга кубитов в устройствах квантовой обработки информации используют электромагнитные поля резонаторов [1]. В последние годы были экспериментально реализованы многочисленные схемы генерации, контроля и управления перепутыванием кубитов различной физической природы (ридберговских атомов, ионов магнитных ловушках, примесных спинов, квантовых точек и др.) [1]. Теоретические исследования таких систем обычно базируются на модели Джейнса-Каммингса (МДК) и ее обобщениях и расширениях [2]. Одним из основных препятствий на пути к созданию надежных квантовых вычислительных систем является внезапная смерть перепутывания (МСП). Впервые это явление было теоретически предсказано Ю и Эберли [3], а затем обнаружено экспериментально. Представляется важным исследовать условия, при которых возможно подавление данного эффекта.

В настоящей работе исследовано влияние прямого диполь-дипольного и изинговского взаимодействия на динамику перепутывания двух кубитов, взаимодействующих с модой теплового электромагнитного поля в идеальном резонаторе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

9. I.M. Georgescu, S. Ashhab, F. Nori, Quantum simulation. // Rev. Mod. Phys., 2014, v. 88, p. 153-185.

10. J. Larson, T. Mavrogordatos, S. Parkins, A. Vidiella-Barranco, The Jaynes–Cummings model: 60 years and still counting. // *J. Opt. Soc. Am. B*, 2024, v. 41, p. JCM1-JCM4.
11. T. Yu, J.H. Eberly, Sudden death of entanglement. // *Science*, 2009, v. 323, p. 598-601.

## **ENTANGLEMENT IN TWO-QUBIT TAVIS-CUMMINGS MODEL WITH TAKING INTO ACCOUNT DIPOLE-DIPOLE AND ISING INTERACTION**

**A. Othman, E.K Bashkirov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: bashkirov.ek@ssau.ru*

The dynamics of entanglement of two qubits interacting with a thermal single-mode field of the resonator, taking into account the direct dipole-dipole and Ising connection between the qubits, is studied. An exact solution for the time density matrix of the system under study is obtained. On its basis, the time dependence of the negativity of qubits for different model parameters is calculated. The results of calculations show that direct interaction leads to a significant increase in the maximal degree of qubits, and can, at certain values of model parameters, lead to the disappearance of the effect of the sudden death of entanglement.

**Keywords:** qubits, thermal field, dipole-dipole interaction, Ising interaction, sudden death of entanglement.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИРТА ЛИМОННОГО КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ НАПИТКОВ

Г.А. Пушкарев<sup>1</sup>, И.А. Платонов<sup>1</sup>, Л.В. Павлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: pushkarevga@gmail.com*

Исследование компонентного состава мирта лимонного проводилось оцениванием полученных водных и водно-этанольных экстрактовс применением метода газовой хромато-масс-спектрометрии. После идентификации компонентов проводилась оценка их биологического воздействия на организм человека.

**Ключевые слова:** мирт лимонный, экстракция, ГХ-МС, субкритическая экстракция, компонентный состав.

Мирт лимонный (*Backhousia citriodora*) является малоизученным растением. Для изучения состава аромата мирта лимонного был проведен анализ газового экстракта измельченных листьев мирта лимонного [1]. Водный экстракт мирта лимонного получали, заливая водой при температуре 95-100 и 100°C, настаивали 30 мин. Для более детального изучения компонентного состава из мирта лимонного приготовили экстракт 70% этанолом посредством настаивания в течение 7 дней [2]. Также проводилась субкритическая экстракция компонентов сырья водой при температуре 110 и 130°C. Помимо этого была проведена оценка извлечение компонентов в условиях среды ЖКТ. Для этого растительное сырье заливалось водой при 100°C. Полученный раствор подкислялся до pH=1, и в течение часа выдерживался при 37,5°C, после чего проводился отбор пробы. Оставшийся раствор был подщелачен до pH=8, так же выдерживался при 37,5°C один час и снова проводился отбор пробы. Газовый, водный и спиртовой экстракты мирта лимонного были исследованы методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). При этом компоненты водного экстракта были подвергнуты переэкстракции этилацетатом, после полученный этилацетатный экстракт, как и спиртовой экстракт, дериватизировали БСТФА в соответствии с [3] и затем вводили в хроматограф.

Ароматические характеристики мирта лимонного включают 29 соединений. Установлено, что доминирующими компонентами аромата мирта лимонного являются изомеры цитраля. Кроме цитралей в газовом экстракте мирта присутствуют мелональ, гераниол, розефуран, борнеол, фуран, цис-оцимен, D-лонгифолен, вербенол. В ходе анализа водного экстракта помимо цитралей обнаружены такие вещества как линалоол, гераниол, цитронеллол – производные цитраля. Таким образом, водный настой обладает похожими ароматическими характеристиками с сухими сырьём. Водные экстракты во многом повторяют друг друга, однако в экстракте, полученном при кипении, было найдено большее количество алканов. Также в этом экстракте найдены такие соединения как L-метионин, эпикатехин, лигнотериловый спирт. Субкритические экстракты расширяют спектр найденных веществ. Так в экстракте, полученном при 110°C, была обнаружена фумаровая кислота, луценин-2, 2-фенилсерин, а в экстракте, полученном при 130°C – резорцин, α-терпинен, лизин. Анализ спиртового экстракта показал, что

доминирующими компонентами составе мирта лимонного являются различные сахара - глюкоза, D-фруктоза, D-рибоза, глюкофураноза, а так же жирные кислоты: азелаиновая, гексакозановая. Также в мирте лимонном содержатся лупенон, фитол, L-пролин, эти компоненты, как и  $\beta$ -америн,  $\beta$ -ситостирол,  $\alpha$ -токоферол, не были обнаружены в водном экстракте, но при приготовлении напитка, возможен переход данных соединений в водный экстракт в следовых количествах. Анализ проб, подготовленных в рамках исследования процесса экстракции в условиях среды внутри органов ЖКТ, во многом повторил предыдущие анализы, но также и были открыты некоторые новые соединения, в частности, ацетоуксусная кислота, аконитовая кислота, треоза. Также анализ полученных проб показал, что в кислой среде желудка вероятно происходит гидролиз сложных эфиров, и высвобождаются многоатомные спирты и карбоновые кислоты.

На основании установленного компонентного состава, можно предположить, что мирт лимонный обладает антисептическими, противовирусными, бактерицидными, антимикотическими свойствами, седативным и отхаркивающим действием и является отличным сырьём в приготовлении напитков, вкусо-ароматических добавок и, возможно, может стать хорошей добавкой к продуктам функционального питания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.В. Павлова, И.А. Платонов, В.Г. Архипов, В.А. Куркин, И.Ю. Рощупкина, Газохроматографический анализ ромашки аптечной (*Chamomilla recutita* R.) // Аналитика и контроль. 2013, т. 17, № 1, с. 66-75.
2. Государственная Фармакопея СССР. - 11-е издание / МЗ СССР. - Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье // М.: Медицина, 1990, 400 с.
3. Н.А. Верниковская, Хроматографическое определение фенольных соединений и флавоноидов в лекарственных растениях. Автореф. дис. канд.хим.наук: 02.00.02 / Верниковская Наталья Андреевна. // Краснодар, 2011, 23 с.

## THE STUDY OF LEMON MYRTLE AS A POTENTIAL RAW MATERIAL FOR THE PREPARATION OF BEVERAGES

G.A. Pushkarev<sup>1</sup>, I.A. Platonov<sup>1</sup>, L.V. Pavlova

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: pushkarevga@gmail.com*

The study of the component composition of lemon myrtle was carried out by evaluating the obtained aqueous and aqueous-ethanol extracts using the method of gas chromatography-mass spectrometry. After the identification of the components, their biological effects on the human body were assessed.

**Keywords:** lemon myrtle, extraction, GC-MS, subcritical extraction, component composition.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ СВЕТОМ С ПОМОЩЬЮ, ВСТРОЕННОЙ В СТРУКТУРУ С ТАММОВСКИМ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОМ МЕТАПОВЕРХНОСТИ, ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ

Д.А. Пыхтин<sup>1,2</sup>, Ю.В. Конов<sup>1,2</sup>, Р.Г. Бикбаев<sup>1,2</sup>, И.В. Тимофеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН*

*(660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50/38)*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет*

*(660100, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 28)*

*e-mail: dmitry\_pykhtin@iph.krasn.ru*

В работе продемонстрирована возможность управления интенсивностью дифракционных максимумов за счет сопряжения метаповерхности геометрической фазы (Панчаратнама–Берри) со структурой, обеспечивающей возбуждение таммовского плазмон-поляритона. Показано, что переключение изготовленной из антимонита метаповерхности из аморфного состояния в кристаллическое, совместно с изменением поляризации падающего излучения, приводит к перераспределению интенсивности между 0 и  $\pm 1$  порядками дифракции.

**Ключевые слова:** метаповерхность, геометрическая фаза, таммовский плазмон-поляритон, антимонит.

В данной работе продемонстрирована возможность управления интенсивностями дифракционных максимумов для света с круговой поляризацией, отраженной от метаповерхности Панчаратнама–Берри [1] на основе антимонита (сульфида сурьмы III,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), сопряженной со структурой металл-фотонный кристалл, в которой возбуждается таммовский плазмон-поляритон [2].

На рисунке 1(а) представлено схематическое изображение исследуемой структуры. Метаповерхность из антимонитовых нанокирпичей расположена на золотой пленке, сопряженной с одномерным фотонным кристаллом. Суперъячейка метаповерхности состоит из 4 нанокирпичей, повернутых друг относительно друга на 30 градусов. Высота нанокирпича  $h = 200$  нм, ширина  $w = 200$  нм, длина  $l = 400$  нм. Толщина пленки золота равна 35 нм. Толщина каждого слоя диоксида кремния равна 269 нм, а диоксида титана – 158 нм. Фотонный кристалл состоит из чередующихся слоев диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) и диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ). Количество слоев фотонного кристалла  $N = 21$ .

Из рисунка 1(б) видно, что переключение антимонита из аморфной фазы в кристаллическую приводит к существенному изменению дифракционной картины. Для света с правой круговой поляризацией максимальна интенсивность  $+1$  порядка дифракции, а для света с левой круговой поляризацией – интенсивность  $-1$  порядка. Таким образом, изменяя поляризацию падающего поля, можно управлять интенсивностями  $\pm 1$  порядка дифракции.

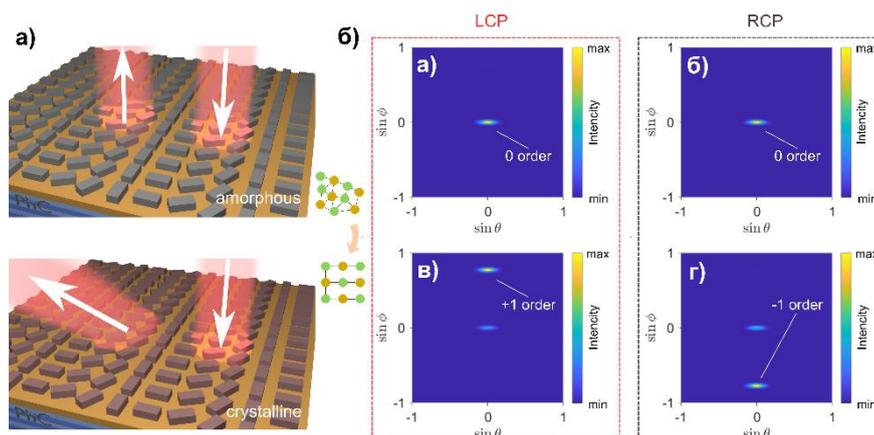


Рис. 1. (а) Схематическое изображение исследуемой структуры. (б) Пространственное распределение интенсивности света в дальнем поле для света с левой круговой поляризацией (а,в) или с правой круговой поляризацией (б,г), в аморфной (а,б) или кристаллической (в,г) фазе антимонита

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 24–12–00236, <https://rscf.ru/project/24-12-00236/>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. А. Ремнев, В. В. Климов, *Метаповерхности: новый взгляд на уравнения Максвелла и новые методы управления светом.* // УФН, 188:2, 2018, с. 169-205.
2. M. Kaliteevski, I. Iorsh, S. Brand, R. A. Abram, J. M. Chamberlain, A. V. Kavokin, I. A. Shelykh, *Tamm plasmon-polaritons: Possible electromagnetic states at the interface of a metal and a dielectric Bragg mirror.* // Physical Review B., 2007, v. 76, p. 1996.

## DYNAMIC LIGHT CONTROL BY GEOMETRIC PHASE METASURFACE INCORPORATED TO TAMM PLASMON POLARITON STRUCTURE

D. A. Pykhtin<sup>1,2</sup>, Y. V. Konov<sup>1,2</sup>, R. G. Bikbaev<sup>1,2</sup>, I. V. Timofeev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physics named after L.V. Kirensky SB RAS  
(Akademgorodok str., 50/38, Krasnoyarsk, Russia, 660036)*

<sup>2</sup>*Siberian Federal University,  
(Akademika Kirenskogo str., 28, Krasnoyarsk, Russia, 660100)*

*e-mail: dmitry\_pykhtin@iph.krasn.ru*

The paper demonstrates the ability to manipulate diffraction order intensity by combining a geometric phase (Pancharatnam-Berry phase) metasurface and a Tamm plasmon polariton based structure. It is shown that, when a meta-atom composed of antimony oxide undergoes a transition from an amorphous to a crystalline state, accompanied by a change in the polarization of the incident light, there is a redistribution of intensity between 0 and  $\pm 1$  diffraction orders.

**Keywords:** metasurface, geometric phase, tamm plasmon-polariton, antimonite.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ И ГЕРМАНИЯ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

А.В. Рудый<sup>1,2</sup>, Я.В. Ульянов<sup>1,3</sup>, С.В. Дианов<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
(115409, г. Москва, Каширское ш., 31)*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
(123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1)*

<sup>3</sup>*Государственный лазерный полигон «Радуга»,  
(600910, г. Радужный, а/я 771)*

<sup>4</sup>*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых,  
(600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)  
e-mail: rudyialex1990@gmail.com*

В работе сравниваются наночастицы Si и Ge, синтезированные методом импульсного лазерного осаждения на кремниевой подложке. Структурные и фотолюминесцентные свойства анализировались с использованием СЭМ, рентгеновской дифракции и рамановской спектроскопии. Результаты показали различия в структуре частиц, кластеризации и фотолюминесценции, причем Ge демонстрирует интенсивное синее излучение, а Si демонстрирует красное излучение. Также был проведён сравнительный анализ суспензий наночастиц Si и Ge.

**Ключевые слова:** импульсное лазерное осаждение, наночастицы кремния, наночастицы германия, фотолюминесцентный анализ.

В работе сравниваются данные исследований наночастиц кремния (Si) и германия (Ge). Эти наночастицы были синтезированы методом импульсного лазерного осаждения в газовой среде, образуя плёнки на кремниевой подложке. Камера была откачана до  $10^{-7}$  Торр, и в процессе осаждения вводились буферные газы в различных пропорциях. Материал наносился на подложку, расположенную на расстоянии 2 см от мишени. Структурный, элементный и фазовый составы плёнок были определены с помощью СЭМ, рентгеновской дифракции и спектроскопии комбинационного рассеяния света. Результаты спектроскопии комбинационного рассеяния света показали, что нанозёрна германия образованы кристаллами с менее структурированной формой, более высокой тенденцией к кластеризации и размером частиц около 1 мкм. Наночастицы кремния, напротив, демонстрировали более структурированную форму и были менее склонны к агломерации.

Для всех образцов Ge на подложке Si наблюдалась широкая фотолюминесценция (ФЛ) при возбуждении на длине волны 350 нм. Давление газа не влияло на длину волны ФЛ, но влияло на интенсивность излучения. Все образцы показали выраженный пик излучения при 430 нм, интенсивность которого увеличивалась с ростом давления гелия

и уменьшалась с добавлением азота. Кремниевые наночастицы, полученные в аналогичных условиях, показали больше вариаций в своих спектрах из-за условий осаждения, вероятно, вызванных пассивацией азотом кремниевых нанокристаллов и излучательными переходами в аморфном оксинитриде кремния, образованном на поверхности нанокристаллов. Спектры при одинаковых условиях откачки газа продемонстрировали различия в флуоресценции между материалами: Ge показал более сильную линию ФЛ с пиком в синей области, в то время как Si имел пик в красной области.

Затем наночастицы растворяли в суспензии путем механического соскабливания пленки, помещали ее в 96% этанол и обрабатывали ультразвуком в течение 30 минут. Суспензии анализировали на предмет структурного, элементного и фазового состава, уделяя особое внимание их фотолуминесцентным свойствам. Ключевой результат был получен, после нескольких попыток направить лазерный луч на кластеры частиц. Был проведен сравнительный анализ результатов для кремния и германия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.A. Fronya, S.V. Antonenko, A.Y. Kharin et al. Tailoring photoluminescence from Si-based nanocrystals prepared by pulsed laser ablation in He-N<sub>2</sub> gas mixtures. // *Molecules*, 2020, v. 25, p. 440-452.

## PROPERTIES OF SILICON AND GERMANIUM NANOPARTICLES SYNTHESIZED IN GAS

**A.V. Rudy<sup>1,2</sup>, Y.V. Ulyanov<sup>1,3</sup>, S.V. Dianov<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup>*National Research Nuclear University "MEPhI",  
(Kashirskoe hwy., 31, Moscow, Russia, 115409)*

<sup>2</sup>*National Research Centre "Kurchatov Institute",  
(Akademika Kurchatova pl., 1, Moscow, Russia, 123182)*

<sup>3</sup>*State Laser Polygon "Raduga",  
(p.o. box 771, Raduzhyi. Russia, 600910)*

<sup>4</sup>*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
(Gorkogo str., 87, Vladimir, Russia, 600000)  
e-mail: rudyialex1990@gmail.com*

This study compares Si and Ge nanoparticles synthesized by pulsed laser deposition on a silicon substrate. Structural and photoluminescent properties were analyzed using scanning electron microscopy, X-ray diffraction, and Raman spectroscopy. The results showed distinct differences in particle structure, clustering, and photoluminescence, with Ge exhibiting more intense blue emission and Si showing red emission. A comparative analysis of Si and Ge nanoparticle suspensions was also performed.

**Keywords:** pulsed laser deposition, silicon nanoparticles, germanium nanoparticles, photoluminescence analysis.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ

А. А. Салтанова, Е. А. Новикова, И. А. Платонов

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: Saltanovaalena324@gmail.com*

В данной работе представлены результаты выбора оптимального метода определения фторорганического соединения в композиционном полимерном материале для разработки метода оценки качества данного материала. В работе описаны жидкостная экстракция и парофазный анализ полимерных образцов. Оптимальные условия были достигнуты при проведении парофазного анализа: температура термостатирования 70 °С, время термостатирования 30 минут. В этом случае концентрация составила  $91,7 \pm 4,3$  мкг/г (OSKO = 1,7%).

**Ключевые слова:** галогенорганические соединения, фторсодержащие органические соединения, анализ газовых сред, парофазный анализ, жидкостная экстракция, газохроматографический анализ.

Современная химическая промышленность позволяет получать широкий ассортимент материалов различного назначения. Разработка нового материала всегда требует параллельной разработки способа оценки его качества. В частности, одним из принципов оценки качества материала является определение в нем отдельных ключевых компонентов. Целью исследования является выбор оптимального способа определения фторорганического соединения в композиционном полимерном материале для дальнейшей разработки метода оценки качества данного материала. Объектом исследования являлось фторорганическое соединение – 1,1,1,2,2,4,5,5,5-нонафтор-4-(трифторметил)-3-пентанон [1].

Для количественного определения содержания фторорганического соединения в полимерном композиционном образце был выбран метод газовой хроматографии с электронно-захватным детектором [2].

Для определения фторсодержащего соединения в композиционном полимерном материале методом жидкостной экстракции было отобрано 3 образца (180 · 6 · 3 мм). Каждый образец помещали в пенициллиновые флаконы и заливали 12 мл гексана. Пробы в гексане перемешивали 10 минут. По истечении времени с помощью микрошприца объемом 10 мкл из пенициллинового флакона отбирали смесь и проводили газохроматографический анализ. Для проведения парофазного анализа было выбрано 18 образцов 1080 · 6 · 3 мм. Каждый образец помещали в пенициллиновый флакон, который помещали в термостат при температурах 70, 90 и 110°С на 10, 20, 30, 40, 50 и 60 минут. По истечении времени из пенициллинового флакона с помощью газоплотного микрошприца объемом 500 мкл отбирали газовую смесь, которую разбавляли в 5, 25, 125 и 625 раз воздухом. Разбавленную смесь вводили в газовый хроматограф [3].

В ходе работы было определено, что градуировочные зависимости для данного соединения имеют кусочно-линейный вид. При реализации жидкостной экстракции было установлено, что время пробоподготовки составляет 210 минут, при этом концентрация аналита равна -  $0,028 \pm 0,006$  мкг/г (ОСКО – 8,5 %). При реализации парофазного анализа были определены оптимальные условия: температура термостатирования 70°C, время термостатирования 30 минут. При этом концентрация составила  $91,7 \pm 4,3$  мкг/г (ОСКО = 1,7 %).

Таким образом, для дальнейшей работы с композиционными полимерными материалами и оценки их качества по совокупности параметров рекомендован парофазный анализ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л. В. Бочкарева, Газохроматографическое определение летучих галогенорганических соединений в воде с жидкофазным микроэкстракционным концентрированием: специальность 02.00.02 "Аналитическая химия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. // Нижний Новгород, 2015, 22 с.
2. А. Л. Пахомов, Е. А. Чудин, В. Е. Столяров, Парофазный хроматографический метод определения хлорорганических соединений в нефти. // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2021, т.4, № 573, с. 6-15.
3. F. Menger, Hidden in the Water. // Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, 2021, p. 33.

## DETERMINATION OF ORGANOFLOURINE COMPOUNDS IN COMPLEX ORGANIC MATRICES

**A.A. Saltanova, E. A. Novikova, I. A. Platonov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: Saltanovaalena324@gmail.com*

The selection results to the optimal method for determining an organofluorine compound in a composite polymer material to develop a quality assessment method of this material are presented in this work. Liquid extraction and vapor phase analysis of polymer samples are described in the work. The optimal conditions were achieved during the vapor phase analysis: thermostating temperature of 70°C, thermostating time of 30 minutes. In this case, the concentration was  $91.7 \pm 4.3$   $\mu\text{g} / \text{g}$  (OSKO = 1.7%).

**Keywords:** organohalogen compounds, fluorine-containing, organic compounds, gas analysis, vapor phase analysis, liquid extraction, gas chromatographic analysis.

## ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИРОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФЕРРИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА

Т.П. Ткаченко, В.А. Барбашов, М.В. Минченко, Е.П. Пожидаев

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
(119991 Москва, Ленинский проспект, д.53)  
e-mail: tptkachenko@lebedev.ru*

Исследован разработанный авторами широкотемпературный ферриэлектрический жидкий кристалл (ФЖК) FerriLCM-1. Проведен анализ влияния толщины слоя ФЖК, температуры, частоты и формы управляющего сигнала на электрооптические характеристики. Показано, что у ФЖК существует температура, при которой реализуется максимальная величина эффективного электроуправляемого двулучепреломления 0.022 на длине волны 532 нм, при этом времена электрооптического отклика составляют около 100 мкс.

**Ключевые слова:** ферриэлектрический жидкий кристалл, электрооптика, электроуправляемое двулучепреломление, ориентационный эффект Керра.

В хиральных смектических  $S^*$  жидких кристаллах наблюдаются различные полярные фазы: сегнетоэлектрическая (СЖК), антисегнетоэлектрическая (АСЖК) и ферриэлектрическая (ЖКФ) фазы. Если исследованию СЖК и АСЖК посвящено большое количество работ, то ЖКФ фазы считаются промежуточными, так как существуют преимущественно в узком диапазоне температур между СЖК и АСЖК и при температурах, существенно выше комнатной.

Ранее нами был разработан ферриэлектрический жидкий кристалл FerriLCM-1 [1], существующий в широком диапазоне температур: от  $-3\text{ }^\circ\text{C}$  до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Сочетание малого времени электрооптического отклика ( $\tau \sim 250\text{ мкс}$ ) и высокого коэффициента Керра ( $K_{\text{кerr}} \sim 100\text{ нм/V}^2$ ,  $\lambda = 532\text{ нм}$ ) при  $T = 23\text{ }^\circ\text{C}$  делают этот материал перспективным для практического использования. При температуре  $86\text{ }^\circ\text{C}$  коэффициент Керра возрастает до значения  $1600\text{ нм/V}^2$  [2], которое является рекордным значением для всех известных смектических жидких кристаллов.

Обнаружено отличие ЖКФ от СЖК, а именно возможность получить рост электроуправляемого эффективного двулучепреломления при увеличении температуры. Зависимость  $\Delta n_{\text{eff}}^E(T)$  обладает максимумом (рисунок 1а)), что свидетельствует об наличии диапазона температур, оптимальных для использования в качестве среды для низковольтной фазовой модуляции света.

Показано, что при увеличении толщины слоя FerriLCM-1 от  $1.85\text{ мкм}$  до  $57\text{ мкм}$  диэлектрическая восприимчивость  $\chi$  увеличивается от 75 до 173 (рисунок 1б)), в то время как форма управляющего сигнала влияет несущественно (вставка к рисунку 1б)).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-72-01063.

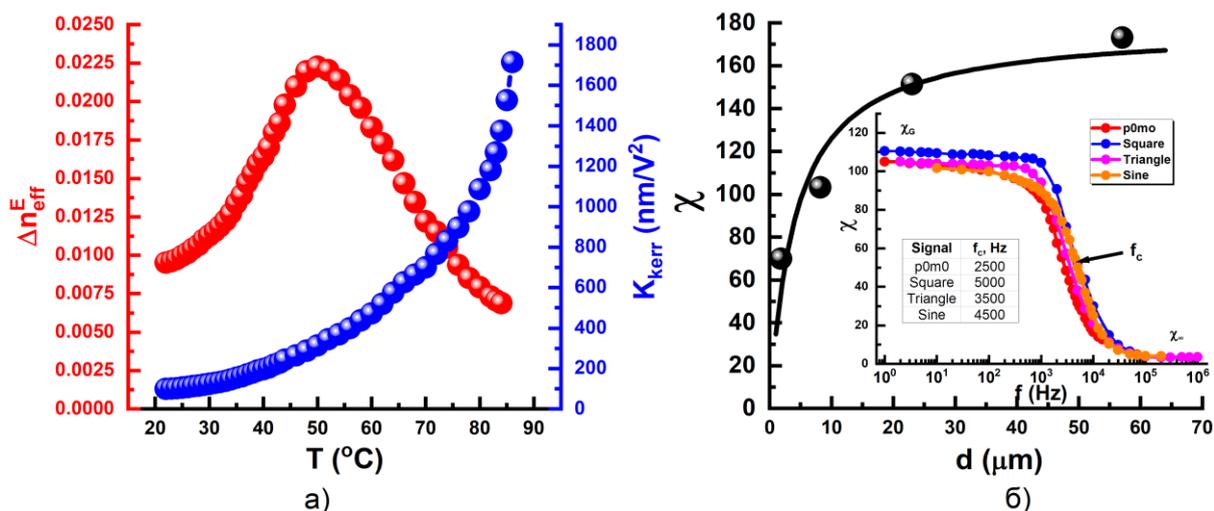


Рис. 1. а) Температурные зависимости электроуправляемого эффективного двулучепреломления  $\Delta n_{\text{eff}}^E$  и коэффициента ориентационного эффекта Керра  $K_{\text{kerr}}$ ; б) Зависимость диэлектрической восприимчивости  $\chi$  от толщины  $d$  слоя FerriLCM-1,  $f = 10$  Гц,  $T = 23$  °С. На вставке – частотные дисперсии  $\chi(f)$  для разных форм сигнала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Р. Pozhidaev, M.V. Minchenko, A.V. Kuznetsov, T.P. Tkachenko, V.A. Barbashov, Broad temperature range ferroelectric liquid crystal as a highly sensitive quadratic electro-optical material. // Opt. Lett., 2022, v. 47, № 7, p. 1598-1601.
2. Т.Р. Tkachenko, V.A. Barbashov, M.V. Minchenko, Е.Р. Pozhidaev, Broad temperature range ferroelectric liquid crystal: Temperature dependencies of dielectric and electro-optical properties. // Opt. Mater., 2024, v. 156, p. 115966.

## ELECTRO-OPTICAL PROPERTIES OF THE BROAD TEMPERATURE RANGE FERRIELECTRIC LIQUID CRYSTAL

T.P. Tkachenko, V.A. Barbashov, M.V. Minchenko, E.P. Pozhidaev

*P.N. Lebedev Physical Institute of the RAS  
(53 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991)  
e-mail: tptkachenko@lebedev.ru*

A broad temperature range ferroelectric liquid crystal (FiLC) developed by the authors and called FerriLCM-1 was studied. The influence of the FiLC layer thickness, temperature, frequency and shape of the control signal on its electro-optical properties was analyzed. It was found that FiLC exhibited a specific temperature at which the effective electrically controlled birefringence reaches its maximum value of 0.022 at a wavelength of 532 nm, while a electro-optical response time is about 100  $\mu\text{s}$ .

**Keywords:** ferroelectric liquid crystal, electro-optics, electrically controlled birefringence, orientation Kerr effect.

## ГЕНЕРАЦИЯ МЕДНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПУТЁМ АБЛЯЦИИ МИШЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -ЛАЗЕРА

Я.В. Ульянов<sup>1,2</sup>, А.В. Рудый<sup>1</sup>, С.В. Дианов<sup>2,3</sup>, А.Е. Шепелев<sup>3</sup>, А.А. Антипов<sup>3</sup>, А.Г. Путилов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(115409, г. Москва, Каширское ш., 31)*

<sup>2</sup>*Государственный лазерный полигон «Радуга»,  
(600910, г. Радужный, а/я 771)*

<sup>3</sup>*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых,  
(600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)  
e-mail: anti-peace@yandex.ru*

В работе исследуется образование наночастиц меди посредством лазерной абляции медной мишени в жидкости с использованием  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -лазера с длиной волны 740 нм. Для регулировки длины волны использовалась дисперсионная призма, что привело к образованию коллоидного раствора со средним размером наночастиц 129 нм. Уменьшение длины волны при сохранении аналогичных параметров уменьшает размер частиц. В исследовании подчеркивается потенциал лазерной абляции для синтеза наночастиц.

**Ключевые слова:** абляция, наночастицы меди,  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -лазер, синтез наночастиц.

Перспективным применением твердотельного лазерного излучения является лазерная абляция материалов в жидкостях, метод, используемый для производства наноразмерных материалов [1]. Наноматериалы на основе некоторых металлов проявляют ряд уникальных физических и химических свойств [2]. Среди них особое внимание привлекают наночастицы меди из-за их значимости в медицине и биохимии [3], а также в производстве проводящих плёнок и разработке бактерицидных агентов. Этот метод позволяет производить химически чистые вещества, готовые к применению [4]. Поэтому совершенствование процесса формирования наночастиц меди с различными параметрами лазера, включая достижение меньших размеров, посредством лазерной абляции в жидкостях является актуальной областью исследований. В работе исследуется процесс лазерной абляции медной мишени в жидкости с использованием периодически импульсного излучения лазера  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ . Для этого процесса длина волны генерации лазера была настроена на 740 нм, скорректирована с помощью дисперсионной призмы, встроенной в плоскопараллельный резонатор. Было показано, что при воздействии микросекундного лазерного импульса, состоящего из последовательности коротких импульсов, были получены наночастицы меди различных размеров. В результате лазерного взаимодействия был получен однокомпонентный коллоидный раствор наночастиц меди со средним размером около 129 нм. Размер частиц измерялся с помощью лазерного анализатора размера частиц. В исследовании

экспериментально подтверждена возможность генерации наночастиц меди со средним размером 129 нм путём лазерной абляции медной мишени в жидкости с использованием импульсно-периодического излучения  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -лазера. Плотность энергии последовательности импульсов излучения составила около 47 Дж/см<sup>2</sup>. Для достижения данного режима генерации в резонатор ранее разработанного  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -лазера была включена дисперсионная призма. Установлено, что облучение с более короткой длиной волны при сохранении схожей плотности энергии и пространственных параметров приводит к уменьшению среднего размера наночастиц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.A. Antipov, S.M. Arakelyan, S.V. Kutrovskaya and etc., Deposition of bimetallic Au/Ag clusters by the method of laser deposition of nanoparticles from colloidal systems. // Opt. Spectrosc., 2014, v. 116, p. 324-327.
2. S. Ghosh, T. Pal, Interparticle coupling effect on the surface plasmon resonance of gold nanoparticles: from theory to applications. // Chem. Rev., 2007, v. 11, p. 4797-4862.
3. И.П. Арсентьева, Е.С. Зотова, Г.Э. Фолманис, Аттестация наночастиц металлов, используемых в качестве биологически активных препаратов. // Нанотехника. 2007, т. 10, № 2. с. 72-77.
4. A. Nag, L.M.F. Batista, K.M. Tibbetts, Synthesis of air-stable Cu nanoparticles using laser reduction in liquid. // Nanomaterials, 2021, v. 11, p. 814.

## GENERATION OF COPPER NANOPARTICLES VIA TARGET ABLATION USING $\text{CR}^{3+}:\text{BEAL}_2\text{O}_4$ -LASER RADIATION

**Y.V. Ulyanov<sup>1,2</sup>, A.V. Rudy<sup>1</sup>, S.V. Dianov<sup>2,3</sup>, A.E. Shepelev<sup>3</sup>, A.A. Antipov<sup>3</sup>, A.G. Putilov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*National Research Nuclear University “MEPhI”,  
(Kashirskoe hwy., 31, Moscow, Russia, 115409)*

<sup>2</sup>*State Laser Polygon “Raduga”,  
(p.o. box 771, Raduzhyi. Russia, 600910)*

<sup>3</sup>*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
(Gorkogo str., 87, Vladimir, Russia, 600000)  
e-mail: anti-peace@yandex.ru*

The paper investigates the formation of copper nanoparticles by laser ablation of a copper target in liquid using a  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -laser with a wavelength of 740 nm. A dispersive prism was used to adjust the wavelength, which resulted in the formation of a colloidal solution with an average nanoparticle size of 129 nm. Reducing the wavelength while maintaining similar parameters reduces the particle size. The study highlights the potential of laser ablation for the synthesis of nanoparticles.

**Keywords:** ablation, copper nanoparticles,  $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -laser, nanoparticle synthesis.

## ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ПОРИСТЫМ КРЕМНИЕМ

Д.А. Услин<sup>1</sup>, Н.В. Латухина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: uslin720@gmail.com

В данной работе представлено исследование влияния рентгеновского излучения на электрофизические параметры пористого кремния как перспективного материала солнечных элементов для применения в условиях космического и околоземного пространства.

**Ключевые слова:** пористый кремний, рентгеновское излучение, фоточувствительные структуры, фторид эрбия, солнечный элемент.

Изучение деградации структур на основе пористого кремния под действием ионизирующего излучения является крайне актуальной задачей, т.к. эти структуры имеют большую перспективу для применения в солнечных элементах в том числе предназначенных для работы в условиях космического пространства [1,2]. Для повышения стойкости структур с пористым кремнием использовался ErF<sub>3</sub>, который зарекомендовал себя как подходящее для этих применений пассивирующее покрытие [3].

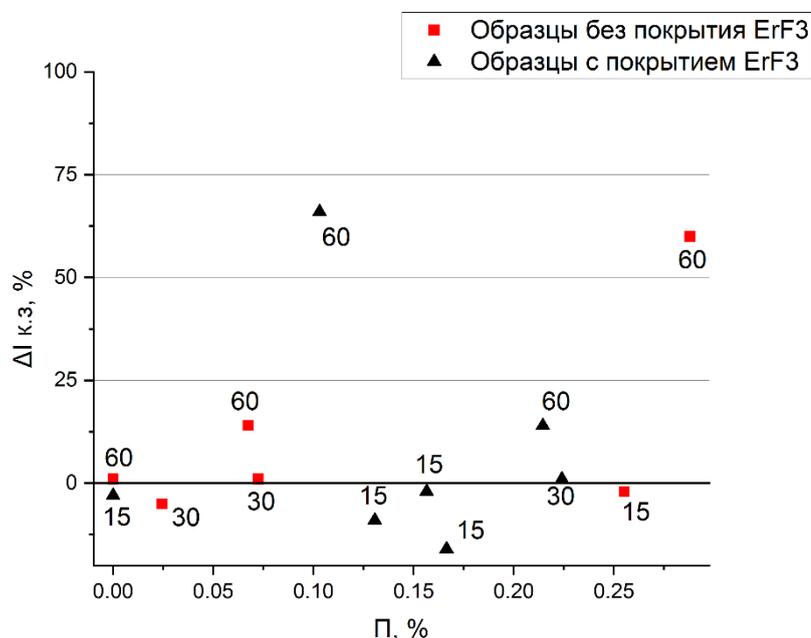


Рис. 1. Диаграмма зависимости изменения тока короткого замыкания  $\Delta I_{к.з.}$  после облучения от пористости П. Числа обозначают время облучения в минутах

Для изучения стойкости к внешнему излучению фоточувствительные структуры со слоем пористого кремния подвергались облучению рентгеновскими квантами с энергией 8,4 кэВ. Мощность получаемой образцами дозы – 25 мкЗв/ч или же 2.5 мР/ч. Образцы были поделены на три группы и облучались 15, 30 и 60 минут. Проводилось изучение ВАХ структур до и после облучения, определялось изменение тока короткого замыкания в процентах (рис.1). Из данных ВАХ на рисунке 1 можно сделать вывод о том, что облучение 60 минут дает положительный эффект по току: наблюдается увеличение на 14 и 60-66% как для малопористых, так и для образцов с более развитым пористым слоем. Облучение 15 и 30 минут слабее влияет на образцы, наблюдается отклонение от 1 до 16% в основном в отрицательную сторону.

. Облучение рентгеном разнонаправленное влияние на параметры. Ухудшение связано с образованием новых рекомбинационных центров в кристалле кремния и депассивацией границы раздела для образцов с покрытием  $\text{ErF}_3$ , а улучшение с увеличением эффективной поглощающей поверхности и радиационным легированием. С течением времени изменение параметров вызвано рекомбинацией радиационных дефектов на свободной поверхности, что приводит к уменьшению концентрации как рекомбинационных центров, так и свободных носителей заряда.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.V. Latukhina, D.A. Shishkina, G.A. Rogozhina, Multilayer structure based porous silicon for solar cells // AIP Conference Proceedings, 2020, v. 2276.
2. N.V. Latukhina, G.V. Puzyrnaya, D.A. Lizunkova, Efficient Silicon Solar Cells for Space and Ground-Based Aircraft // Procedia Engineering, 2015, v.104, p. 157-161.
3. Ю.А. Аношин, А.И. Петров, В.А. Рожков, М.Б. Шалимова, Просветляющие и пассивирующие свойства пленок оксидов и фторидов редкоземельных элементов // ЖТФ. 1994, т. 64. № 10. с. 118-123.

## EFFECT OF X-RAY RADIATION ON PHOTO-SENSITIVE STRUCTURES WITH POROUS SILICON

**D.A. Uslin<sup>1</sup>, N.V. Latukhina<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

This paper presents a study of the influence of X-ray radiation on the electrophysical parameters of porous silicon as a promising material for solar cells for use in outer space and near-Earth space.

**Keywords:** porous silicon, X-ray radiation, photosensitive structures, erbium fluoride, solar cell.

# ИСПАРЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ КАПЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ЛЕВИТАТОРА

А.С. Шишова<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: nsshishowa@gmail.com

В работе экспериментально исследовались процессы испарения и кристаллизации капель растворов хлорида натрия разной концентрации с использованием акустического левитатора малых размеров, созданного на базе ЦЛА СФ ФИАН и работающего на частоте в 40кГц. Данное устройство позволяет левитировать твердые объекты малых размеров и капли жидкости объемом 1-20 микролитров с плотностью 1 г/мл и более.

**Ключевые слова:** акустический левитатор, испарение, кристаллизация, капля, хлорид натрия.

Акустическая левитация основана на создании стоячих звуковых волн, которые имеют зоны высокого и низкого давления в воздухе. Акустические волны генерируются с помощью пьезоэлектрических излучателей пистонного типа, такие волны обычно имеют частоту в пределах ультразвукового спектра, и обеспечивают силу, удерживающую объект размером менее длины звуковой волны. В условиях акустической левитации можно изучать физико-химические процессы, протекающие в бесконтейнерных условиях, что важно, когда загрязнения от химической посуды или присутствие поверхности сильно влияет на наблюдаемые процессы. На базе ЦЛА СФ ФИАН создан акустический левитатор малых размеров, работающий на частоте в 40кГц. Такое устройство позволяет левитировать твердые объекты малых размеров и капли жидкости объемом 1-20 микролитров с плотностью 1 г/мл и более.

В работе представлен эксперимент по изучению испарения и последующей кристаллизации сфероидальных капель с помощью акустического левитатора без использования подложек. В качестве исследуемой жидкости был подготовлен раствор NaCl с пятью концентрациями: 2%; 4%; 8%; 16% (по масс.). Капля заданного объема (~3 мкл) помещалась в акустический левитатор с помощью микрошприца. В качестве раствора сравнения использовалась дистиллированная вода. Подвешенная капля удерживалась в левитаторе на временах порядка 1 часа до видимого полного испарения жидкости и образования твердого поликристаллического остатка.

Для получения экспериментальных данных использовалась монохромная видеокамера ELP Global Shutter. Видео записывалось все время испарения капли с частотой 1 кадр в секунду. Анализ видеоизображений проводился покадрово при помощи кода, написанного в программном пакете Python с использованием библиотеки OpenCV. Для каждого кадра определялось положение, размер, объем и форма капли. На основе полученных видеозаписей были получены временные зависимости объемов капель, хорошо согласующиеся с ожидаемой временной зависимостью вида  $V \sim (1 - a \cdot t)^{3/2}$  [1]. Установлено, что после начала кристаллизации солевой остаток собирается в нижней части капли. Репрезентативные видеокadres и графики временной зависимости объема капли дистиллированной воды и солевого раствора концентрацией 16% (по масс.) представлены на рис. 1 и 2.

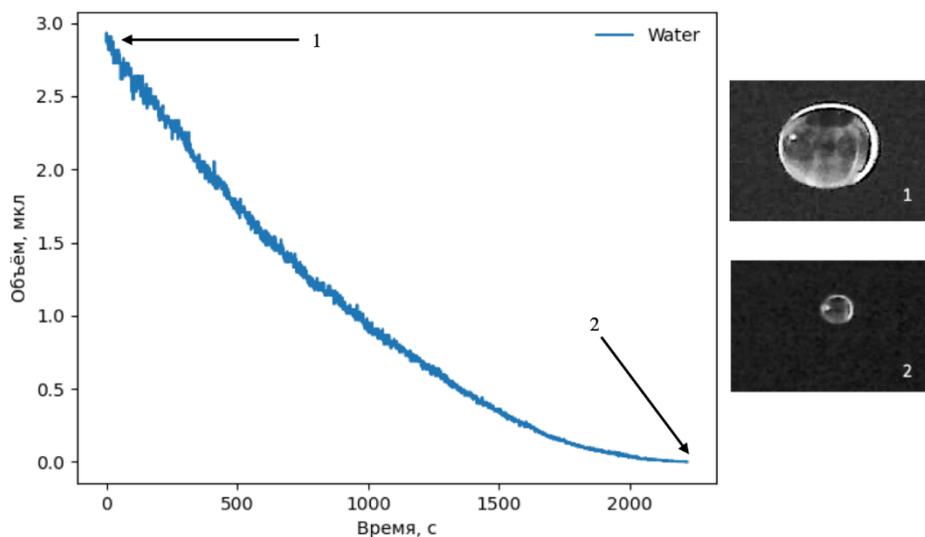


Рис. 1. Слева – график зависимости изменения объема от времени для капли дистиллированной воды; справа – исходная капля (1), капля на конечном этапе испарения (2)

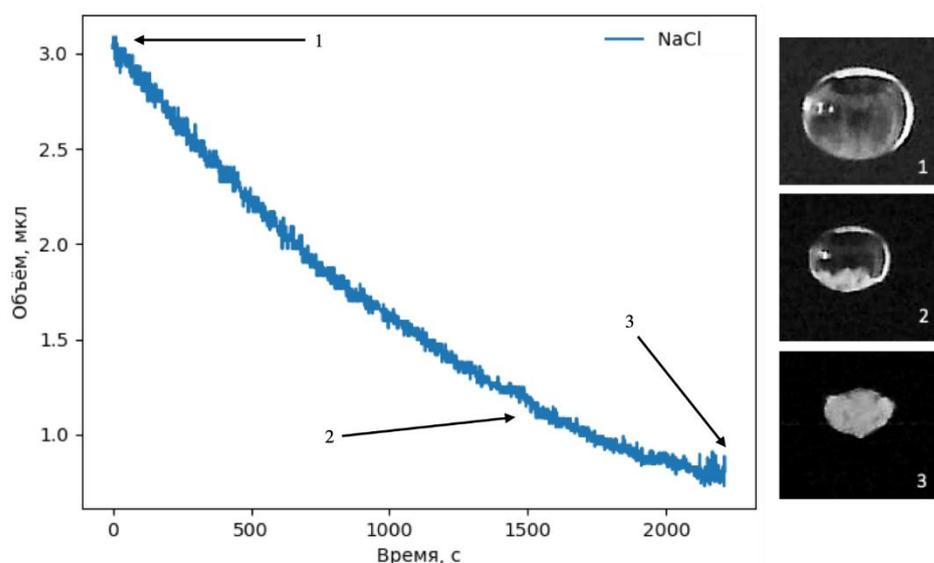


Рис. 2. Слева – график зависимости изменения объема от времени для капли раствора хлорида натрия концентрацией 16% (по масс.); справа – исходная капля (1), капля с кристаллическим остатком в нижней части (2), поликристалл хлорида натрия (3)

По результатам анализа полученных данных установлено, что время начала кристаллизации зависит от содержания в ней соли: по мере увеличения начальной концентрации соли образование кристаллов происходит на более ранних временах. Зависимость скорости уменьшения объема капли от концентрации носит сложный характер, т.к. скорость испарения обратно пропорциональна радиусу кривизны поверхности капли и замедляется с ростом концентрации солевого раствора. При достижении насыщения и образовании осадка идет испарение насыщенного раствора NaCl, при этом растущий поликристалл остается внутри капли и влияет на ее форму и скорость испарения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.В. Андреева, А.С. Новоселова, П.В. Лебедев-Степанов, Д.А. Иванов, А.В. Кошкин, А.Н. Петров, М.В. Алфимов, Закономерности кристаллизации растворенных веществ из микрокапли. // Журнал технической физики, 2007, т. 77, № 2, с. 22-30.

## EVAPORATION OF SPHERICAL DROPLETS USING AN ACOUSTIC LEVITATOR

**A.S. Shishova<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: nsshishowa@gmail.com*

In this research, the processes of evaporation and crystallization of droplets of sodium chloride solutions of different concentrations were experimentally studied using a small-sized 40 kHz acoustic levitator created at the Lebedev Physical Institute, Samara Branch. This device allows levitating small solid objects and droplets of liquid with volumes of 1-20 microliters and densities of 1 g/ml or more.

**Keywords:** acoustic levitator, evaporation, crystallization, droplet, Sodium chloride.

## ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УСИЛЕНИЯ В VCSEL С ОПТИЧЕСКОЙ ИНЖЕКЦИЕЙ

Е.А. Ярунова<sup>1,2</sup>, А.А. Кренц<sup>1,2</sup>, Н.Е. Молевич<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: liza.yarunova@mail.ru

Широкоапертурные поверхностно-излучающие лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL) генерируют нерегулярное излучение из-за модуляционных неустойчивостей. Известно, что добавление в такую систему внешнего оптического излучения малой амплитуды позволяет подавить неустойчивые моды и получить пространственно-однородное излучение. Чтобы качественно оценить эффективность данного метода, необходимо взять во внимание эффекты нелинейного усиления. Показано, что учет коэффициента нелинейного усиления не разрушает эффект стабилизации, а приводит к увеличению порогового значения интенсивности оптической инъекции необходимой для стабилизации.

**Ключевые слова:** широкоапертурные лазеры, внешняя оптическая инъекция, стабилизация излучения.

Для описания пространственно-временной динамики VCSEL используется общепринятая модель дифференциальных уравнений для медленно меняющихся амплитуд электрического поля  $E$  и инверсии населенностей  $N$ :

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \sigma[E_{inj} - (1 + i\theta) + (1 - i\alpha)f(N)]E + i\Delta_{\perp}E, \quad \frac{\partial N}{\partial t} = \left[ I_p - N - |E|^2 f(N) \right]$$

при этом в систему добавлено внешнее оптическое излучение с амплитудой  $E_{inj}$ . Выполненные ранее исследования демонстрируют, что оптическая инъекция малой амплитуды позволяют стабилизировать динамику такого устройства и получить на выходе пространственно-однородный пучок [1]. При этом в данной системе функция  $f(N)$  содержит зависимость коэффициента усиления от плотности носителей и ранее в [1] было сделано упрощение, что  $f(N) = N$ . В действительности кривая максимального усиления лучше аппроксимируется в предположении квадратичной зависимости относительно плотности носителей, что приводит к  $f(N) = N(1 - \beta N)$  [2]. Численные расчеты показали, что учет коэффициента нелинейного усиления  $\beta = 0.125$  не разрушает эффект стабилизации, при этом лишь незначительно увеличивает значение интенсивности внешнего излучения до 2% относительно интенсивности генерируемого. В случае  $\beta = 0$  необходимое значение интенсивности инжектируемого излучения составляет 1% от генерируемого.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017)

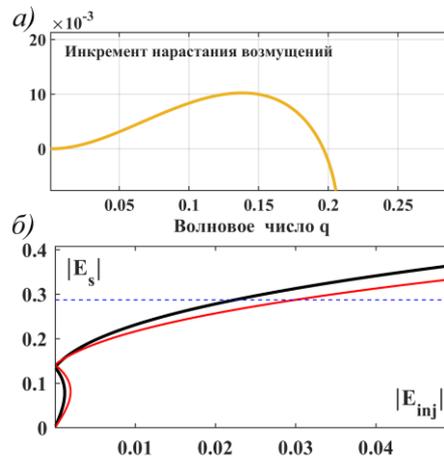


Рис. 1. а) Максимальный инкремент нарастания малых возмущений в зависимости от волновых чисел демонстрирует развитие модуляционной неустойчивости б) кривые зависимости модуля амплитуды однородного стационарного оптического поля от модуля амплитуды внешнего оптического излучения для случая  $\beta = 0.125$  (черная линия) и  $\beta = 0$  (красная линия). Синяя линия соответствует критическому стационарному значению, по достижении которого наблюдается стабилизация.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.A. Yarunova, A.A. Krents, N.E Molevich, Suppression of modulation instability in VCSEL by external optical injection. // Opt. Lett, 2023, v. 48, p. 4021-4024.
2. M. Eslami, R. Kheradmand, G. Hashemvand. The effect of nonlinear gain on the characteristics of an optically injected VCSEL and cavity solitons // Opt. Quant. Electron., 2014, v. 46, p.319-329.

## THE EFFECT OF NONLINEAR GAIN IN VCSEL WITH OPTICALLY INJECTION

E.A Yarunova<sup>1,2</sup> A.A Krents<sup>1,2</sup> N.E Molevich<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

e-mail: liza.yarunova@mail.ru

Broad-area surface-emitting lasers with a vertical resonator (VCSEL) generate irregular radiation due to modulation instabilities. It is known that the addition of low amplitude external optical radiation to such a system allows suppressing unstable modes and obtaining spatially uniform radiation. To qualitatively evaluate the efficiency of this method, it is necessary to take into account the effects of nonlinear gain. It is shown that taking into account the nonlinear gain factor does not destroy the stabilization effect, but leads to an increase in the threshold value of the optical injection intensity required for stabilization.

**Keywords:** wide-aperture lasers, external optical injection, radiation stabilization.

**СТУДЕНЧЕСКАЯ  
СЕКЦИЯ**

## СВОЙСТВА БИОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТЫЙ КРЕМНИЙ + ГИДРОКСИАПАТИТ

М.А. Асташов<sup>1</sup>, Н.В. Латухина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: m4st4shovx@gmail.com

Цель работы заключается в определении возможности изготовления биоматериала на основе пористого кремния (ПК) для остеопластики. Приведены исследования структуры и состава образцов нанокompозита ПК с гидроксиапатитом (ГАП), представляющего собой минеральную фазу кости.

**Ключевые слова:** пористый кремний, гидроксиапатит, остеопластика, лазерная абляция, ИК-спектроскопия

В настоящее время крайне актуальны исследования, связанные с наночастицами и наноматериалами. Одним из подходящих материалов для некоторых областей медицины является кремний, а именно пористый кремний (ПК)[1]. Целью данной работы является исследование свойств пористого кремния как материала для применения в остеопластике.

Образцы пористого кремния были получены методом электрохимического травления в этаноловом растворе плавиковой кислоты. Время травления было от 5 до 15 минут при плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup>, получились образцы с пористостью от 0.00186, до 0.00942. Для получения нанокompозита ПК+ГАП пористый кремний насыщали водным раствором гидроксиапатита.

Проводилось измерение ИК-спектров отражения на Фурье-спектрометре ФСМ 2022 (рис.1). Для расшифровки спектров использовались данные работы [2].

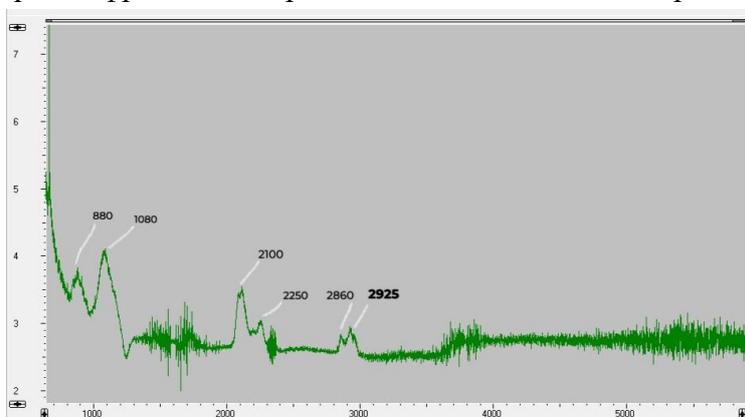


Рис. 1. ИК-спектры отражения образца №3 (ПК+ГАП)

Обработка ИК-спектров отражения образца ПК+ГАП показала что гидроксиапатит осел в порах кремния, так как в пиках наблюдаются углеводородные связи.

С помощью лазерной абляции была приготовлена водная суспензия ПК+ГАП, микрофотографии осадка приведены на рис.2 и 3.

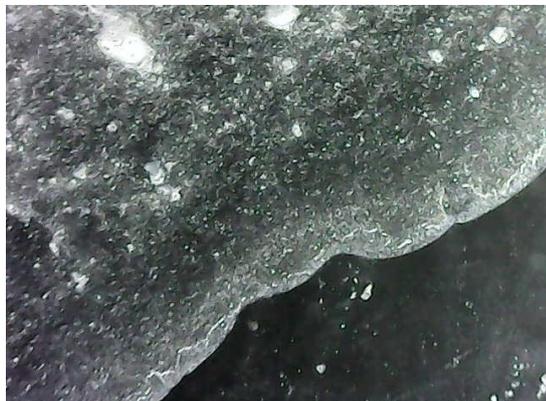


Рис. 2. Микрофотография осадка свежей суспензии (Рамка 3,5X2,5 мм)



Рис. 3. Микрофотография осадка суспензии недельной выдержки (область слева)

Наиболее насыщенной является свежеприготовленная суспензия. С течением времени частицы кремния могут растворяться, соответственно такие суспензии будут содержать меньше кремния и будут полезны для использования в остеопластике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Ю. Кулагина, Н.В. Латухина, Д.Р. Суюндукова. Пористый кремний как материал для остеопластики// X Международная научная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела: сборник докладов X Международной научной конференции, 2023, с. 414
2. А.С. Леньшин, В.М. Кашкаров, П.В. Середин, Ю.М. Спивак, В.А. Мошников. Исследование электронного строения и химического состава пористого кремния, полученного на подложках n- и p-типа, методами XANES и ИК спектроскопии // ФТП, 2011, т. 45, № 9, с. 1232

## PROPERTIES OF BIOMATERIALS BASED ON NANOCOMPOSITE POROUS SILICON + HYDROXYAPATITE

**M.A. Astashov<sup>1</sup>, N.V. Latukhina<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: m4st4shovx@gmail.com

The aim of the work is to determine the possibility of manufacturing a biomaterial based on porous silicon for osteoplasty. Studies of the structure and composition of samples of PC+GAP nanocomposite are presented.

**Keywords:** porous silicon, hydroxyapatite, osteoplasty, laser ablation, IR spectroscopy.

## ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО ПЕРЕПУТЫВАНИЯ В ТРЕХКУБИТНОЙ МОДЕЛИ ТАВИСА-КАММИНГСА С ДВУМЯ НЕЗАВИСИМЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ

А.Р. Багров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: alexander.bagrov00@mail.ru

В данной работе исследована динамика перепутывания трех идентичных кубитов А, В и С. Кубит А захвачен в резонаторе а, кубиты В и С находятся в резонаторе b. Предполагается, что кубиты А и В в начальный момент времени подготовлены в перепутанном состоянии. Найдено точное решение исследуемой модели в виде оператора эволюции, который используется для вычисления матрицы плотности полной системы и исследования динамики перепутывания пар кубитов для различных начальных состояний кубитов.

**Ключевые слова:** кубиты, перепутывание, эффект мгновенной смерти перепутывания.

Многочастичные перепутанные состояния играют ключевую в таких областях, как квантовая криптография, квантовая безопасность и т. д. [1]. В данной работе мы исследуем систему, состоящую из трёх идентичных искусственных или естественных атомов (кубитов) А, В и С. Кубит А взаимодействуют с одномодовым идеальным резонатором а посредством однофотонных переходов, а кубиты В и С захвачены в аналогичном резонаторе b. Конфигурация модели изображена на рисунке 1.

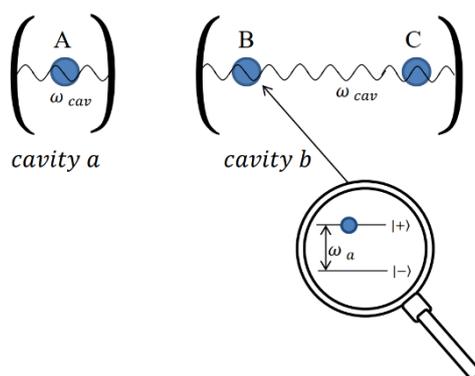


Рис. 1. Конфигурация исследуемой модели. Здесь  $\omega_a$  - частота перехода между уровнями атома,  $\omega_{cav}$  - частота моды резонатора. Основное и возбужденное состояния атомов обозначаются как  $|- \rangle$  и  $|+ \rangle$  соответственно.

Гамильтониан взаимодействия изучаемой модели может быть записан в следующем виде:  $H_I = \hbar\gamma(\sigma_A^+\zeta_a + \sigma_A^-\zeta_a^+ + \sigma_B^+\zeta_b + \sigma_B^-\zeta_b^+ + \sigma_C^+\zeta_b + \sigma_C^-\zeta_b^+)$ , где  $\sigma_j^+$  ( $\sigma_j^-$ ) - повышающий(понижающий) оператор в  $j$ -м кубите ( $j = A, B, C$ ),  $\zeta_a^+$  ( $\zeta_b^+$ ) и  $\zeta_a$  ( $\zeta_b$ ) - операторы рождения и уничтожения фотонов резонаторной моды поля  $a(b)$ ,  $\gamma$  - константа кубит-фотонного взаимодействия.

Мы предполагаем, что кубиты приготовлены в начальный момент времени в одном из двух бисепарабельных состояний:  $|\psi_1(0)\rangle = \cos\alpha |+_A, -_B, -_C\rangle + \sin\alpha |-_A, +_B, -_C\rangle$  или  $|\psi_2(0)\rangle = \cos\alpha |+_A, -_B, +_C\rangle + \sin\alpha |-_A, +_B, +_C\rangle$ , где  $\alpha$  - параметр, который задаёт начальную степень перепутывания кубитов  $A$  и  $B$ . В качестве начального состояния поля резонаторов мы выбираем тепловое поле с матрицей плотности вида  $\rho_F(0) = \sum_n p_n |n\rangle\langle n|$ , где  $p_n = \bar{n}^n / (\bar{n} + 1)^{n+1}$  - весовой коэффициент, а  $\bar{n} = 1 / (\exp(\hbar\omega_{cav} / kT) - 1)$  - среднее число тепловых фотонов,  $\omega_{cav}$  и  $T$  - частота и температура резонатора соответственно.

Нами найдено точное решение с помощью гамильтониана взаимодействия в виде оператора эволюции  $\hat{U}|\psi(0)\rangle = |\psi(t)\rangle$ , который был использован для расчёта критерия отрицательности [2]. Результаты показали, что для любой интенсивности теплового поля присутствует эффект мгновенной смерти перепутывания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. Buluta, S. Ashhab, F. Nori, Natural and artificial atoms for quantum computation. // Reports on Progress in Physics, 2011, v. 74, p. 104401.
2. A. Peres, Separability Criterion for Density Matrices. // Physical Review Letters, 1996, v. 77, p. 1413-1415.

## DYNAMICS OF THERMAL ENTANGLEMENT IN THREE-QUBIT TAVIS-CUMMINGS MODEL WITH TWO INDEPENDENT RESONATORS

**A.R. Bagrov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: alexander.bagrov00@mail.ru*

In this paper, we investigated the dynamics of entanglement of three identical qubits A, B and C. Qubit A is trapped in resonator a, qubits B and C are located in resonator b. It is assumed that qubits A and B are prepared in a entangled state at the initial moment of time. An exact solution to the model under study has been found in the form of an evolution operator, which is used to calculate the density matrix of the all system and study the dynamics of entanglement of pairs of qubits for various initial states of qubits.

**Keywords:** qubits, entanglement, sudden death of entanglement.

## РЕАКЦИИ В МОДЕЛЬНЫХ КРИОГЕННЫХ ЛЕДЯНЫХ ПЛЁНКАХ, ИНИЦИИРУЕМЫЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ВАКУУМНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Е.А. Батракова<sup>1,2</sup>, С.О. Тучин<sup>1,2</sup>, Д.С. Труфанов<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: evabatrakova2610@gmail.com

В работе в лабораторных условиях изучались неравновесные криогенные реакции в аналогах межзвездных льдов на основе  $\text{CH}_4$  и  $\text{O}_2$ , инициируемые вакуумным ультрафиолетовым излучением. Рассмотрено напыление ледяной пленки на криогенную поверхность в сверхглубоком вакууме в режиме свободного молекулярного потока газа и детектирование продуктов реакций с помощью температурно-программируемой десорбции (ТПД) и масс-спектрометрии.

**Ключевые слова:** криогенные реакции, свободный молекулярный поток, масс-спектрометрия.

В предварительных экспериментах на установке КПП изучались реакции в метановых пленках инициируемые излучением ВУФ с длиной волны 124 нм. Ледяные пленки толщиной  $>100$  нм были получены путем осаждения кислорода из газовой фазы на поверхность серебра ( $T = 5$  К,  $p = 5 \cdot 10^{-8}$  Торр). С целью проверки однородности распределения ледяной пленки по криогенной поверхности была проведена симуляция процесса осаждения в приближении свободного молекулярного потока газа. Результаты моделирования (рисунок 1) свидетельствуют об осаждении равномерной пленки для выбранной конфигурации системы напыления льдах на установке КПП.

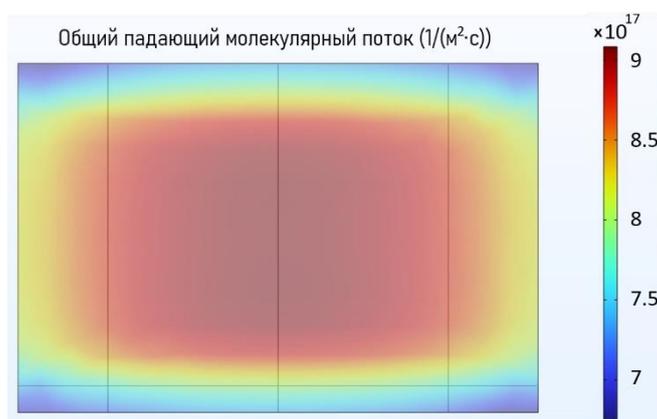


Рис. 1. Молекулярный поток газа, падающий на поверхность подложки

В работе проведено изучение химических процессов в кислородных модельных льдах. Облучение ледяных пленок проводилось с использованием эксимерного лазера ( $\lambda = 193$  нм,  $E_{\text{имп}} \sim 1$  мДж). Продукты реакции детектировались квадрупольным масс-

спектрометром в процессе ТПД. На ранних временах при  $T = 32$  К наблюдались пики десорбции  $O_2$ :  $M/z = 16$  и  $32$  ( $O^+$  и  $O_2^+$ ). В при  $T = 55$  К для массовых каналов  $M/z = 16$ ,  $32$  и  $48$  наблюдались пики десорбции  $O_3$  [1] ( $O^+$ ,  $O_2^+$  и  $O_3^+$ ). Образование  $O_3$  в ледяных пленках происходит в результате диссоциации  $O_2$  фотонами и последующей реакции  $O + O_2$ , что свидетельствует о возможности реакций озонлиза непредельных углеводородов по механизму Криге [2] в космических льдах с образованием кислород-содержащих сложных органических молекул.

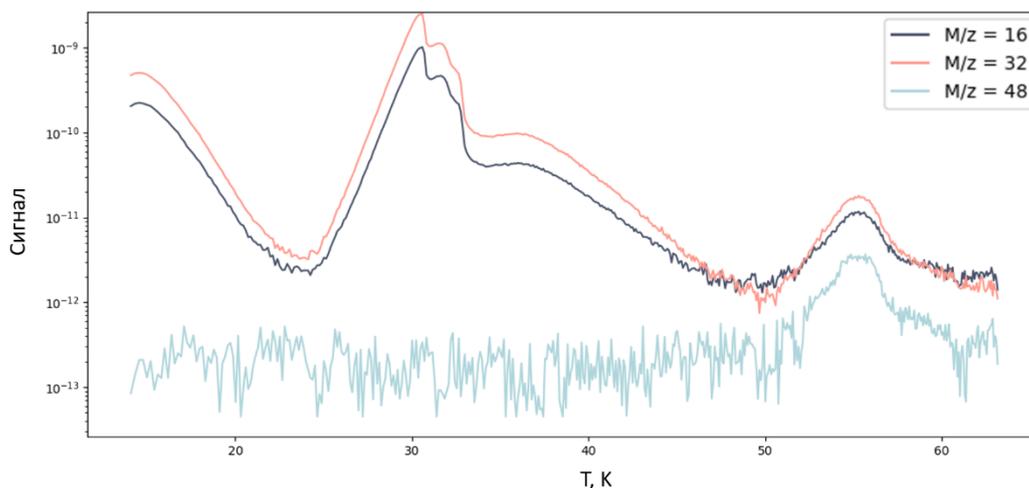


Рис. 2. ТПД масс-спектр каналов  $M/z = 16, 32, 48$  кислородного льда после облучения

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.J. Bennett, R.I. Kaiser, Laboratory studies on the formation of ozone ( $O_3$ ) on icy satellites and on interstellar and cometary ices. // *Astrophys. J.*, 2005, v. 635, p. 1362-1369.
2. R. Criegee, Mechanism of ozonolysis. // *Angew. Chem.*, 1975, v. 14, p. 745-752

## REACTIONS IN MODEL CRYOGENIC ICE FILMS INITIATED BY ULTRAVIOLET VACUUM RADIATION

**E.A. Batrakova<sup>1,2</sup>, S.O. Tuchin<sup>1,2</sup>, D.S. Trufanov<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: evabatrakova2610@gmail.com*

Nonequilibrium cryogenic reactions in  $CH_4$  and  $O_2$ -based analogues of interstellar ices initiated by VUV-radiation were studied in laboratory conditions. The report will consider the deposition of an ice film on a cryogenic surface in an ultra-deep vacuum in the free molecular gas flow mode and the detection of reaction products using temperature-programmed desorption and mass spectrometry.

**Keywords:** cryogenic reactions, free molecular gas flow, mass spectrometry.

## СВОЙСТВА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ БИОДАТЧИКА ГЛЮКОЗЫ.

Р.Д. Белокопытов, А.Ю. Бельских, Н.В. Латухина, О.А. Малкина

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: painfillr@gmail.com*

Цель работы заключается в определении возможности изготовления биоматериала на основе пористого кремния для ферментного датчика глюкозы. Проведены исследования структуры, состава и электрических свойств образцов нанокompозита пористого кремния с ферментом глюкооксидазы.

**Ключевые слова:** пористый кремний, биосенсор, ИК-спектроскопия

В настоящее время в медицине актуальны исследования, связанные с наночастицами и наноматериалами. Один из перспективных материалов для биосенсорики - пористый кремний (ПК)[1]. Цель данного исследования заключается в изучении свойств пористого кремния в качестве материала для ферментного датчика глюкозы.

Образцы пористого кремния были получены методом электрохимического травления в этаноловом растворе плавиковой кислоты. Для получения нанокompозита ПК+ГАП пористый кремний насыщали водным раствором фермента глюкооксидазы (аминазы глюкозы АГ).

Для исследования состава нанокompозита проводилось измерение ИК-спектров отражения на Фурье-спектрометре ФСМ 3. Были получены ИК-спектры пористого кремния для ПК с разными растворами АГ в порах и без них. (рис.1). Для расшифровки спектров использовались данные работы [2]. Из рисунка видно, что чем выше процент содержания раствора глюкооксидазы на образце пористого кремния, тем больше коэффициент пропускания, что указывает на возможность контроля содержания фермента в порах по ИК-спектрам.

Так же были проведены измерения вольт-амперных характеристик образцов пористого кремния. Измерения ВАХ проводились на образцах без нанесенного на них фермента глюкозооксидазы, с свеженанесенным невысохшим ферментом и с полностью высохшим ферментом. Установка для измерения ВАХ включает в себя источник тока, амперметр, электроды. Электроды устанавливаются на контакты, после чего на них подается напряжение от 0,1В до 1В. Одновременно с этим измеряется сила тока на амперметре. Все зависимости  $I(U)$  имели линейный характер. Из полученных данных производился расчет сопротивления и построение графиков. Среднее сопротивление для пары образцов без фермента ( $R_1$ ), с невысохшим ( $R_2$ ) и высохшим ( $R_3$ ) ферментом составило 8887, Ом и  $R_2 = 8963, 9594, 9908$  Ом соответственно.

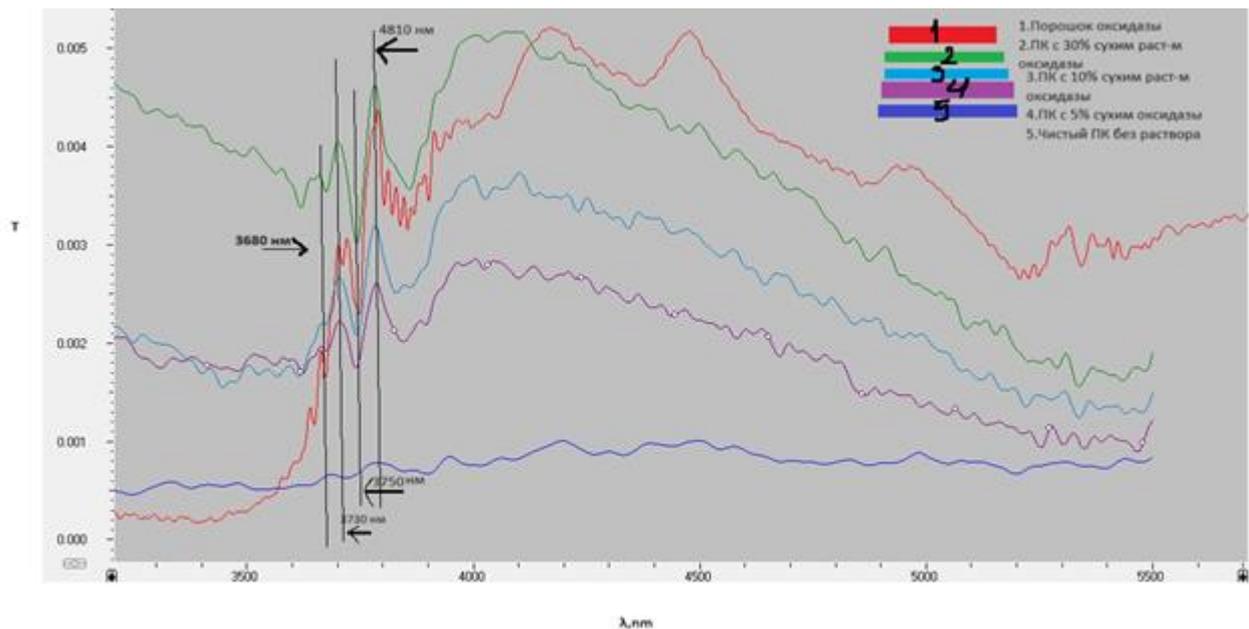


Рис. 1 ИК спектры образцов ПК+АГ с разным содержанием АГ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К.А. Ganichkina, N.V. Latukhina: Electrical Properties of Porous Silicon as a Biosensor Material // Journal of Biomedical Photonics & Engineering, 2020, т. 6, № 1.
2. К.А. Ганичкина, Д.Р. Суюндукова, Н.В. Латухина, ИК-спектроскопия биоматериалов на основе пористого кремния // XVIII Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике, 2020, с. 68-75

## PROPERTIES OF POROUS SILICON AS A MATERIAL FOR A GLUCOSE BIOSENSOR. А.У.БЕЛСКИХ<sup>1</sup>, R.D.BELOKOPYTOV<sup>1</sup>, N.V.LATUKHINA<sup>1,2</sup>, O.A. MALKINA

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: painfillr@gmail.com

The aim of the work is to determine the possibility of manufacturing a biomaterial based on porous silicon for osteoplasty. Studies of the structure and composition of samples of PC+GAP nanocomposite are presented.

**Keywords:** porous silicon, biosensor, IR spectroscopy.

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЯ СЖАТИЯ В УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ КАТОДАХ МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЕ СВЕТА

К.Н. Белов<sup>1</sup>, А.С.Бердников<sup>1</sup>, В.Б. Киреев<sup>2</sup>, Н.Д. Кундикова<sup>1,3</sup>, Е.П. Шешин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет (НИУ)  
(454080, Челябинск, пр. Ленина 76)

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (НИУ)  
(141701, Долгопрудный, Институтский переулок 9)

<sup>3</sup>Институт электрофизики УрО РАН  
(620016, Екатеринбург, ул. Амундсена 106)  
e-mail: berdnikovas@susu.ru

Зарегистрированы и исследованы спектры комбинационного рассеяния света катодов, изготовленных из углеродных нанотрубок, полиакрилонитрильных волокон, пиролитического графита и мелкозернистого плотного графита до и после работы в катодолюминесцентной лампе. По значениям частоты линии G определены напряжения сжатия, возникающие в катодах после эксплуатации.

**Ключевые слова:** катодолюминесцентные лампы, катоды, углеродные материалы, комбинационное рассеяние света

Катодолюминесцентные лампы привлекают значительное внимание благодаря возможности работы в ультрафиолетовой области спектра [1].

Эффективность работы катодолюминесцентных источников излучения зависит от характеристик катода, что определяет необходимость исследования свойств, связанных с деградацией катодов. Цель настоящей работы – оценить напряжение сжатия в углеродосодержащих катодах после их работы в источнике излучения.

Величину напряжений сжатия (растяжения) в разных точках катода можно оценить по сдвигу частоты линии G в спектрах комбинационного рассеяния катода, зарегистрированных в разных точках до и после эксплуатации катода. В точке  $i$  величина напряжения сжатия (растяжения)  $\sigma_i$  относительно кристаллического графита определяется следующим выражением [2]:

$$\sigma_i = \frac{\Delta v_i}{\alpha},$$

где  $\Delta v_i = v_i - v_0$  сдвиг частоты линии G в точке  $i$ ,  $v_i$  частота линии G в разных точках исследуемых катодов,  $v_0 = 1580$  см<sup>-1</sup> - частота линии G в кристаллическом графите,  $\alpha$  - деформационный коэффициент. Поскольку в разных углеродных материалах деформационный коэффициент может отличаться от его значения в кристаллическом графите, то оценивалось относительное изменение напряжения сжатия относительно материала катода до работы в лампе. В этом случае относительное напряжение сжатия  $\sigma_i^{\text{отн}}$  определялось следующим образом

$$\sigma_i^{\text{отн}} = \frac{\Delta v_i}{\Delta v_{\text{до}}},$$

где  $\Delta v_{\text{до}} = v_{\text{среднее}} - v_0$ ,  $v_{\text{среднее}}$  - среднее значение частоты линии G, зарегистрированное в материале катода до эксплуатации.

Спектры комбинационного рассеяния света изучались в катодах, изготовленных из ПАН-волокна, углеродных нанотрубок, мелкозернистого плотного графита и пиролитического графита. Спектры комбинационного рассеяния регистрировались на боковой поверхности в трех точках катода, работающего в лампе. Первая точка располагалась около металлического держателя, вторая точка – в середине боковой поверхности, и третья точка располагалась около излучающей электроны поверхности. В катодах, которые не эксплуатировались, спектры регистрировались в 4 точках поверхности, значения частот усреднялись.

Как показали оценки, наибольшее изменение напряжения сжатия наблюдается у катода, изготовленного из УНТ, а наименьшее - у катодов, изготовленных из пирографита и ПАН-волокна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. Бугаев, В.Б. Киреев, Е.П. Шешин, А.Ю. Колодяжный, Катодолюминесцентные источники света (современное состояние и перспективы). // Успехи физических наук, 2015, т.185, № 8, с. 853-883.
2. Z.H. Ni, W. Chen, X.F. Fan, J.L. Kuo, T. Yu, A.T.S. Wee, Z.X. Shen, Raman spectroscopy of epitaxial graphene on a SiC substrate. // Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys., 2008, v. 77, p. 1- 6.

## ESTIMATION OF COMPRESSIVE STRESS IN CARBON-CONTAINING CATHODES BY RAMAN SCATTERING

**K.N. Belov<sup>1</sup>, A.S. Berdnikov<sup>1</sup>, V.B. Kireev<sup>2</sup>, N.D. Kundikova<sup>1,3</sup>, E.P. Sheshin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*South Ural State University (NRU),*

*(76, Lenin Av., Chelyabinsk, Russia, 454080)*

<sup>2</sup>*Moscow Institute of Physics and Technology (NRU),*

*(9, Institutsky Lane, Dolgoprudny, Russia, 141701)*

<sup>3</sup>*Institute of Electrophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,*

*(106, Amundsen St., Ekaterinburg, Russia, 620016)*

*e-mail: berdnikovas@susu.ru*

Raman spectra of cathodes made of carbon nanotubes, polyacrylonitrile fibers, pyrolytic graphite and fine-grained dense graphite before and after operation in a cathodoluminescent lamp were recorded and studied. The compression stresses that occur in the cathodes after operation are determined by the values of the frequency of the G line.

**Keywords:** cathodoluminescent lamps, cathodes, carbon materials, Raman scattering.

**АКУСТИЧЕСКАЯ ЛЕВИТАЦИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ****М.А. Бойко<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443068, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1)  
e-mail: mr-boiko-misha2015@yandex.ru*

В докладе будет обсужден принцип действия акустического левитатора созданного на базе СФ ФИАН, а также акустической левитации в целом. Будут обговорены физические параметры, которые влияют на удержание частиц и капель. Также будет описан метод слияния капель, подвешенных в соседних узлах левитатора.

**Ключевые слова:** левитатор, акустика, акустическая левитация, ультразвук

В работе изучалось удержание капель жидкости в узлах акустического левитатора типа TinyLev [1], построенного в СФ ФИАН. Левитатор состоял из 72 пьезоизлучателей Murata с рабочей частотой 40 кГц расположенных в виде двух концентрических окружностей сверху и снизу на сферической поверхности с радиусом кривизны 6 см (Рис. 1). При работе излучателей происходила конструктивная интерференция и образование стоячих звуковых волн вдоль вертикальной оси прибора.

Левитатор приводится в действие радиочастотным сигналом с частотой 40 кГц и амплитудой 5 В генерируемым при помощи процессора Arduino UNO методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). ШИМ-сигнал усиливается до амплитуды порядка 15-20 В с помощью усилителя L298N. Усиленный сигнал одновременно подается на все излучатели.

Водяные капли объемом до 10 мкл помещались в узлы стоячей волны левитатора при помощи микрошприца. При загрузке положение узлов стоячей волны определялось методом проб и ошибок по воздействию оказываемому звуковой волной на каплю удерживаемую на конце иглы микрошприца. Амплитуда ШИМ-сигнала подаваемого на излучатели при загрузке капли, составляла 17-18 В, после загрузки устойчивая левитация наблюдалась при более низких амплитудах 12-15 В.

Левитация водяных капель записывалась на видео при помощи USB-камеры ELP Global Shutter с частотой кадров 420 к/с и размером изображения 320x240 пикселей. Запись производилась в течение 10 с. Далее проводился покадровый анализ видео, при котором для каждого кадра определялись границы капли, положение ее геометрического центра, среднеквадратичное отклонение и объем. Пример кадра из видео приведен на рис. 2.

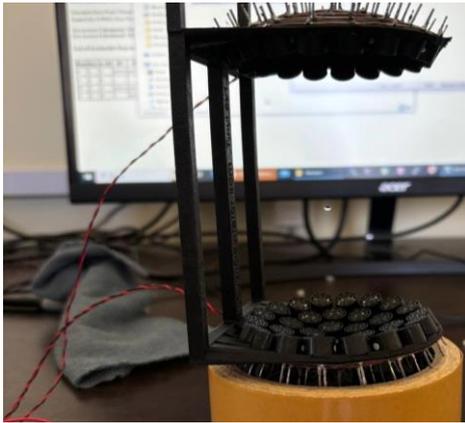


Рис 1. Левитатор с подвешенной водяной каплей.

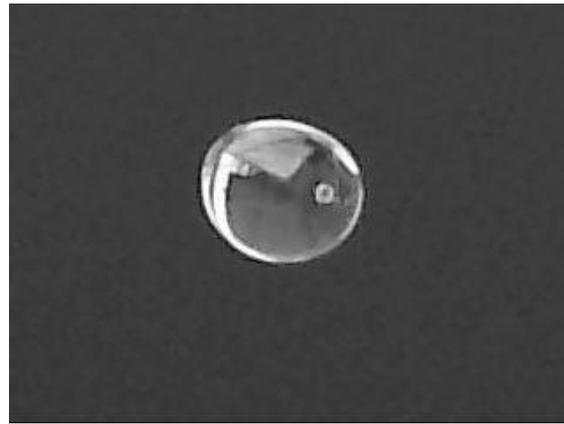


Рис 2. Левитируемая водяная капля

Для определения акустического потенциала производилось дискретное преобразование Фурье для траектории движения геометрического центра капли. На рис. 3 приведены полученные частоты колебаний.

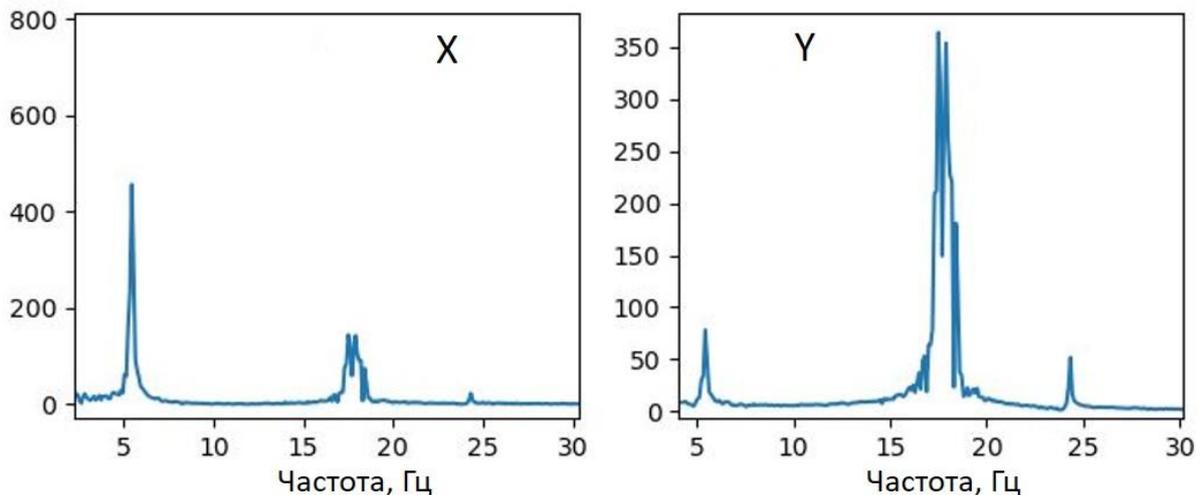


Рис. 3. Частоты горизонтальных (X) и вертикальных (Y) осцилляций центра левитируемой капли

Спектр горизонтальных частот имеет максимум на значении 6 Гц, а спектр вертикальных частот – на 18 Гц. Вторичные пики соответствуют прониканию вертикальных частот в спектр горизонтальных осцилляций и наоборот, горизонтальных частот в спектр вертикальных осцилляций. Кроме того, в обоих случаях на 25 Гц наблюдается пик суммы двух частот. Очевидно, что акустический потенциал в вертикальном направлении имеет более высокую частоту чем в горизонтальном, что позволяет удерживать каплю в звуковом поле.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Marzo, A. Barnes, B.W. Drinkwater, Tinylev: a multi-emitter single-axis acoustic levitator // Rev. Sci. Instrum., 2017, v. 88, p. 085105

## ACOUSTIC LEVITATOR

**M.A. Boiko**

*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)  
Samara National Research University,  
(Akademika Pavlova str., 1, Samara, Russia, 443068)  
e-mail: mr-boiko-misha2015@yandex.ru*

The presentation will discuss the principle of operation of the acoustic levitator created on the basis of SB LPI, as well as acoustic levitation in general. The physical parameters that affect the retention of particles and droplets will be discussed. The method of merging of droplets placed in neighboring nodes of the levitator will also be described.

**Keywords:** levitator, acoustic levitation, physics, sound waves.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Д.С. Бузаль<sup>1</sup>, Н.В. Латухина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: dmitrijbuzal@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования влияния пористого слоя и покрытия фторида эрбия на фототок солнечных элементов. Проведено также исследование теплопроводности образцов с пористым слоем.

**Ключевые слова:** солнечный элемент, пористый кремний, теплопроводность.

Устойчивость солнечных элементов к высоким температурам и их резким перепадам является важным фактором в таких областях как космическая отрасль. Пористый кремний является перспективным наноматериалом для создания фоточувствительных структур, применяемых в космической и авиационной отрасли [1].

В данной работе исследовалась зависимость фототока солнечных элементов на основе пористого кремния от температуры.

Зависимость фототока от температуры определялась с помощью установки, которая включает в себя: источник света, с помощью которого происходил нагрев солнечного элемента, амперметр для измерения фототока и датчик температуры.

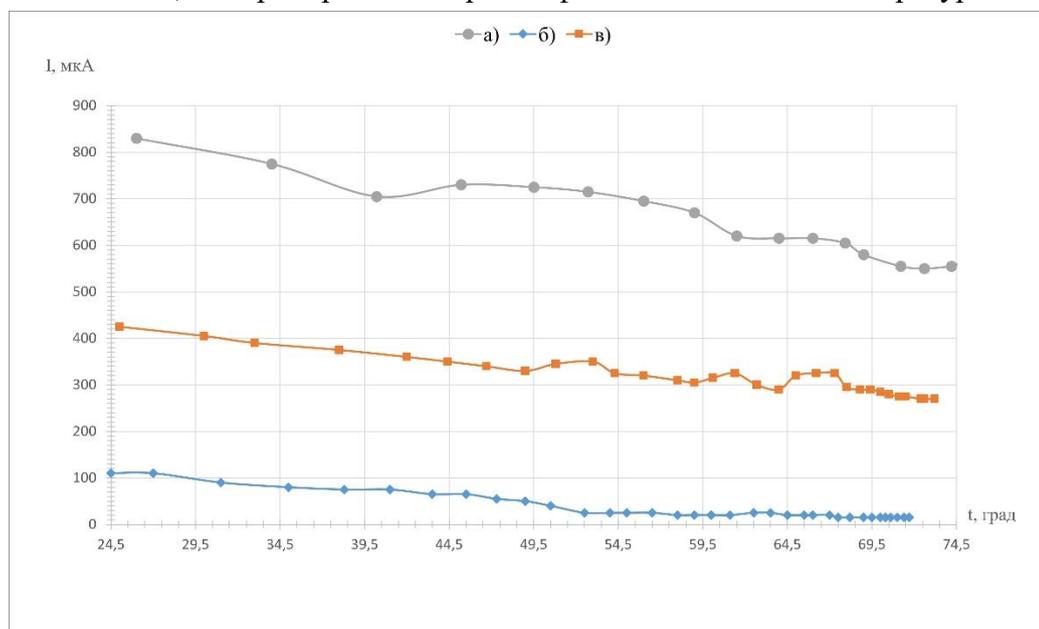


Рис. 1. График зависимости фототока от температуры солнечных элементов: а) без пористого слоя, б) с пористым слоем в) с пористым слоем и пленкой фторида эрбия

По полученным результатам, представленным на рисунке 1(а, б, в) падение фототока при нагреве на 50 градусов у образца без пористого слоя составило около 36%, а у образца с пористым слоем приблизительно 28,5%. В случае с образцом, имеющим на части пористого слоя покрытие фторида эрбия падение фототока при нагреве на 40 градусов у области без покрытия, составило 86%, а с покрытием фторида эрбия только на 28,7%. Таким образом, нанесение покрытия фторида эрбия на слой пористого кремния в солнечных элементах приводит к улучшению их эффективности [2].

Проводилось также исследование теплопроводности образцов пористого кремния при помощи термозонда [3]. По данным результатам теплопроводность образцов с пористым слоем меньше, чем у обычного кремния, уменьшение от 30 до 100%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г.П. Яровой, Н.В. Латухина, А.С. Рогожин, А.С. Гуртов, С.В. Ивков, С.И. Миненко, Кремниевые фотопреобразователи для космической и авиационной отрасли. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2012, т. 14, № 1-2, с. 521-524.
2. Н.В. Латухина, Д.А. Нестеров, Н.А. Полуэктова, Д.А. Шишкина, Д.А. Услин, Влияние покрытий, содержащих ионы редкоземельных элементов, на фотоэлектрические характеристики структур с пористым кремнием. // Автометрия, 2022, т.58, № 6, с. 90-97.
3. В.А. Митрофанов, А.А. Прохорчук, Применение термических зондов для определения теплопроводности подложки кремния в стационарном режиме. // Вестник Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова. Серия естественные и технические науки, 2012, № 1, с. 37-46.

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF POROUS SILICON-BASED SOLAR CELLS

**D.S. Buzal<sup>1</sup>, N.V. Latukhina<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: dmitrijbuzal@yandex.ru*

The paper presents the results of a study of the effect of a porous layer and a coating of erbium fluoride on the photocurrent of solar cells. A study of the thermal conductivity of samples with a porous layer was also carried out.

**Keywords:** solar cell, porous silicon, thermal conductivity.

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕЛЕКТИВНОСТЬ ШЕСТИВОЛНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПАРАБОЛИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С РЕЗОНАНСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ПРИ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛНАХ НАКАЧКИ

П.О. Васюлин<sup>1</sup>, В.В. Ивахник<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика  
С.П. Королева,  
кафедра оптики и спектроскопии  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
\*e-mail: pavelvas118@gmail.com

С использованием метода функции размытия точки (ФРТ) исследовано вырожденное шестиволновое взаимодействие в параболическом волноводе с резонансной нелинейностью. Проанализирована зависимость величины интеграла перекрытия, полуширины модуля ФРТ от интенсивности волн накачки. При условии одномодовых волн накачки с равными номерами мод получена аппроксимирующая функция, описывающая зависимость полуширины модуля ФРТ от интенсивности волн накачки.

**Ключевые слова:** шестиволновое взаимодействие, функция размытия точки, резонансная нелинейность, интеграл перекрытия, полуширина ФРТ.

Шестиволновое взаимодействие позволяет получить волну с обращенным волновым фронтом (ОВФ), с удвоенным обращенным волновым фронтом (УОВФ). Волны с ОВФ и УОВФ можно применять для коррекции фазовых искажений, для обработки оптических изображений, сигналов и т.д [1, 2].

В работе рассмотрено вырожденное шестиволновое взаимодействие в схеме со встречными волнами накачки в двумерном параболическом волноводе. В результате шестиволнового  $\omega + \omega - \omega + \omega - \omega = \omega$  взаимодействия в волноводе генерируется объектная волна, распространяющаяся навстречу сигнальной волне с ОВФ [2].

При численном анализе интеграла перекрытия, характеризующего эффективность взаимодействия шести мод волновода показано, что при одномодовых волнах накачки с равными номерами мод с увеличением номера моды волн накачки максимальное значение интеграла перекрытия смещается в область больших номеров мод объектной волны, а при увеличении интенсивности волн накачки значения интеграла перекрытия претерпевают осцилляции. С увеличением номера моды сигнальной волны амплитуда осцилляций уменьшается и стремится к нулю.

Для характеристики качества ОВФ используется полуширина модуля ФРТ. Из выражения для ФРТ следует, что идеальное ОВФ при одномодовых волнах накачки будет в случае, когда интеграл перекрытия принимает постоянное значение. При этом полуширина ФРТ принимает свое минимальное значение, которое зависит исключительно от количества учитываемых мод волновода. Показано, что полуширина модуля ФРТ с ростом интенсивности волн накачки монотонно уменьшается и стремится к  $\Delta x_{min}$ .

Получена аппроксимирующая функция, описывающая зависимость нормированной полуширины модуля ФРТ, от интенсивности волн накачки:

$$\Delta x_{approx}(\tilde{I}) = \Delta x_{min} + \frac{\alpha + \varepsilon \tilde{I}}{\beta + \gamma \tilde{I} + \delta \tilde{I}^2},$$

где  $\tilde{I}$  – нормированная интенсивность волн накачки,  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$  – коэффициенты, значения которых зависят от количества учитываемых мод волновода, номера одномодовых волн накачки (таблица 1).

**Таблица 1.** Значения коэффициентов аппроксимирующей функции

Число учитываемых мод	Номер моды волны накачки (n)	$\Delta x_{min}$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$
30	0	0.239	11.822	55.299	5.497	-0.032	0.209
	2	0.239	9.24	114.519	47.921	0.426	4.604
	4	0.239	0.534	12.566	3.551	$-5.44 \cdot 10^{-4}$	0.247
	8	0.239	0.234	34.496	11.638	-0.094	0.453
40	0	0.208	171.31	834.015	167.953	3.217	18.572
	2	0.208	438.689	5227	1422	16.824	141.573
	4	0.208	153.68	3015	844.78	1.942	62.366

Анализ аппроксимирующей функции показал, что полученная функция достоверно описывает поведение зависимости нормированной полуширины модуля ФРТ от интенсивности волн накачки только в пределах  $0 < \tilde{I} < 100$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник, Д.Р. Капизов, В.И. Никонов, Шестиволновое взаимодействие с удвоенным обращением волнового фронта в многомодовых волноводах с керровской, тепловой нелинейностями // Компьютерная оптика, 2023, т. 47, № 5, с. 702-709.
2. В.В. Ивахник, Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. // Самара: Самарский университет, 2010, 246 с.

## SPATIAL SELECTIVITY OF A SIX-WAVE TRANSDUCER IN A PARABOLIC WAVEGUIDE WITH RESONANT NONLINEARITY AT SINGLE-MODE PUMPING WAVES

**P.O. Vasyulin<sup>1</sup>, V.V. Ivakhnik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
Optics and Spectroscopy department

*(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*\*e-mail: pavelvas118@gmail.com*

A degenerate six-wave interaction in a parabolic waveguide with resonant nonlinearity has been studied using the point blurring function (PBF) method. The dependence of the value of the overlap integral, the half-width of the PBF module on the intensity of the pumping waves is analyzed. Under the condition of single-mode pumping waves with different mode numbers, an approximating function is obtained describing the dependence of the half-width of the PBF module on the intensity of the pumping waves.

**Keywords:** six-wave interaction, point blurring function, resonant nonlinearity, overlap integral, half-width of the PBF.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ЛЕВИТАТОРА

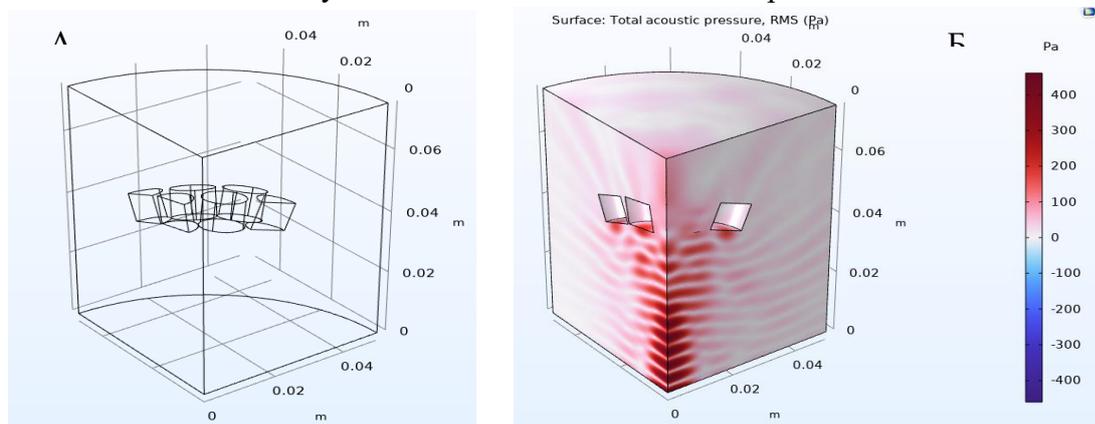
Э.Д. Винникова<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

e-mail: vinnikovaelina@yandex.ru

Акустический левитатор способен подвешивать при помощи звукового давления объекты размером менее длины звуковой волны. В данной работе с помощью программного пакета Comsol Multiphysics была создана 3-мерная геометрическая модель и проведено моделирование стоячих звуковых волн. Геометрия задавалась в виде 72 цилиндрических излучателей диаметром 10 мм и высотой 8 мм расположенных на поверхности сферы диаметром 100 мм. Физика модели задавалась при помощи модуля акустического давления в частотном домене. В докладе будут представлены результаты симуляции.

**Ключевые слова:** акустический левитатор, стоячие звуковые волны.

Акустическая левитация стала очень привлекательной технологией благодаря возможности подвешивать частицы размером до нескольких мм независимо от их состава, свойств материала и заряда, а также манипулировать в условиях микрогравитации.[1] Акустический левитатор – устройство, позволяющее генерировать интенсивные стоячие звуковые волны для левитации твердых частиц и капель жидкости.

Рис.1.  
А.

Геометрия акустического левитатора. Б. График акустического давления

В данной работе в программном пакете Comsol Multiphysics [2] построена компьютерная модель фазированного акустического левитатора типа TinyLev [3], физическая версия которого создана в СФ ФИАН. Акустический левитатор состоит из 72 цилиндрических излучателей, диаметром 10 мм и высотой 8 мм, расположенных на поверхности сферы диаметром 10 см. 36 излучателей, расположенных в нижнем полушарии вокруг южного полюса сферы направлены излучающей поверхностью

наверх. Другие 36 излучателей расположены аналогичным образом в верхнем полушарии вокруг северного полюса сферы и направлены излучающей поверхностью вниз. В данной работе мы задаем геометрию для 1/8 объема левитатора, как показано на рисунке 1А, и используем симметрию, чтобы получить распределение звукового поля во всем объеме устройства.

Физика модели задается в модуле акустического давления в частотной области. В качестве начальных условий используется нормальное смещение излучающих поверхностей на 1 мкм. Неизлучающие стенки излучателей моделируются как твердые поверхности. На границах области симуляции задано условие идеально согласованного слоя для звуковых волн с волновым числом, соответствующим выбранной частоте звуковых волн при распространении в воздухе. График распределения среднеквадратичного акустического давления для частоты 40 кГц полученного при проведении расчета представлен на рисунке 1Б. Из графика видно, что волны от излучателей складываются вдоль оси левитатора, создавая интерференционную картину, состоящую из областей пониженного и повышенного звукового давления – нод и антинод. Устойчивая левитация частиц может происходить в нодах. В дальнейшей работе планируется изучить силы, воздействующие на частицы размером <3 мм и влияние, которое эти частицы оказывают на звуковое поле.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muñoz-Pérez F. M. et al., Visualizing acoustic levitation with COMSOL Multiphysics and a simple experimental setup // Computer Applications in Engineering Education, 2024, с. e22718.
2. COMSOL©, Comsol documentation: acoustics module users guide.
3. Marzo, A., Barnes, A., and Drinkwater, B. W. TinyLev: A multi-emitter single-axis acoustic levitator // Review of scientific instruments, 2017, v. 88, p. 085105

## GUIDELINES FOR PAPER LAYOUT

**E.D. Vinnikova<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

An acoustic levitator is capable of suspending objects smaller than the wavelength of a sound wave using sound pressure. In this work a 3-dimensional geometric model was created and standing sound waves were simulated using the Comsol Multiphysics software package. The geometry was set in the form of 72 cylindrical radiators with a diameter of 10 mm and a height of 8 mm located on the surface of a sphere with a diameter of 100 mm. The physics of the model was set using the acoustic pressure module in the frequency domain. The report will present the results of the simulation.

**Keywords:** acoustic levitator, standing sound waves.

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ PLS-DA МОДЕЛЕЙ КЛАССИФИКАЦИИ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ РАКА КОЖИ

Д.В. Власова<sup>1</sup>, И.А. Братченко

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: daravlasova5000@gmail.com*

В анализе рамановских спектров применяются методы машинного обучения, но часто классификация не учитывает особенности спектров, что приводит к переобучению моделей. В данной работе описан процесс создания устойчивого PLS-DA классификатора, обученного на малой выборке рамановских спектров рака кожи. Решалась задача разделения сорока спектров базальноклеточного рака и меланомы. На основе нескольких критериев, описанных в работе, находилось оптимальное число главных компонент для устойчивости классификатора. Оно составило одну главную компоненту.

**Ключевые слова:** Рамановская спектроскопия, PLS-DA, главные компоненты, переобучение, валидация.

Рак кожи на ранних стадиях излечим, однако его почти невозможно отличить от неракового образования. Визуальный осмотр не гарантирует достоверный результат. Прогрессивным методом диагностики является оптическая биопсия на основе рамановской спектроскопии, однако сложность рамановского спектра и методов машинного обучения часто приводят к переобучению разрабатываемых моделей. Целью данной работы являлось предложить устойчивый классификатор PLS-DA, обученный на маленькой выборке из сорока спектров. В настоящей статье описаны подходы к обучению бинарного классификатора и борьбы с его переобучением.

Спектры для анализа были взяты из работы [1].

Для классификации двух видов рака по рамановским спектрам была обучена PLS-DA модель [2]. Большое число признаков, которыми являются интенсивности спектров, должно быть уменьшено, и классификатор обучается на новых данных. Для правильного обучения необходимо подобрать правильное число главных компонент, чтобы избежать переобучения модели. Для этого необходимо рассмотреть несколько критериев, а именно: подсчет точности, подсчет корня из СКО и визуализировать счета и нагрузки.

Сырые спектры подверглись предобработке для выявления из них рамановских, и затем на них обучался классификатор. Количество признаков обучения было уменьшено до нескольких скрытых переменных. Далее было необходимо найти их оптимальное число, для чего и были подсчитаны критерии, описанные выше. На рисунке 1 представлен один из этих критериев, а именно: зависимость точности обучения от количества главных компонент. На основе критериев был сделан вывод о том, что оптимальным количеством главных компонент для данной задачи является одна главная компонента. Для данной небольшой выборки спектров теоретически также можно

использовать вторую и третью главные компоненты, однако для более объемных выборок адекватные результаты продемонстрирует только первая главная компонента.

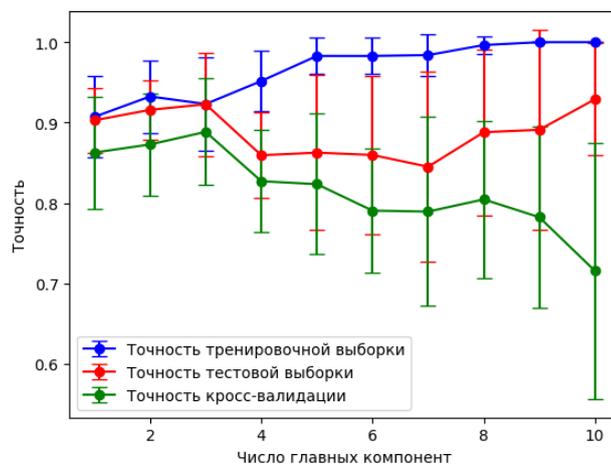


Рис.1. Средняя зависимость точности от количества главных компонент с СКО

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. A. Khristoforova, I.A. Bratchenko, O.O. Myakinin, D. Artemyev, Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis. // Journal of Biophotonics., 2018, v. 12, p. 1-11.
2. S. Wold, A. Ruhe, H. Wold, W.J. Dunn III, The collinearity problem in linear regression, The partial least squares approach to generalized inverses. // SIAM J. Sci. Stat. Comput., 1984, p. 735–743.

## PREVENTING OVERFITTING OF PLS-DA MODELS FOR CLASSIFICATION OF SKIN CANCER RAMAN SPECTRA

D.V. Vlasova<sup>1</sup>, I.A Bratchenko

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: daravlasova5000@gmail.com

Machine learning methods are used in the analysis of Raman spectra, but often the classification ignores the features of the spectra, which leads to overfitting of the models. This paper describes the process of building a robust PLS-DA classifier trained on a small sample of skin cancer Raman spectra. The task of separating forty spectra of basal cell cancer and melanoma was solved. Based on several criteria described in the paper, the optimal number of principal components for the robust classifier was found. The number of principal components was found to be one.

**Keywords:** Raman spectroscopy, PLS-DA, principal components, overfitting, validation.

## ЖИДКОСТНАЯ БИОПСИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

П.В. Горбачева<sup>1</sup>, И.А. Матвеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: polinag63@mail.ru*

В работе проведено исследование сыворотки крови у людей с миеломной болезнью и контрольной группы. Анализ рамановских спектров образцов методом разрешения многомерных кривых позволил выделить информативные спектральные полосы. Для классификации рамановских спектров применялись методы машинного обучения: логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей, дискриминантный анализ с проекцией на латентные структуры, случайный лес. Модели классификации показывают значение площади под ROC-кривой более 0,90, что подтверждает возможность диагностики миеломной болезни с помощью рамановской спектроскопии и методов машинного обучения.

**Ключевые слова:** рамановская спектроскопия, метод разрешения многомерных кривых, машинное обучение, миеломная болезнь.

В медицине все чаще используются оптические методы, в частности рамановская спектроскопия, к преимуществам которой можно отнести возможность изучения небольшого количества анализируемого вещества и высокое быстродействие. Внедрение жидкостной биопсии с помощью рамановской спектроскопии в клиническую практику может привести к повышению эффективности диагностики рака на ранней стадии.

Метод поверхностно-усиленного рамановского рассеяния (SERS) позволяет усилить сигнал рамановского рассеяния на несколько порядков путем модификации поверхности. Для SERS подложки в работе использовался коллоид серебра, полученный методом химического восстановления [1]. Регистрация рамановских спектров проводилась при возбуждении лазерным излучением 785 нм, далее они были подвергнуты сглаживанию и коррекции базовой линии для удаления шума и фона флуоресценции. Всего зарегистрировано 72 спектра образцов сыворотки крови пациентов с миеломой и 69 спектров – пациентов контрольной группы. Усредненные рамановские спектры сыворотки крови здоровых людей и пациентов с миеломой представлены на рисунке 1.

Для классификации рамановских спектров применялись методы машинного обучения: логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей, дискриминантный анализ с проекцией на латентные структуры, случайный лес. Исходными данными для анализа стали концентрации компонентов сыворотки крови, полученные с помощью разложения рамановских спектров методом разрешения многомерных кривых [2].

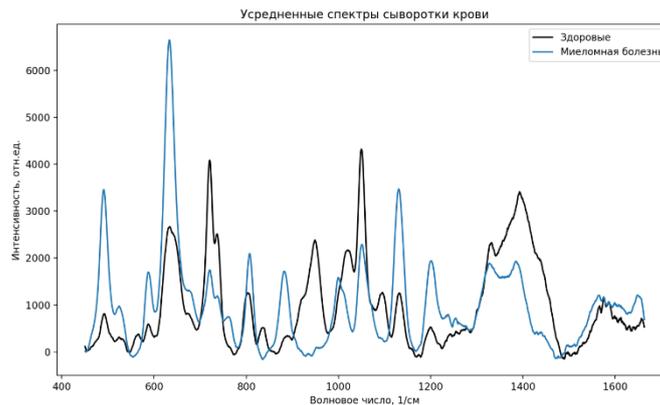


Рис. 1. Усредненные рамановские спектры образцов сыворотки крови

В результате анализа моделей классификации выявлено, что лучшей эффективностью в задаче классификации рамановских спектров сыворотки крови пациентов с миеломой и контрольной группы обладают методы  $k$ -ближайших соседей и случайного леса (площади по ROC-кривой этих моделей классификации больше 0,90). На основе выбранных моделей создано приложение для идентификации миеломы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.Z. Al-Sammarraie, L.A. Bratchenko, E.N. Typikova, V.P. Zakharov, I.A. Bratchenko, P.A. Lebedev, Silver nanoparticles-based substrate for blood serum analysis under 785 nm laser excitation. // JBPE, 2022, v. 8, № 1, p. 010301.
2. I. Matveeva, I. Bratchenko, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, A. Moryatov, S. Kozlov, O. Kaganov, V. Zakharov, Multivariate Curve Resolution Alternating Least Squares Analysis of In Vivo Skin Raman Spectra. // Sensors, 2022, v. 22, № 24, p. 9588.

## LIQUID BIOPSY USING RAMAN SPECTROSCOPY

**P.V. Gorbacheva<sup>1</sup>, I.A Matveeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: polinag63@mail.ru

The study of blood serum in people with multiple myeloma and a control group was conducted. Analysis of Raman spectra of samples by the multivariate curve resolution method allowed us to identify informative spectral bands. Machine learning methods such as logistic regression,  $k$ -nearest neighbors, discriminant analysis with projection onto latent structures and random forest were used to classify Raman spectra. Classification models show an area under the ROC curve of more than 0.90, which confirms the possibility of diagnosing multiple myeloma using Raman spectroscopy and machine learning methods.

**Keywords:** Raman spectroscopy, multivariate curve resolution method, machine learning, multiple myeloma.

## МЕТОД ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ИШЕМИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ КИШЕЧНОЙ СТЕНКИ

И.А. Горюнов<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>1</sup>, Н.А. Адаменков<sup>1,2</sup>, А.В. Мамошин<sup>1,2</sup>, Е.В. Потапова<sup>1</sup>, А.В. Дунаев<sup>1</sup>, В.В. Дрёмин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр биомедицинской фотоники ОГУ имени И.С. Тургенева  
(302020, г. Орёл, Наугорское шоссе 29)

<sup>2</sup>БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница»  
(302087, г. Орёл, б-р Победы 10)  
e-mail: goryunow.il@yandex.ru

В данной работе представлена система гиперспектральной визуализации, предназначенная для оценки микроциркуляторных нарушений на примере тканей кишечной стенки. Результаты проведенных исследований демонстрируют эффективность предложенного метода и подтверждают возможность использования в медицинской практике.

**Ключевые слова:** ишемия кишечной стенки, микроциркуляторные нарушения, гиперспектральная визуализация, машинное обучение.

В настоящее время гиперспектральная визуализация (ГВ) стала популярным методом в решении различных научных и прикладных медицинских задач, предлагая неинвазивный подход и обладая значительным потенциалом для дальнейшей математической обработки данных. Высокое спектральное разрешение современных систем ГВ позволяет разрабатывать модели классификации на основе классических методов сегментации и технологий машинного обучения.

В данной работе рассматривается применение метода ГВ для оценки степени ишемического повреждения кишечной стенки. Механизм циркуляторных нарушений и ишемических расстройств в большинстве случаев имеют единый сценарий развития, который напрямую связан с нарушением микроциркуляции, что приводит к циркуляторной гипоксии кишечной стенки [1]. Прогноз заболевания зависит от своевременной диагностики, поскольку раннее выявление критично для предотвращения таких осложнений, как перитонит или некроз. Поэтому сохранение даже минимального объема здоровых тканей является важной задачей.

Для реализации поставленной задачи была разработана система ГВ, основанная на регистрации диффузно отраженного света от биологической ткани. В качестве детектора использовалась гиперспектральная камера Specim (Spectral Imaging Ltd., Финляндия) со спектральным диапазоном 400-1000 нм и спектральным разрешением 7 нм. В качестве объекта исследования выступали здоровые половозрелые лабораторные крысы ( $n = 9$ ) линии Wistar. Для доступа к брюшной полости проводилась срединная лапаротомия с выделением петель тонкого кишечника. Локальная ишемия создавалась наложением лигатуры на аркадные сосуды. Измерения окклюзированного кишечника осуществлялись в несколько этапов: до наложения лигатуры (0 час) и после наложения

лигатуры (1, 6 и 12 часов). Для анализа полученных данных в качестве основного параметра использовалась тканевая сатурация. Основываясь на различном поглощении света несвязанной и связанной с кислородом формами гемоглобина, был рассчитан параметр тканевой сатурации [2]. Для оценки степени ишемического повреждения кишечной стенки, используя методы машинного обучения, был создан классификатор, позволяющий различать интактную ткань, обратимую ишемию и необратимую ишемию (по классификации Park/Chiu). По результатам оценки, совокупный показатель метрики точности AUC для модели XGBoost составил  $0,99 \pm 0,01$ .

На рассчитанных картах для всех этапов ишемии было выявлено уменьшение значения сатурации в области ишемии по сравнению с интактной тканью. Использование методов машинного обучения позволило локализовать область ишемии и определить степень повреждения тканей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-75-10088.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д.М. Коробков, Острая кишечная непроходимость – современное видение механизмов развития и дискутабельность в выборе диагностической и лечебной тактики // Бюллетень науки и практики, 2016, № 12, с. 147-170.
2. E.V. Potapova, V.V. Dremin, E.A. Zherebtsov, I.N. Makovik, A.I. Zherebtsova, A.V. Dunaev, K.V. Podmasteryev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, L.S. Khakhicheva, V.F. Muradyan, Evaluation of microcirculatory disturbances in patients with rheumatic diseases by the method of diffuse reflectance spectroscopy // Human Physiology, 2017, v. 43, p. 222-228.

## HYPERSPECTRAL IMAGING FOR ASSESSING THE DEGREE OF ISCHEMIC INJURY OF THE INTESTINAL WALL

**I.A. Goryunov<sup>1</sup>, V.V. Shupletsov, N.A. Adamenkov<sup>1,2</sup>, A.V. Mamoshin<sup>1,2</sup>, E.V. Potapova<sup>1</sup>, A.V. Dunaev<sup>1</sup>, V.V. Dremin<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University  
(302020, Orel, Naugorskoe shosse 29)*

*<sup>2</sup>Orel Regional Clinical Hospital  
(302087, Orel, blvd., Pobedy 10)  
e-mail: goryunow.il@yandex.ru*

This paper presents a hyperspectral imaging system designed to assess microcirculatory disorders in the example of intestinal wall tissues. The results of the conducted studies demonstrate the effectiveness of the applied method and confirm the possibility of its use in medical practice.

**Keywords:** intestinal wall ischemia, microcirculatory disorders, hyperspectral imaging, machine learning.

## ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКОЛ И МЕТАЛЛОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМИ ПОТОКАМИ ЖИДКОСТИ

А.И. Гришина<sup>1</sup>, А.Г. Бондаренко<sup>1</sup>, Г.В. Романова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет ИТМО  
(197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.)  
e-mail: alena.i.grishina@yandex.ru*

В данной работе исследовано влияние параметров лазерного излучения на геометрические и химические свойства поверхности стальных и стеклянных подложек. Разработаны методы создания структур, обеспечивающих автономное направленное течение малых объемов жидкостей, на нержавеющей стали и кварцевом стекле.

**Ключевые слова:** управление смачиванием, автономное течение жидкости, микрофлюидные системы, зонные структуры, лазерное структурирование.

Возможность локальной модификации рельефа делает технологии лазерной обработки наиболее предпочтительным методом для придания поверхностям заданных шероховатостей, что позволяет изменять функциональные характеристики, в том числе управлять смачиванием поверхности. Использование лазерного структурирования для контроля смачивания позволяет формировать на поверхности структуры с последовательно уменьшающимся углом смачивания, называемые градиентами смачивания или зонными структурами. Существующие методы создания гидрофобных градиентов смачивания включают в себя большое количество продолжительных по времени этапов обработки поверхности [1-4].

В ходе исследования был разработан одноэтапный метод создания гидрофильных одноразовых зонных структур на поверхности нержавеющей стали. Скорость протекания капли по набору структур длиной 17,5 мм составляла 20 мм/с. На основе этого метода был выработан термохимический метод создания зонных структур на поверхности нержавеющей стали, включающий в себя воздействие лазерными импульсами и постобработку гидрофобизирующим раствором. Созданные таким методом многоразовые структуры обладали длиной 12 мм, средняя скорость течения капли на таком образце составила 33 мм/с.

Контролировать смачиваемость поверхности стекла с помощью лазерного излучения является важной задачей для управления малыми потоками жидкости. За счет своей прочности, высокой оптической прозрачности и химической устойчивости к используемым реагентам стекло, в частности кварцевое, является наиболее предпочтительным для задач микрофлюидики [5]. Путем варьирования мощности и скорости лазерного излучения получены микрофлюидные элементы со значениями ширины и глубины от сотен нанометров до сотен микрометров. Такие структуры позволяют работать с нанолитровыми объемами реагентов. Разработанный метод

прямой одноэтапной лазерной записи позволяет получать микроструктуры на поверхности кварцевых пластин без внутренних напряжений и трещин.

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. Liu, J. Sun, J. Li, C. Xiang, L. Che, Z. Wang, X. Zhou, Long-range spontaneous droplet self-propulsion on wettability gradient surfaces. // *Sci. Rep.*, 2017., v. 7., p. 7552.
2. X. Tang, J. Huang, Z. Guo, W. Liu, A combined structural and wettability gradient surface for directional droplet transport and efficient fog collection. // *J. of Coll. and Int. Sci.*, 2021, v. 604, p. 526–536.
3. K. Misiuk, S. Lowrey, R. Blaikie, J. Juras, A. Sommers, Development of a coating-less aluminum superhydrophobic gradient for spontaneous water droplet motion using one-step laser-ablation. // *Langmuir*, 2022., v. 38., №. 6., p. 1954-1965.
4. A. D. Sommers, T. J. Brest, K. F. Eid, Topography-based surface tension gradients to facilitate water droplet movement on laser-etched copper substrates. // *Langmuir.*, 2013., v. 29., №. 38., p. 12043-12050.
5. F. Kotz, K. Arnold, W. Bauer, D. Schild, N. Keller, K. Sachsenheimer, T. M. Nargang, C. Richter, D. Helmer, B. E. Rapp, Three-dimensional printing of transparent fused silica glass. // *Nature.*, 2017., v. 544., №. 7650., p. 337-339

## LASER METHODS OF STRUCTURING THE SURFACE OF GLASSES AND METALS FOR CONTROLLING SMALL FLUID FLOWS

**A.I. Grishina<sup>1</sup>, A.G. Bondarenko<sup>1</sup>, G.V. Romanova<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Kronverksky Ave., 49A, St. Petersburg, Russia, 197101)  
e-mail: alena.i.grishina@yandex.ru*

In this paper we studied the influence of laser radiation parameters on geometrical and chemical properties of the surface of steel and glass substrates. We developed methods of creating structures that provide autonomous directional fluid flow of small volumes on stainless steel and quartz glass.

**Keywords:** wetting control, autonomous fluid flow, microfluidic systems, zone structures, laser structuring.

## АНАЛИЗ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОЙ МЕЛАНОМЫ И СЕБОРЕЙНОГО КЕРАТОЗА С ПОМОЩЬЮ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

К.М. Гуськова<sup>1</sup>, И.А. Матвеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: karinaguskova2002@mail.ru*

В работе описан подход к неинвазивной диагностике злокачественной меланомы, основанный на анализе данных рамановского рассеяния с помощью машинного обучения. Рассматривается задача бинарной классификации рамановских спектров злокачественной меланомы и себорейного кератоза. В качестве методов машинного обучения выбраны метод опорных векторов, случайный лес, логистическая регрессия, градиентный бустинг. Наибольшую эффективность показала модель логистической регрессии (площадь под ROC-кривой составила 0,83).

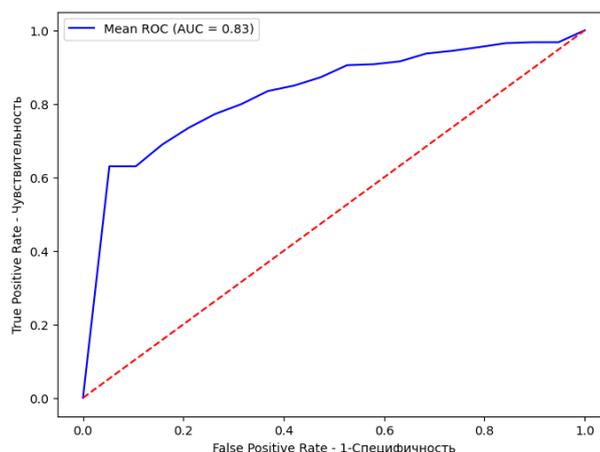
**Ключевые слова:** рамановская спектроскопия, машинное обучение, логистическая регрессия, злокачественная меланома, себорейный кератоз.

Рамановская спектроскопия находит широкое применение в сфере медицинской диагностики и успешно применяется для анализа новообразований кожи [1]. Интерпретация получаемых рамановских спектров представляет собой сложную задачу, что требует применения различных методов машинного обучения [2].

В работе исследуются рамановские спектры новообразований злокачественной меланомы ( $n = 70$ ) и себорейного кератоза ( $n = 70$ ), зарегистрированные в ближней инфракрасной области при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 785 нм [3]. Спектры новообразований кожи были получены с помощью портативной спектроскопической установки [2]. Зарегистрированные спектры новообразований кожи подвергались предварительной обработке с удалением базовой линии и сглаживанием фильтром Савицкого-Голея.

Для решения задачи бинарной классификации рамановских спектров злокачественной меланомы и себорейного кератоза в данной работе применялись метод опорных векторов, случайный лес, логистическая регрессия и градиентный бустинг. Оценка качества классификации проводилась на основе анализа площади под ROC-кривой. В результате модели классификации показали площадь под ROC-кривой на уровне 0,77, 0,72, 0,83, 0,71, соответственно. ROC-кривая модели классификации методом логистической регрессии представлена на рисунке 1.

Полученные результаты могут применяться в составе ансамбля классификаторов в системах помощи принятия диагностических решений для неинвазивной диагностики злокачественной меланомы кожи.



*Рис.1. ROC-кривая модели классификации рамановских спектров злокачественной меланомы и себорейного кератоза методом логистической регрессии*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Khristoforova, L. Bratchenko, I. Bratchenko, Raman-Based Techniques in Medical Applications for Diagnostic Tasks: A Review. // International Journal of Molecular Sciences, 2023, v. 24, № 21, p. 15605.
2. К.Е. Томникова, I.A. Matveeva, Machine Learning Methods for Classifying Raman Scattering Spectra of the Skin. // 2024 10th International Conference on Information Technology and Nanotechnology, ITNT 2024, 2024, p. 1-4.
3. Y.A. Khristoforova, I.A. Bratchenko, O.O. Myakinin, D.N. Artemyev, A.A. Moryatov, A.E. Orlov, S.V. Kozlov, V.P. Zakharov, Portable spectroscopic system for in vivo skin neoplasms diagnostics by Raman and autofluorescence analysis. // Journal of biophotonics, 2019, v. 12, №. 4, p. e201800400.

## MALIGNANT MELANOMA AND SEBORRHEIC KERATOSIS RAMAN SPECTRA ANALYSIS USING MACHINE LEARNING

**K.M. Guskova<sup>1</sup>, I.A. Matveeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: karinaguskova2002@mail.ru*

The paper describes an approach to non-invasive diagnostics of malignant melanoma based on the analysis of Raman scattering data using machine learning. The problem of binary classification of Raman spectra of malignant melanoma and seborrheic keratosis is considered. The support vector machine method, random forest, logistic regression, and gradient boosting were selected as machine learning methods. The logistic regression model showed the greatest efficiency (the area under the ROC curve was 0.83).

**Keywords:** Raman spectroscopy, machine learning, logistic regression, malignant melanoma, seborrheic keratosis.

## СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ ВОЛЬФРАМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.В. Дианов<sup>1,2</sup>, Я.В. Ульянов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Государственный лазерный полигон «Радуга»,  
(600910, г. Радужный, а/я 771)

<sup>2</sup> Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых,  
(600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

<sup>3</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(115409, г. Москва, Каширское ш., 31)  
e-mail: sergey.dianov.01@mail.ru

В работе внимание уделяется синтезу наночастиц вольфрама и его соединений посредством фемтосекундного лазерного испарения мишеней в жидких средах. С помощью фемтосекундной лазерной системы были получены наночастицы в этаноле, ацетоне и деионизированной воде с размерами от 1 до 200 нм. Работа подчеркивает, как регулировка мощности лазера и условий окружающей среды контролирует размер и свойства наночастиц, обеспечивая потенциальные применения, такие как повышение прочности алюминиевых сплавов.

**Ключевые слова:** наночастицы вольфрама, лазерное испарение, синтез, жидкие среды.

Целью работы является синтез наночастиц вольфрама и его соединений путём лазерного испарения мишеней в жидкой среде. Значение заключается в разработке метода синтеза наночастиц, который позволяет контролировать их свойства и дисперсию для удовлетворения современных потребностей. Особенностью лазерного испарения с использованием фемтосекундных лазерных импульсов является комбинированное взаимодействие таких процессов, как поглощение лазерного излучения, испускание наночастиц и взаимодействие плазмы со средой, что приводит к эффективному синтезу наночастиц. Основным использованным техническим решением стала фемтосекундная лазерная система ТЕТА-10 [1].

Лазер работал на длине волны 1029 нм с длительностью импульса 300 фемтосекунд, частотой повторения 10 кГц и энергией импульса 150 мкДж. Наночастицы вольфрама синтезировались в различных жидких средах: оксиды в воде, карбиды в ацетоне и наночастицы в этаноле. При мощности лазера 1 Вт в этаноле были получены наночастицы размером от 20 до 200 нм, со средним размером около 75 нм. Уменьшение мощности до 0,5 Вт привело к образованию наносфер размером от 40 до 150 нм. Лазерная фрагментация привела к образованию более мелких наносфер (<20 нм) в коллоидном растворе, в то время как более крупные наносферы (30-60 нм) остались нетронутыми.

В ацетоне лазерная абляция при 1 Вт производила сферические наночастицы размером от 20 до 180 нм, а при 0,5 Вт — частицы размером от 20 до 150 нм. Лазерная

фрагментация уменьшила размер частиц, образовав коллоидный раствор, который высох в гелевую плёнку, содержащую наночастицы размером около 1 нм. При 1 Вт в деионизированной воде образовались наносферы размером от 60 до 100 нм, а конгломераты достигли 300 нм. Уменьшение мощности до 0,5 Вт привело к образованию более крупных структур размером до 1 мкм и конгломератов размером до 10 мкм. Спектрофотометрический анализ показал, что лазерная фрагментация коллоидных растворов уменьшает рассеяние.

Эти результаты могут быть полезны для промышленного применения, в частности для улучшения механических свойств алюминиевых сплавов за счёт включения в них наночастиц вольфрама.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д. А. Кочуев, Влияние давления и электрического поля на динамику синтеза микро- и наночастиц при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на поверхность материала в жидких и газовых средах : специальность 01.04.21 «Лазерная физика» : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2021, 133 с.

## SYNTHESIS OF NANOSTRUCTURED TUNGSTEN PARTICLES USING FEMTOSECOND LASER RADIATION

S.V. Dianov<sup>1,2</sup>, Y.V. Ulyanov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs,  
(Gorkogo str., 87, Vladimir, Russia, 600000)*

<sup>2</sup>*State Laser Polygon “Raduga”,  
(p.o. box 771, Raduzhyi. Russia, 600910)*

<sup>3</sup>*National Research Nuclear University “MEPhI”,  
(Kashirskoe hwy., 31, Moscow, Russia, 115409)*

*e-mail: sergey.dianov.01@mail.ru*

The paper focuses on the synthesis of tungsten nanoparticles and its compounds via femtosecond laser evaporation of targets in liquid media. Using a femtosecond laser system, nanoparticles were produced in ethanol, acetone, and deionized water with sizes ranging from 1 to 200 nm. The paper highlights how tuning the laser power and environmental conditions controls the size and properties of the nanoparticles, providing potential applications such as increasing the strength of aluminum alloys.

**Keywords:** tungsten nanoparticles, laser evaporation, synthesis, liquid media.

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАДИАЦИОННО-ИНИЦИИРУЕМЫХ  
ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАНОВЫХ ЛЕДЯНЫХ ПЛЕНКАХ****В.С. Ишмаева<sup>1</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

<sup>2</sup> Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

*e-mail: ishmlera@mail.ru*

В работе разработана кинетическая модель для радиационно-инициируемых реакций в криогенных метановых пленках и проведены симуляции экспериментальных данных полученных, при облучении метана 5 кэВ электронами и 7.3 МэВ протонами.

**Ключевые слова:** межзвездная среда, космические лучи, метан, химико-кинетическая симуляция.

Углеводороды являются одними из самых распространенных органических соединений в космосе. Образование сложных углеводородных молекул в межзвездной среде происходит при взаимодействии космических лучей с межзвездными льдами, содержащими метан, который является одной из самых распространенных там молекул. Механизм реакций с участием метана малопонятен, но он активно изучается в работах Ральфа Кайзера.

В работе [1], лёд состоящий из метана, этилена и ацетилена облучали в камере сверхглубокого вакуума при температуре 10 К  $\alpha$ -частицами с энергией 9,0 МэВ и протонами с энергией 7,3 МэВ; а в работе [2] - электронами с энергией 5 кэВ при температуре 10 К. По проведенным экспериментам были представлены механизмы реакций в метановом льду. В работе [2] для предложенного механизма дополнительно были проведены кинетические симуляции и получены значения кинетических констант, хорошо описывающих экспериментальные данные. Механизм, предложенный в работе [1] не был проверен кинетическими симуляциями. В своей работе я провела кинетические симуляции временных зависимостей концентраций продуктов и интермедиатов реакций, приведенных в работе [1], и оптимизировала предложенный механизм путем добавления дополнительных реакций и уточнения значений кинетических констант, механизм представлен на рисунке 1.

По итогам работы было получено хорошее соответствие рассчитанных и экспериментальных временных зависимостей, что подтверждает применимость уточненного механизма для описания неравновесных реакций в метановом льду, инициируемых протонами и электронами. Было установлено, что механизмы образования продуктов отличаются для реакций, инициируемых электронами с энергией 5 кэВ и протонами с энергией 7.3 МэВ. Данный результат свидетельствует об ограниченной применимости облучения льдов электронами с энергиями порядка

нескольких кэВ для симуляции астрохимических процессов и необходимости учитывать взаимодействия с тяжелыми высокоэнергетическими частицами космических лучей.

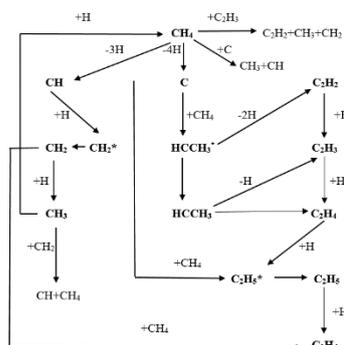


Рис. 1 - дополненный механизм реакций

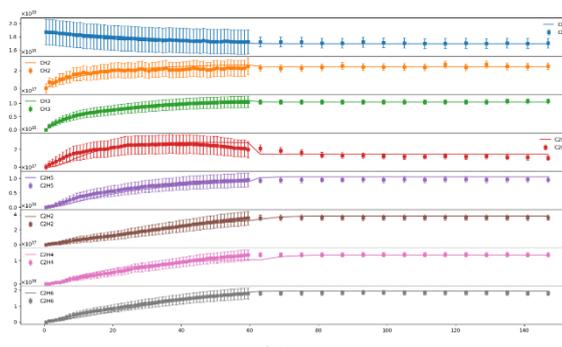


Рис. 2 - Временные эволюции ИК-Фурье линий для продуктов радиационно-иницируемых реакций в метановом льду

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R.I. Kaiser, K. Roessler, Theoretical and laboratory studies on the interaction of cosmic-ray particles with interstellar ices. III. Suprathermal chemistry-induced formation of hydrocarbon molecules in solid methane ( $\text{CH}_4$ ), ethylene ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), and acetylene ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) // J. Astrophys. 1998, v. 503, 959-975.
2. M.J. Abplanalp, B.M. Jones, R.I. Kaiser, Untangling the methane chemistry in interstellar and solar system ices toward ionizing radiation: a combined infrared and reflectron time-of-flight analysis. // J. Phys. Chem. Chem. Phys., 2018, v.20, 5435-5468.
3. Brant M Jones, Ralf I Kaiser, Application of Reflectron Time-of-Flight Mass Spectroscopy in the Analysis of Astrophysically Relevant Ices Exposed to Ionization Radiation: Methane ( $\text{CH}_4$ ) and D4-Methane ( $\text{CD}_4$ ) as a Case Study // J. Phys. Chem. Lett.

## STUDYING THE MECHANISMS OF RADIATION-INITIATED CHEMICAL PROCESSES IN METHANE ICE

V.S. Ishmaeva<sup>1</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

e-mail: ishmlera@mail.ru

A kinetic model for radiation-initiated reactions in cryogenic methane films has been developed and simulations of experimental data obtained by irradiating methane with 5 keV electrons and 7.3 MeV protons have been carried out.

**Keywords:** interstellar medium, cosmic rays, methane, chemical and kinetic simulation.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А. В. Кабанов<sup>1</sup>, Э. А. Бибикина<sup>1,2</sup>, Н. Д. Кундикова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет)»

(454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76)

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт электрофизики и электроэнергетики УрО РАН»

(620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106)

e-mail: aleksei\_74\_01@mail.ru

Разработан экспериментальный метод определения эффективных поляризационных параметров любой оптической системы. Для поиска эффективных параметров экспериментальные данные обрабатывались в программе, основанной на теории обобщённой теоремы об эквивалентности поляризационных систем. Работоспособность метода была подтверждена экспериментально на различных поляризационных системах.

**Ключевые слова:** поляризация света, поляризационная система, эффективные поляризационные параметры, оптически анизотропная среда.

Согласно обобщённой матричной теореме об эквивалентности оптических систем [1] система, состоящая из любого количества поляризационных элементов по своим поляризационным свойствам эквивалентна системе из четырех последовательно расположенных простейших элементов. В результате такая система однозначно характеризуется шестью эффективными параметрами анизотропии: линейным фазовым сдвигом  $\Gamma$ , азимутом медленной оси линейного фазосдвигающего элемента  $\alpha$ , коэффициентом линейного дихроизма  $P$ , коэффициентом циркулярного дихроизма  $R$ , оптической активностью  $\theta$ , азимутом оси пропускания линейного поляризатора  $\phi$ .

В рамках предложенного метода предлагается измерять мощность излучения лазера на выходе исследуемой системы при различных ориентациях входного линейно поляризованного излучения и анализатора на выходе из системы. Схема экспериментальной установки для определения эффективных параметров поляризационной системы из четырёх фазосдвигающих элементов представлена на рисунке 1. Экспериментальные данные затем используются для расчета эффективных параметров в программе, основанной на теории теоремы об эквивалентности [1]. Метод был подтвержден при исследовании различных поляризационных систем. Найденные предложенным методом эффективные параметры хорошо соответствуют теоретически рассчитанным значениям.

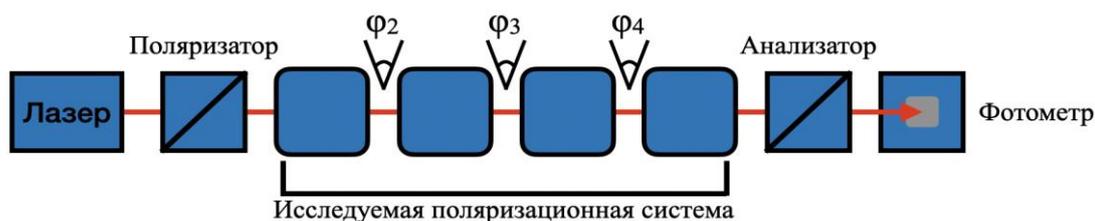


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В настоящее время поляризационные методы исследования материалов нашли широкое применение в различных областях науки и техники благодаря неинвазивности методики и точности результатов [2]. Предложенным в данной работе методом можно определять эффективные параметры не только поляризационных систем, но и любых оптически анизотропных сред. Определение этих параметров позволяет получить полную информацию об анизотропных свойствах конкретной среды или системы, а это, в свою очередь, позволяет идентифицировать ее, а также найти закономерности и провести сравнительный анализ анизотропных свойств сред различной природы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S.N. Savenkov, V.V. Marienko, E.A. Oberemok, O. Sydoruk, Generalized matrix equivalence theorem for polarization theory. // *Physical Review E*, 2006, v. 74, № 5, p. 056607.
2. E. Salomatina-Motts, V.A. Neel, A.N. Yaroslavskaya, Multimodal polarization system for imaging skin cancer. // *Optics and Spectroscopy*, 2009, v. 107, № 6, p. 884-890.

## METHOD FOR DETERMINING EFFECTIVE PARAMETERS OF POLARIZATION SYSTEMS

A. V. Kabanov<sup>1</sup>, E. A. Bibikova<sup>1,2</sup>, N. D. Kundikova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*South Ural State University (National Research University)  
(454080, Chelyabinsk, V.I. Lenin Ave., 76)*

<sup>2</sup>*Institute of Electrophysics and Electric Power Engineering, Ural Branch of the RAS  
(620016, Yekaterinburg, Amundsen St., 106)  
e-mail: aleksei\_74\_01@mail.ru*

An experimental method for determining the effective polarization parameters of any optical system has been developed. To find the effective parameters, the experimental data were processed in a program based on the theory of the generalized theorem on the equivalence of polarization systems. The efficiency of the method was confirmed experimentally on various polarization systems.

**Key words:** polarization of light, polarization system, effective polarization parameters, optically anisotropic medium.

## НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МАСОК ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОМПАКТНОЕ ПЯТНО

Д.Ю. Калашников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: kalashnikov434@mail.ru*

Работа посвящена исследованию острой фокусировки лазерного излучения с радиальной поляризацией и нахождению оптимальной конфигурации бинарной фазовой маски для получения минимального размера фокусного пятна по полуспаду интенсивности в фокусе апланатического объектива. Моделирование проводилось по формулам Ричардса-Вольфа для радиально-поляризованного света. Оптимизация бинарной фазовой маски проводилась с помощью генетического алгоритма.

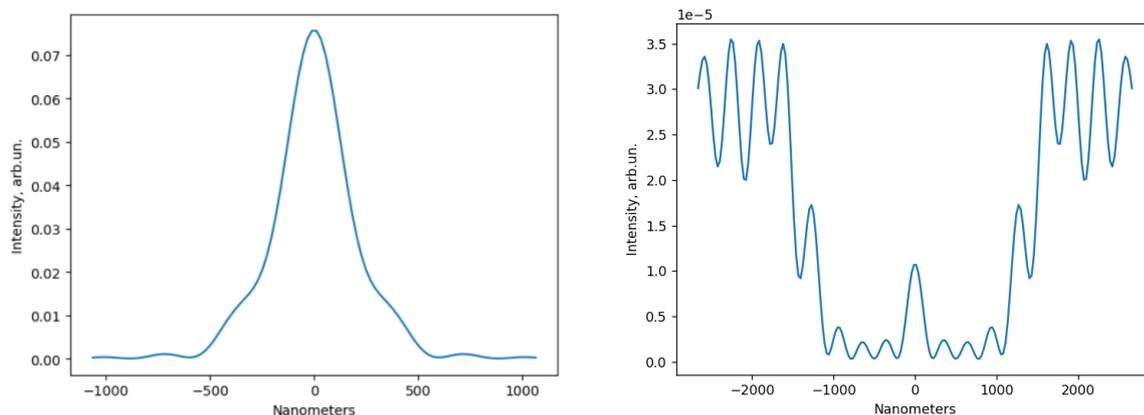
**Ключевые слова:** острая фокусировка, неоднородная поляризация, радиальная поляризация, суперосцилляции, генетический алгоритм, формулы Ричардса-Вольфа, бинарная фазовая маска.

В настоящее время широко используются оптические устройства, принцип работы которых основан на острой фокусировке лазерного излучения. Острая фокусировка света с использованием линз или объективов с высокой числовой апертурой используется как при фундаментальных исследованиях различных веществ, так и в таких приложениях, как конфокальная микроскопия и оптическое хранение данных [1, 2]. Основным методом, с помощью которого анализируют сфокусированные поляризованные пучки, являются интегралы, полученные Ричардсом и Вольфом [3].

Данная работа посвящена исследованию острой фокусировки лазерного излучения с радиальной поляризацией и нахождению оптимальной конфигурации бинарной фазовой маски для получения минимального размера фокусного пятна по полуспаду интенсивности в фокусе апланатического объектива.

Средствами языка программирования Python с помощью использования библиотек NumPy, SciPy была разработана программа для численного моделирования острой фокусировки лазерного излучения с неоднородной поляризацией.

С помощью интегралов Ричардса-Вольфа были рассчитаны компоненты электрического поля для нахождения распределения интенсивности в фокусе апланатического объектива с числовыми апертурами 0,65, 0,8 и 0,95. Результат для линзы с числовой апертурой 0,95 показан на рис. 1а. Затем были рассчитаны компоненты электрического поля для нахождения распределения интенсивности в фокусе апланатического объектива с числовой апертурой 0,95, дополненного бинарной фазовой маской [3]. С помощью генетического алгоритма были подобраны оптимальные параметры для бинарных масок, состоящих из 108 и 150 зон. Размеры полученных фокусных пятен составили  $\text{FWHM} = 0,36\lambda$  (рис. 1б) и  $\text{FWHM} = 0,32\lambda$ , соответственно.



*Рис. 1. Распределение интенсивности в фокальной плоскости при фокусировке радиально поляризованной моды  $R-TEM_{01}$  с параметром  $\beta = 1$  (а) и при фокусировке радиально поляризованного пучка Бесселя-Гаусса, прошедшего через бинарную фазовую маску, состоящую из 108 зон (б) апланатическим объективом с числовой апертурой равной 0,95*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Н. Хонина, С.Г. Волотовский, Управление вкладом компонент векторного электрического поля в фокусе высокоапертурной линзы с помощью бинарных фазовых структур // Компьютерная оптика, 2010, т. 34, № 1, с. 58-68.
2. С.С. Стафеев, Субволновая фокусировка лазерного излучения смешанной азимутально-линейной поляризации // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 4, с. 458-466.
3. В. Pant, Н.К. Meena, В.К. Singh, Super-oscillatory spots with different inhomogeneous linear polarized states // Applied Optics, 2023, v. 62, p. 9599-9604.

## FINDING OPTIMAL MASKS FOR FOCUSING OF LASER BEAMS TO COMPACT FOCAL SPOT

**D.Y. Kalashnikov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: kalashnikov434@mail.ru

The work is dedicated to the study of tight focusing of laser beams with radial polarization and finding the optimal configuration of a binary phase mask to obtain the minimum size of the focal spot according to the full-width at half-maximum of intensity in the focus of an aplanatic lens. The simulation was implemented by the Richards-Wolf formulas for radially polarized light. Optimization of the binary phase mask was implemented by genetic algorithm.

**Keywords:** tight focusing, inhomogeneous polarization, radial polarization, superoscillation, genetic algorithm, Richards-Wolf formulas, binary phase mask.

## ФОРМИРОВАНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ПУЧКОВ СВЕТА С УЧЕТОМ АППАРАТНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Д.И. Кашапова<sup>1,2</sup>, Д.В. Прокопова<sup>1</sup>, С.П. Котова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: dianazavrrr@mail.ru

Представлены результаты анализа структуры спиральных пучков, сформированных голографическим методом, при изменении параметра квантования. Определены предельные значения пространственного спектра световых полей, которые можно реализовать с помощью жидкокристаллического фазового пространственного модулятора света.

**Ключевые слова:** Спиральные пучки света, параметр квантования, период дискретизации, пространственный модулятор света, пространственный спектр.

Структурированные световые поля, к которым относятся спиральные пучки света, широко востребованы в современной оптике и фотонике для различных прикладных задач [1-3]. Для успешного использования структурированное световое поле должно обладать заданными пространственными характеристиками, поэтому изучение структуры формируемых полей не теряют своей актуальности. Цель данной работы – определить влияние аппаратных ограничения ЖК ПМС на формируемое световое поле.

Спиральные пучки света (СПС) – световые поля, сохраняющие структуру распределения интенсивности с точностью до масштаба и вращения при распространении и фокусировке. В работе исследуются пучки в форме замкнутых кривых [4]. Для таких пучков существует условие квантования:

$$S = \frac{1}{2} \pi \rho^2 N, \quad (N = 1, 2, 3, \dots), \quad (1)$$

где  $S$  - площадь под кривой,  $\rho$  - гауссов параметр,  $N$  - параметр квантования.

В работе проведен анализ Фурье-спектров формируемых СПС и оценены ограничения, возникающие в системе при физической реализации пучков голографическим методом с помощью жидкокристаллического пространственного модулятора света (ЖК ПМС) Holoeye Neo-1080P (1920\*1080 пк, размер пикселя 8 мкм).

Экспериментальная установка, на которой проводились эксперименты, подробно описана в работе [1]. Для того чтобы определить ограничения, накладываемые ЖК ПМС используем теорему Котельникова [5]. Предельное разрешение ЖК ПМС определяется размером пикселя  $d_{px}$ . Пространственный спектр голограммы описывается сверткой Фурье-спектра опорной волны с пространственной частотой  $\alpha = \sin\theta/\lambda$ , и Фурье-спектра спирального пучка с шириной  $\Delta\nu_{ob} = 1/\rho$ . Ширина функции свертки будет равна ширине спектра

спирального пучка, сдвинутой на величину  $\alpha$  от нулевой пространственной частоты. Исходя из всего представленного, получаем соотношение, ограничивающее  $\rho$ :

$$\alpha + \frac{1}{2\rho} \leq \frac{1}{2d_{px}}. \quad (2)$$

Из полученного соотношения выражаем  $\rho$ , и подставляем в формулу (1). При граничном угле  $\theta=1.5^\circ$ ,  $\lambda=0.5$  мкм, с площадью круга диаметром 8 мм, получаем, что предельное значение ширины –  $\rho = 16$  мкм, и предельное значение для параметра квантования –  $N = 3.5 \cdot 10^3$ .

В ходе исследования найдено граничное значение параметра квантования для заданных значений. Также установлено, что СПС, построенные голографическим методом, не превышают полученные граничные пространственные частоты, и должны корректно воспроизводиться ЖК ПМС Holoeye Neo-1080P.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К.В. Ефимова, Д.В. Прокопова, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, Формирование контурных вихревых полей с помощью фазовых элементов на основе спиральных пучков света // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2019, т. 46, № 4, с. 61-67.
2. N. Armon, E. Greenberg, E. Edri et al. , Simultaneous laser-induced synthesis and micro-patterning of a metal organic framework // Chemical communications 2019, v. 55, №. 85, p. 12773–12776.
3. Д.В. Прокопова, С.П. Котова, Фазовые дифракционные оптические элементы с повышенной эффективностью для наноскопии // Фотоника 2020, т. 14, № 2, с. 170–183.
4. Е.Г. Абрамочкин, В.Г. Волостников, Современная оптика гауссовых пучков // Физматлит, Москва 2010, 184 с.
5. С.Н. Васильев, В.Т. Шевалдин, Гармонический анализ // М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 80 с.

## FORMATION OF SPIRAL LIGHT BEAMS TAKING INTO ACCOUNT HARDWARE LIMITATIONS

**D.I. Kashapova<sup>1,2</sup>, D.V. Prokopova<sup>1</sup>, S.P. Kotova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: dianazavrrr@mail.ru*

The results of analyzing the structure of spiral beams at change of quantization parameter formed by holographic method. The limiting values of the spatial spectrum of the light fields, which can be realized with the help of liquid crystal phase spatial light modulator.

**Keywords:** Spiral light beams, quantization parameter, sampling period, spatial light modulator, spatial spectrum.

## СЕГМЕНТАЦИЯ ДЕРМАТОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Д.О. Кирюхина<sup>1</sup>, И.А. Матвеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: rozhnovskaya2711@gmail.com*

В работе представлены результаты применения сверточной нейронной сети для семантической сегментации новообразований кожи, полученных при помощи дерматоскопа. Была проведена предобработка изображений, которая заключается в нанесении маски и выделении границ новообразования. Качество сегментации оценивалось с помощью метрики mAP. Данный показатель составил более 50%.

**Ключевые слова:** сегментация, нейронная сеть, дерматоскопические изображения, программный модуль.

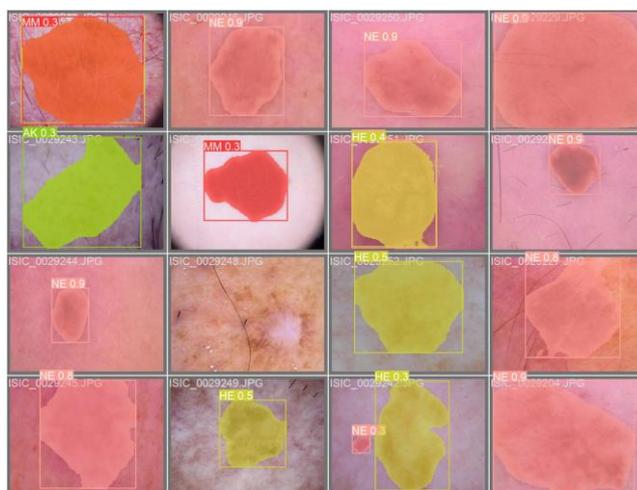
В последние годы наблюдается рост интереса к применению методов компьютерного зрения и глубокого обучения в области диагностики различных заболеваний кожи. Ранняя диагностика играет решающую роль, так как своевременное выявление повышает шансы на успешное лечение, минимизация рисков прогрессирования заболевания, а также возможно использования менее инвазивных вариантов терапии.

Одним из методов автоматизации и оптимизации процесса диагностики является сегментация - это ключевой шаг в процессе анализа дерматологических заболеваний [2].

В качестве экспериментальной установки используется мультиспектральный цифровой дерматоскоп [3]. В работе были задействованы изображения, полученные с помощью дерматоскопа в количестве 394 штук, а также изображения из стороннего датасета HAM10K в количестве 5200 снимков. Всего в работе были задействованы изображения таких новообразований как меланома, дерматофиброма, базальноклеточный рак, гиперкератоз кожи, плоскоклеточная карцинома и актинический кератоз.

В данной работе для реализации сегментации снимков используется сверточная нейронная сеть YOLO (You only look once) [1], которая предназначена для детекции и классификации объектов на изображениях и видео.

Для оценки сегментации используется mAP (mean Average Precision) [1]. Для каждого класса объектов вычисляется AP (Average Precision) через Precision-Recall кривую. Средняя точность модели после обучения составляет 50% [1]. Для сегментации различных объектов на изображении был использован случайный выбор цвета рамки и маски. Пример вывода результата после обучения модели показан на рисунке 1.



*Рис. 1. Результат сегментации*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Jha, S. Ali, Real-Time Polyp Detection, Localization and Segmentation Using Deep Learning. // Computer Vision and Pattern Recognition, 2021, p. 40496-40510.
2. Д.В. Лукашик, Анализ современных методов сегментации. // 2022, с. 57-60
3. С. Г. Коновалов, Программно-аппаратный дерматоскопический комплекс для in vivo диагностики рака кожи. // Оптические методы исследования потоков, 2019, с. 142-148.

## SEGMENTATION OF DERMATOSCOPIC IMAGES USING A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**D.O. Kiryukhina<sup>1</sup>, I.A Matveeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

<sup>1</sup>*e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

The paper presents the results of applying a convolutional neural network for semantic segmentation of skin lesions obtained using a dermatoscope. Pre-processing of the images was carried out, which consists of applying a mask and highlighting the boundaries of the neoplasm. The quality of segmentation was assessed using the mAP metric. This indicator was more than 50%.

**Keywords:** segmentation, neural network, dermoscopic images, software module.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИЗУАЛИЗИРУЮЩЕГО ФЛУОРИМЕТРА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЗАКРЫТЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

**В.И. Крохмаль, А.И. Попов, В.Н. Гришанов**

*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: baki.retard@gmail.com*

Целью проекта является разработка и совершенствование оптических методов исследования живых объектов, развивающихся в закрытых экосистемах (ЗЭС). Применение флуоресцентной визуализирующей съемки существенно дополняет данные, получаемые при изучении биообъектов в видимом спектре, позволяет ускорить и упростить процесс сбора информации, избежать ряда принципиальных проблем, связанных с другими методами исследования ЗЭС (встроенные датчики, логгеры, разгерметизация контейнера с ЗЭС и др.)

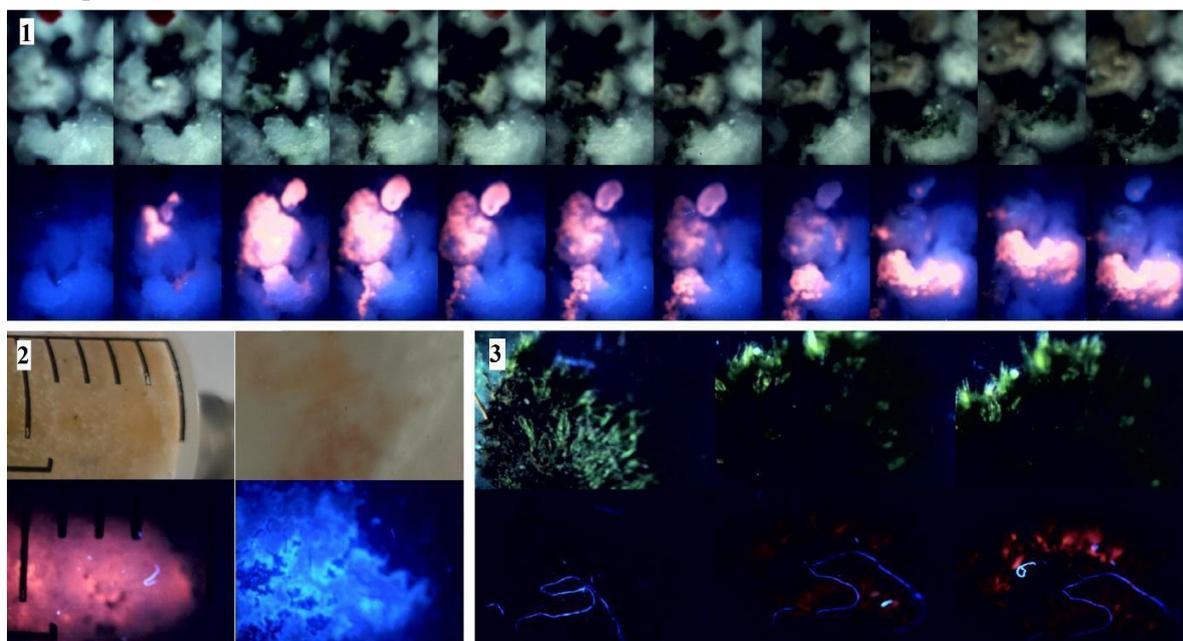
**Ключевые слова:** флуоресценция, съемка, закрытая экосистема, космическая биология

Эксперименты по созданию и изучению функционирования ЗЭС представляют значительный интерес для изучения биологических объектов и биотехнических систем в условиях космического полета и разработки автономных систем, способных создавать и регенерировать среду, пригодную для существования человека и других организмов. Визуальное наблюдение даже в течение длительного времени дает недостаточную информацию о жизнеспособности и физиологическом состоянии объекта внутри интактной ЗЭС и зачастую позволяет лишь констатировать наличие объекта или его остатков. Эксперименты на визуализирующем флуориметре, спроектированном на кафедре лазерных и биотехнических систем Самарского университета, демонстрируют большую информативность флуоресцентных изображений по сравнению с изображениями в белом свете.

На рисунке 1 представлены данные, полученные в результате съемки в белом свете и с помощью флуоресцентной визуализирующей съемки (возбуждающее излучение 365 нм, флуоресценция фотосинтетических пигментов, полисахаридов, белков регистрируется в виде серии цветных изображений). Такая съемка может наглядно демонстрировать активное развитие сообщества организмов (рисунок 1.1), четко дифференцировать мертвый и живой объекты, когда они не отличаются по внешним признакам (рисунок 1.2), давать сведения об успешности активации биообъектов, находящихся в состоянии покоя и/или физиологического стресса (рисунок 1.3)

Применение спроектированного флуориметра позволяет с необходимой периодичностью, оперативно (до нескольких секунд) получать наглядную информацию о состоянии биообъекта и регистрировать его реакцию на стресс или изменения в функционировании ЗЭС. Существующая миниатюрная элементная база позволяет размещать флуориметры внутри космических аппаратов (вплоть до категории наноспутников) для проведения натурных экспериментов, а программное обеспечение

обработки изображений и искусственный интеллект - автоматизировать эти эксперименты.



*Рис.1. Съемка биообъектов в белом (верхние ряды снимков) и УФ свете (нижние ряды).*

*1) Развитие биообъектов (комплекс фотосинтетических и гетеротрофных микроорганизмов) в закрытой экосистеме. Периодичность съемки – один раз в 7 дней.*

*2) Верхний ряд – живой (слева) и мертвый (справа) биообъект (зеленая водоросль с накопленными каротиноидами). 3) Активация биологического объекта (мох в состоянии ангидробиоза, справа налево 0, 20 и 60 мин. после регидратации).*

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. В.П. Захаров, В.Н. Конюхов, П.И. Бахтинов, Е.В. Молчков, Д.В. Корнилин, С.Г. Коновалов, Биологический модуль ViNOM для наноспутников семейства SamSat // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение, 2018, т. 17, № 2. с. 80-90.
2. И.Р. Нигматулин, В.Н. Гришанов, Панорамный флуориметр // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 2018, с. 194-195.
3. В.Н. Гришанов, Д.В. Корнилин, В.С. Куликов, Корректировка спектров излучения ультрафиолетовых светодиодов для возбуждения флуоресценции биообъектов. // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 2015, с. 150-52.
4. И.Р. Нигматулин, К.В. Черепанов, В.Н. Гришанов, Определение наличия и локализации загрязняющих примесей в халькогенидах цинка с помощью флуорометрической системы с визуализацией. // Современные проблемы физики и технологий. VII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 2018.

5. С.Г. Геворкян, В.Н. Гришанов, Индивидуальная переменность флуоресценции кожи. // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 2019, с. 148- 150.
6. С.Г. Геворкян, В.Н. Гришанов Исследование стабильности показаний визуализирующего флуориметра. // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно- технической конференции, 2020, с. 188-190.

## **APPLICATION OF VISUALIZING SPECTROFLUOROMETER IN ASSESSMENT OF CONDITION OF BIOLOGICAL OBJECTS IN CLOSED ECOSYSTEMS**

**V.I. Krohmal, A.I. Popov, V.N. Grishanov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoyeshosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: baki.retard@gmail.com*

The main goal of the project is design, testing and development of optical methods suitable for the examination of biological objects within the functioning closed ecosystems (CES). Fluorescent visualizing photography significantly improves the data obtained through the observation in the visible spectrum, makes the information gathering easier and quicker, enables solving some of the principal problems connected with other investigation methods (integrated sensors, internal data loggers, unsealing of CES, etc.)

**Keywords:** fluorescence, closed ecosystem, fluorescent photography, bioastronautics.

## СОЗДАНИЕ ГИДРОФОБНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

А.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.С. Абрамов<sup>1</sup>, Д.А. Бодунов<sup>1</sup>, Н.А. Халимов<sup>1</sup>, С.П. Эйум Эссака<sup>1</sup>,  
В.Д. Самышкин<sup>1</sup>, А.О. Кучерик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Владимирский Государственный Университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
(600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)  
e-mail: kuznetsovaabus@vk.com

Представлен способ создания гидрофобного покрытия на поверхности металлов методом лазерной модификации поверхности. Процесс включает в себя изменение морфологии поверхности алюминия с использованием импульсного режима лазера. Данный метод позволяет управлять геометрией образующихся структур, что способствует увеличению угла смачивания и созданию гидрофобных свойств.

**Ключевые слова:** лазерное излучение, гидрофобность, металлы, угол смачивания.

Модификация поверхности металлов с использованием наносекундного лазерного излучения, обладающего настраиваемыми режимами воздействия, обеспечивает формирование гидрофобных покрытий посредством локальной обработки зоны контакта лазерного пучка с поверхностью мишени. [1]. Гидрофобные покрытия проявляют высокую эффективность в качестве метода пассивной защиты от коррозии и механического износа. Они обладают низким коэффициентом сопротивления потокам жидкостей и демонстрируют повышенную устойчивость к определенным механическим нагрузкам. Эти свойства обуславливают их перспективность для применения в промышленных условиях на долгосрочной основе. [2, 3].

В данной работе представлен процесс создания гидрофобных поверхностей на алюминиевых мишенях с помощью YAG:Nd импульсного лазера. Время воздействия излучения составляло 10 нс, частота повторения импульсов 100 кГц, мощность импульса 10 Вт.

На рисунке 1 изображены два вида микрогеометрии: гексагональная и круговая.

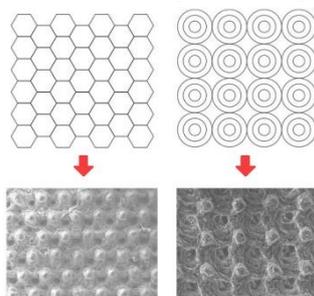


Рис. 1. РЭМ-изображение поверхности с гексагональной и круговой геометрией после воздействия лазерного излучения

Начальное значение краевого угла смачивания было равно 81°. После обработки поверхности краевой угол смачивания увеличивался со временем и спустя 14 дней достиг значения 120°. Результат представлен на рисунке 2.

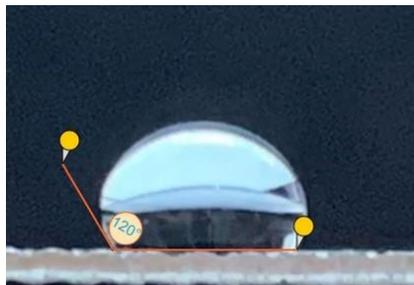


Рис. 2 Максимально достигнутый краевой угол смачивания после обработки

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что предложенный способ обработки способствует улучшению гидрофобных характеристик материала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F. Chen, D. Zhang, Q. Yang, J. Yong, G. Du, J. Si, F. Yun, X. Hou, Bioinspired wetting surface via laser microfabrication, // ACS Appl. Mater. Interfaces, 2013, v. 5, p. 6777 - 6792.
2. L.B. Boinovich, S.V. Gnedenkov, D.A. Alpysbaeva, V.S. Egorkin, A.M. Emelyanenko, S.L. Sinebryukhov, A.K. Zaretskaya, Corrosion resistance of composite coatings on lowcarbon steel containing hydrophobic and superhydrophobic layers in combination with oxide sublayer, // Corros. Sci. 2012, v. 55, p. 238 - 245.
3. T. Verho, C. Bower, P. Andrew, S. Franssila, O. Ikkala, R.H.A. Ras, Mechanically Durable Superhydrophobic Surfaces, // Adv. Mater., 2011, v. 23, p. 673 - 678.

### CREATION OF A HYDROPHOBIC COATING ON METAL SURFACES BY LASER IRRADIATION

**A.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, A.S. Abramov<sup>1</sup>, D.A. Bodunov<sup>1</sup>, N.A. Khalimov<sup>1</sup>, S.P. Eyum Essaka<sup>1</sup>,  
V.D. Samyshkin<sup>1</sup>, A.O. Kucherik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs  
(Gorky str., 87, Vladimir, Russia, 600000)  
e-mail: kuznetsovaabus@vk.com*

A method for creating a hydrophobic coating on a metal surface by laser modification of the metal surface is presented. The process involves changing the morphology of the aluminum surface using a pulsed laser mode. This method allows you to control the geometry of the resulting structures, which increases the wetting angle and creates hydrophobic properties of the material.

**Keywords:** laser radiation, hydrophobicity, metals, wetting angle.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЖИДКИХ СРЕД МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.А. Кузнецов<sup>1</sup>, А.С.Софьин<sup>1</sup>, А.В.Неупокоева<sup>1</sup>, И.А.Братченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный медицинский университет,  
(443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89);

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: Vovakuznecov462@gmail.com

Работа посвящена исследованию механизмов взаимодействия лазерного излучения с белковыми растворами путем регистрации поверхностно усиленных рамановских спектров. Выявлено, что под действием лазерного излучения изменяется структура раствора, что приводит к изменению рамановских спектров исследуемых сред. Показана зависимость амплитудных изменений в спектре от интенсивности лазерного воздействия, тогда как изменения формы максимумов не зависят от интенсивности при исследованных временах воздействия.

**Ключевые слова:** лазерная биостимуляция, рамановская спектроскопия, плазма крови.

Лазерное излучение широко применяется в медицине, причем эффекты от его воздействия регистрируются на различных уровнях: от уменьшения вязкости крови и усиления микроциркуляции в месте воздействия до противовоспалительного эффекта и иммунного ответа на уровне организма в целом [1]. На роль ключевого звена в комплексном ответе организма на лазерное воздействие хорошо подходят белки, так они являются неотъемлемым звеном иммунного ответа, а также изменение функциональной активности одних белков способно влиять на структуру и выработку других [2-3]. С другой стороны, за последние годы накоплены данные, что макромолекулы (белки и пептиды) способны менять свою структуру под действием лазерного излучения или переменного магнитного поля [4-5]. Целью настоящей работы было выявить структурные изменения, происходящие под действием лазерного излучения в белковом растворе.

В качестве модельной среды использовался препарат «гриппферон» (раствор альфа-2b-интерферона) который в кюветах подвергался воздействию лазерного излучения длиной волны 650 нм, мощность 15 мВт, 10 мВт, 5 мВт, время воздействия 1, 2 и 5 минут. В качестве метода обнаружения структурных изменений нами использовалась регистрация рамановских спектров с поверхностным усилением (surface-enhanced raman spectroscopy – SERS). Для каждого образца было зарегистрировано по 10 спектров. Затем спектры нормировались и усреднялись для каждой мощности воздействия и для каждого времени воздействия. Из усредненного спектра вычиталась гладкая кривая люминесценции.

Выявлено, что структурные изменения в спектрах слабо зависели от мощности воздействия и проявлялись для всех времен более 1 минуты. На рис. 1 представлены спектры для контрольного образца и образцов, облученных с мощностью 5, 10 и 15 мВт в течение 2 минут. Наибольшие изменения в форме спектра наблюдаются для 560, 780,

1250, 1280 и 1450  $\text{cm}^{-1}$ . Амплитудные изменения наблюдаются в области 1000-1100  $\text{cm}^{-1}$ . Изменение формы спектра свидетельствует об изменении конформации молекул: изменение диполь-дипольного взаимодействия, разрыва водородных связей, деформации внутримолекулярных связей [6].

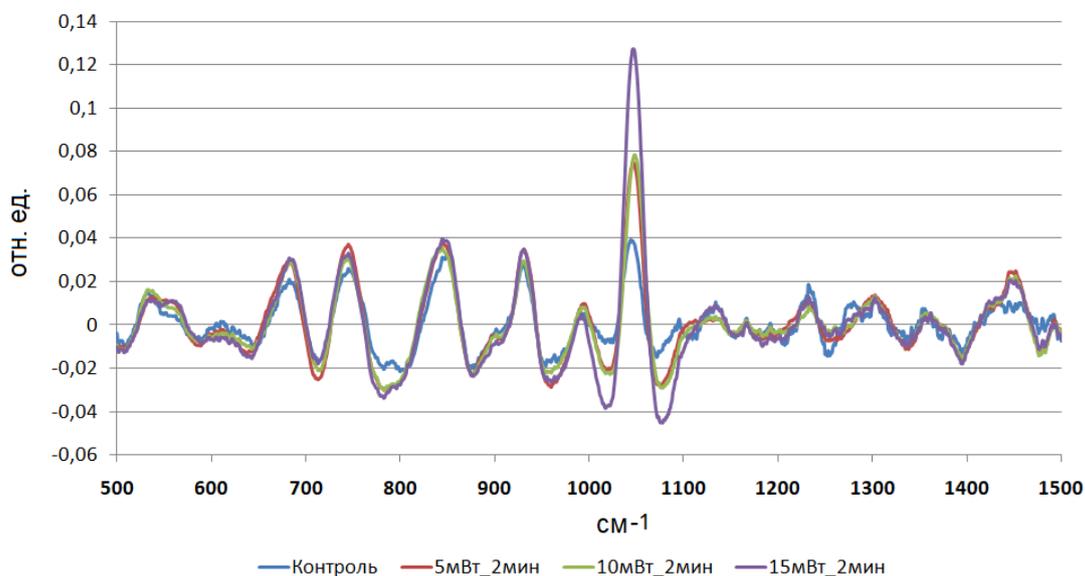


Рис. 1. Спектры для контрольного образца и образцов, облученных с мощностью 5, 10 и 15 мВт в течение 2 минут

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.В. Москвин Основы лазерной терапии. Серия "Эффективная лазерная терапия // Издательство "Триада", Тверь, 2016, 896 с.
2. M. Nishikawa, S. Takemoto, and Y. Takakura, Heat shock protein derivatives for delivery of antigens to antigen presenting cells // International Journal of Pharmaceutics, 2008, v. 354, № 1-2, p. 23-27.
3. S. Walter, J. Buchner, Molecular chaperones – cellular machines for protein folding // Angewandte Chemie International Edition, 2002, v. 41, № 7, p. 1098-1113.
4. G. A. Zalesskaya, I. I. Kalosha, Effect of in vivo irradiation of blood by low-intensity emission from a He-Ne laser on the molecular components of blood Journal of Applied // Spectroscopy, 2009, v. 76, № 5, p. 720-726.
5. V. A. Glushchenkov, T. I. Vasilyeva, I. A. Belyaeva, N. A. Rodenko, A. K. Madyarova, R. J. Jusupov, Changes in the antibacterial activity of benzylpenicillin exposed to a pulsed high-intensity magnetic field // Biophysic, 2019, v. 64, № 2, p. 214-223.
6. G. Zhu, X. Zhu, Q. Fan, X. Wan, Raman spectra of amino acids and their aqueous solutions // Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 78, p. 1187-1195 (2011).

## INVESTIGATION OF LIQUID MEDIA LASER MODIFICATION BY RAMAN SPECTROSCOPY

V.A. Kuznetsov<sup>1</sup>, A.S.Sofin<sup>1</sup>, A.V.Neupokoeva<sup>1</sup>, I.A.Bratchenko<sup>2</sup>

*1 Samara State Medical University,  
(89 Chapaevskaya str., Samara, 443099;)*

*2 Samara National Research University,  
(34 Moskovskoe Shosse str., Samara, 443086)*

*e-mail: Vovakuznecov462@gmail.com*

The work is devoted to the study of the mechanisms of interaction of laser radiation with protein solutions by registering surface-enhanced Raman spectra. It was revealed that the structure of the solution changes under the action of laser radiation, which leads to a change in the Raman spectra of the media under study. The dependence of amplitude changes in the spectrum on the intensity of laser exposure is shown, whereas changes in the shape of the maxima do not depend on the intensity at the studied exposure times.

**Keywords:** laser biostimulation, Raman spectroscopy, blood plasma.

## СТРУКТУРА И СОСТАВ НАНОКОМПОЗИТА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ГИДРОКСИАПАТИТОМ ДЛЯ ОСТЕОПЛАСТИКИ

С.Ю. Кулагина<sup>1</sup>, С.А. Нефедов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: kulagina4@ya.ru

Изготовление нанокompозитных систем с гидроксиапатитом на основе растворимых пористых материалов решают проблему слабой растворимости гидроксиапатита в физиологических жидкостях для применения в остеопластике. Методом вертикального травления получен пористый кремний с пористостью до 25%. Методами рентгеноструктурного анализа и рамановской спектроскопии подтверждено наличие гидроксиапатита и порых порошка нанокompозита и органическая природа некоторых образцов гидроксиапатита.

**Ключевые слова:** гидроксиапатит, пористый кремний, рентгеноструктурный анализ, лазерная абляция, рамановская спектроскопия.

Существует проблема слабой растворимости гидроксиапатита (ГАП) в воде и биологических жидкостях, тогда как пористый кремний является растворимым.

Пористый кремний получали из монокристаллического кремния р-типа с кристаллографической ориентацией пластины {100} методом анодного электрохимического травления в растворе  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  в режимах горизонтального и вертикального течения анодного тока. Пористость после вертикального режима (15-25%) в два раза больше, чем после горизонтального травления (5-12%). Для получения нанокompозита ПК+ГАП пористый кремний насыщали водным раствором гидроксиапатита, степень объемного насыщения составила 6-15%. Порошок нанокompозита ПК+ГАП был получен методом лазерной абляции.

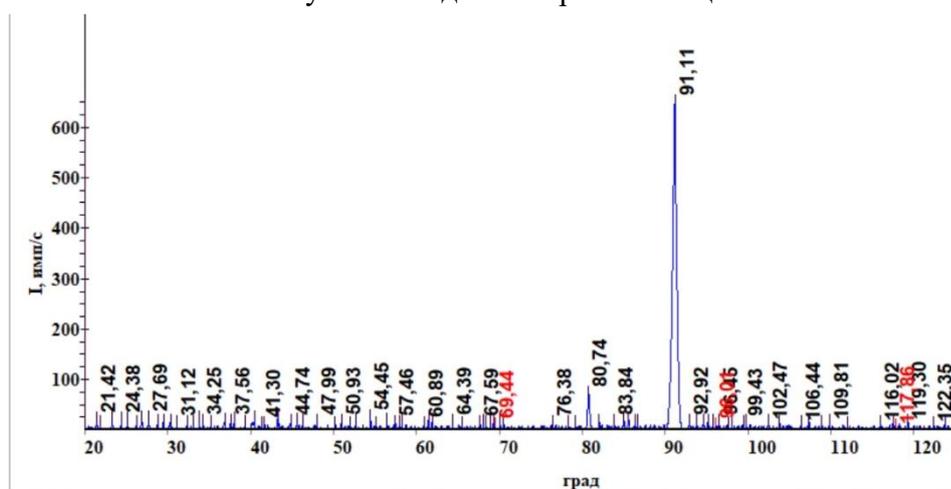


Рис. 1. Рентгенограмма нанокompозита ПК+ГАП

Дифракционные линии для  $\text{FeK}_{\alpha,\beta}$ -излучения на удвоенных брэгговских углах  $31^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $41^\circ$ ,  $50^\circ$  и  $61^\circ$  подтвердили наличие в порах кремния значительного объема гидроксиапатита в его гексагональной модификации (рис.1). Интенсивные линии вблизи  $81^\circ$  и  $91^\circ$  принадлежат семейству (400) монокристалла кремния.

Наличие гидроксиапатита в порах порошка кремния дополнительно подтвердили методом рамановской спектроскопии по четырем линиям поглощения (рис.2).

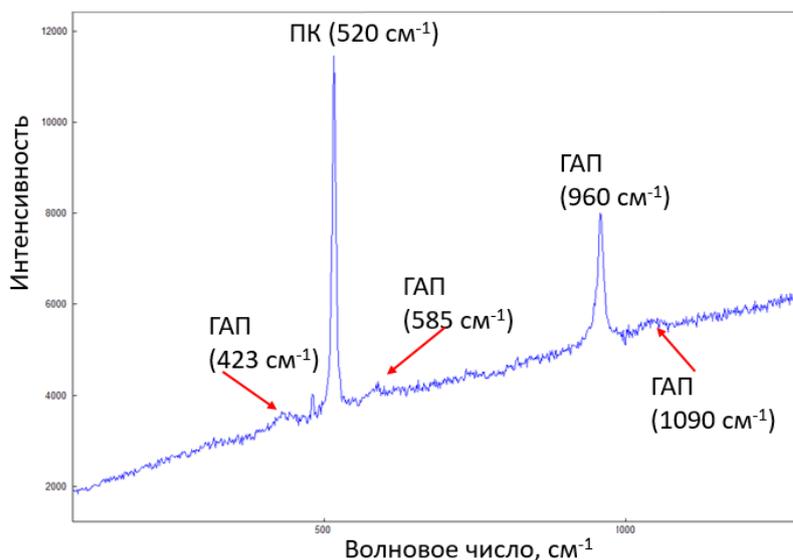


Рис. 2. Рамановская спектроскопия ПК+ГАП

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.М. Сливак, А.О. Белорус, Пористый кремний как наноматериал для дисперсных транспортных систем. // Журнал технической физики, 2018, с. 1394-1403.
2. Б.А. Амантаев, С.С. Кобеков, Анализ и характеристика костнозамещающих материалов. // Вестник Казахского Национального медицинского университета, 2019, с. 123-126.

## STRUCTURE AND COMPOSITION OF POROUS SILICON NANOCOMPOSITE WITH HYDROXYAPATITE FOR OSTEOPLASTY

**S.Y. Kulagina<sup>1</sup>, S.A. Nefedov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: kulagina4@ya.ru

The production of nanocomposite systems with hydroxyapatite based on soluble porous materials solves the problem of low solubility of hydroxyapatite in physiological fluids for use in osteoplasty. Porous silicon with a porosity of up to 25% was obtained by vertical etching. The presence of hydroxyapatite in the pores of the nanocomposite powder and the organic nature of some hydroxyapatite samples were confirmed by X-ray structural analysis and Raman spectroscopy.

**Keywords:** hydroxyapatite, porous silicon, X-ray structural analysis, laser ablation, Raman spectroscopy.

## КОНСТАНТЫ СКОРОСТЕЙ ЭНЕРГООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАЗМЕ Кг/Не

Р.А. Курамшин<sup>1,2</sup>, А.П. Торбин<sup>1,2</sup>, П.А. Михеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: kuramshinr2001@gmail.com

В работе получены значения констант скорости энергообменных процессов между уровнями  $2p_6$ ,  $2p_7$ ,  $2p_8$ ,  $2p_9$  и  $2p_{10}$  в плазме импульсно-периодического разряда в смеси Кг/Не. Определение значений констант производилось с помощью кинетической модели для смеси Кг/Не. Полученные значения констант скорости ранее не определялись и будут использованы для развития нового лазера на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой. **Ключевые слова:** лазер на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой, ЛОНИГ, константа скорости реакции, криптон, импульсно-периодический разряд.

Лазер на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой (ЛОНИГ) — это новый потенциальный лидер в сфере преобразования энергии накачки диодных лазеров в мощное излучение высокого качества. По многим параметрам ЛОНИГ похож на лазер на парах щелочных металлов, однако обладает рядом преимуществ: относительная простота конструкции, химически-инертная активная среда, длины волн лазерной генерации, попадающие в окна прозрачности атмосферы.

Создание модели активной среды ЛОНИГ в настоящее время является одной из ключевых задач. Для создания модели необходимо знать значения констант скорости протекающих энергообменных процессов, однако данные для смеси Кг/Не в литературе практически полностью отсутствуют. В связи с этим, целью данной работы было измерение значений констант скорости энергообменных процессов между  $p$ -состояниями атома Кг\* в столкновениях с Не, которые участвуют в лазерном цикле.

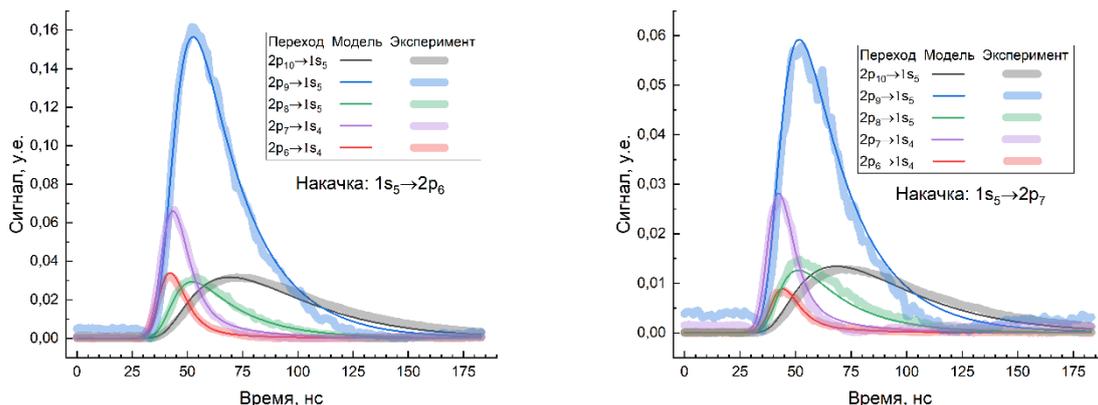


Рис. 1. Сигналы тушения уровней атома криптона при  $P=450$  Торр,  $T=450$  К и накачке а)  $1s_5 \rightarrow 2p_7$ ; б)  $1s_5 \rightarrow 2p_6$

Эксперименты проводились на установке, подробно описанной в работе [1]. В ходе эксперимента производилась регистрация время-разрешенных эмиссионных сигналов с различных уровней  $Kr(2p_i)$  одновременно по четырем каналам методом ЛИФ. Одна итерация эксперимента состояла из 2 шагов с одновременной регистрацией 5 сигналов при постоянных давлении и температуре с отличием в уровне накачки: первый шаг при накачке  $2p_6 \rightarrow 1s_5$  (760.2 нм) и второй –  $2p_7 \rightarrow 1s_5$  (769.5 нм). Полученный набор из 10 эмиссионных сигналов с различными накачками обрабатывался с помощью специально созданной в среде Python кинетической модели путем подбора неизвестных значений констант скорости процессов тушения  $Kr(2p_i) + He \rightarrow Kr(2p_{i+1}) + He$ . Модель симулировала сигналы, автоматически меняя значения набора констант скорости, и сравнивала их с экспериментальными данными до наилучшего согласия (пример: рисунок 1). Температура газа была оценена косвенно на основании экспериментов со смесью  $Ar/He$  и принималась равной 450 К. Полученные значения констант скорости процессов  $Kr(2p_8)+He \rightarrow Kr(2p_9)+He$  и  $Kr(2p_{8,9})+He \rightarrow Kr(2p_{10})+He$  имеют порядки величины  $10^{-10} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$  и  $10^{-12} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$  соответственно, что хорошо согласуется с предыдущими аналогичными измерениями [2].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuramshin R. A. et al. Measurements of Rate Constants of Energy Transfer Processes in Ar/He Plasma of Pulse-Periodic Discharge //Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 2023, v. 50, № 6, p. 207-213.
2. Han J., Heaven M. C. Kinetics of optically pumped Kr metastables //Optics Letters, 2015, v. 40, № 7, p. 1310-1313.

## RATE CONSTANTS ENERGY EXCHANGE PROCESSES IN KR/HE PLASMA

R.A. Kuramshin<sup>1,2</sup>, A.P. Torbin<sup>1,2</sup>, P.A. Mikheyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: kuramshinr2001@gmail.com*

The values of the rate constants of energy exchange processes between the levels  $2p_6$ ,  $2p_7$ ,  $2p_8$ ,  $2p_9$  and  $2p_{10}$  in the plasma of a pulse-periodic discharge in a Kr/He mixture were obtained in the work. The values of the constants were determined using a kinetic model for a Kr/He mixture. The model made it possible to obtain unknown values by automatic selection. The obtained values of the constants have not been previously determined and will be used in the course of developing an OPRGL.

**Keywords:** optically pumped rare gas laser, reaction rate constant, krypton, laser physics, pulse-periodic discharge.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ПЛАЗМЫ ОДНОЦВЕТНОГО ФИЛАМЕНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА

М.В. Левусь<sup>1,2</sup>, Г.Э. Ризаев<sup>1,2</sup>, Д.В. Пушкарев<sup>1,2</sup> Л.В. Селезнев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет  
(119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.)*

<sup>2</sup>*Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук  
(119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.53)  
e-mail: levus.mv21@physics.msu.ru*

В работе представлены экспериментальные данные эффективности генерации терагерцового излучения в зависимости от энергии и длительности лазерного импульса. Произведена оценка спектра такого излучения при разных числовых апертурах лазерного пучка. **Ключевые слова:** филаментация, терагерцовое излучение.

Плазменные каналы, образующиеся при филаментации ультракоротких лазерных импульсов, являются одним из источников широкополосного терагерцового (ТГц) излучения. В недавней работе 2023 [1] была исследована зависимость пространственного распределения терагерцового излучения на различных частотах при разных параметрах лазерного импульса. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование спектральных и энергетических характеристик терагерцового излучения.

В эксперименте использовался фемтосекундный лазер с центральной длиной волны 745 нм, энергией в импульсе до 5 мДж и частотой следования импульсов 10 Гц. Регистрация терагерцового излучения осуществлялась с помощью болометра, а для выделения отдельных спектральных компонент использовался набор узкополосных фильтров. Методика эксперимента основывалась на получении двумерной диаграммы направленности терагерцового излучения [1]. Энергия ТГц излучения рассчитывалась путем суммирования сигналов по элементарным площадкам диаграммы направленности с учетом функции пропускания фильтров и чувствительности канала болометра. Исходная длительность лазерного импульса составляла 90 фс по FWHM и могла быть увеличена с помощью перемещения решеток компрессора лазерной системы. Длительность chirпированного импульса могла составлять до 900 фс.

На рисунке 1 представлена зависимость энергии терагерцового излучения на частотах 0,3 и 3 ТГц от изменения длительности лазерного импульса. Сигналы для каждой частоты нормированы на значение энергии при минимальной длительности. Знак изменения длительности  $\Delta t$  по оси абсцисс соответствует типу chirпирования: положительный и отрицательный. Для каждой частоты эффективность выхода ТГц излучения достигает своего максимума при определенной длительности импульса.

Значение  $\Delta t$ , соответствующее максимуму терагерцовой энергии, уменьшается с увеличением частоты.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 24-19-00461.

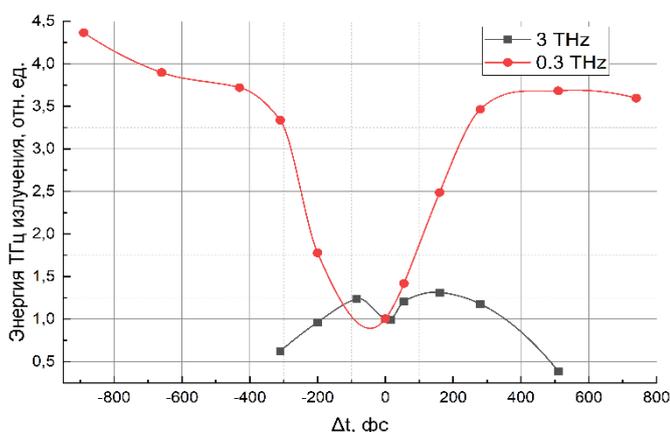


Рис. 1. Зависимость энергии ТГц излучения от изменения длительности импульса на разных частотах

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. A. Nikolaeva, D. E. Shipilo, N. A. Panov, G. E. Rizaev, D. V. Pushkarev, D. V. Mokrousova, L. V. Seleznev, N. Zhang, W. Liu, A. A. Ionin, and O. G. Kosareva Terahertz beam with radial or orthogonal to laser polarization from a single-color femtosecond filament //Optics Express., 2023, v. 31, № 25, p. 41406-41419.

## THE EFFICIENCY OF GENERATING TERAHERTZ RADIATION FROM A SINGLE-COLOR FILAMENT PLASMA AT DIFFERENT LASER PULSE PARAMETERS

M.V. Levus<sup>1,2</sup>, G.E. Rizaev<sup>1,2</sup>, D.V. Pushkarev<sup>1,2</sup>, L.V. Seleznev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University,  
Faculty of Physics

(119991, Moscow, Leninskie Gory 1, building 2.)

<sup>2</sup>P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences  
(119991, Moscow, Leninsky Prospekt, 53)

e-mail: levus.mv21@physics.msu.ru

The work presents experimental results on the efficiency of terahertz radiation generation depending on the energy and duration of the laser pulse. The spectrum of such radiation is estimated at different numerical apertures of the laser beam.

**Keywords:** filamentation, terahertz radiation.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

И.П. Матвеев<sup>1</sup>, С.П. Котова<sup>1,2</sup> Д.В. Прокопова<sup>2</sup>, Н.Н. Лосевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

<sup>2</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)  
e-mail: ivanmatveev1312@gmail.com

Представлены экспериментальные результаты по определению жесткости оптической ловушки, полученные методами отрывных сил и равновесного распределения в различных средах.

**Ключевые слова:** оптический пинцет, методы активной калибровки, метод пассивной калибровки, жесткость оптической ловушки, метод отрывных сил, метод равновесного распределения.

Метод оптического пинцета основан на захвате и управлении различными микро- и нанообъектами с помощью остростфокусированного лазерного пучка. Возможность управлять захваченными частицами позволяет применять оптический пинцет для изучения свойств микрообъектов, взвешенных в жидкости, без учета взаимодействия с дном и стенками кюветы, сортировать и упорядочивать их [1]. В связи с распространением лазерных пинцетов и возникновением проблемы единообразного описания их характеристик важную роль играет определение жесткости оптической ловушки.

Все методы калибровки можно разделить на две группы: пассивные и активные. Пассивная калибровка – калибровка, при которой траектория захваченной частицы измеряется в пределах фиксированной оптической ловушки. Основная физическая причина этого перемещения – броуновское движение частиц. Активная калибровка – калибровка, при которой измеряется воздействие известной силы на оптически захваченную частицу путем приложения потока жидкости.

В докладе обобщены результаты лаборатории когерентной оптики по определению характеристик оптического пинцета, а именно их жесткости, различными методами [2,3] в различных средах. Экспериментально реализованы простые способы определения жесткости ловушек методами отрывных сил и равновесного распределения. В первом случае одна из частиц, взвешенных в среде (дистиллированной воде, растворе тетрабоната натрия, растворе глицерина), захватывается в фокус пучка (Рис 1,1), а кювета с частицами перемещаются в горизонтальном направлении с постоянным ускорением (Рис 1,2). В момент, когда скорость подложки достигает определенной величины (Рис 1,3), захваченная частица покинет оптическую ловушку (Рис 1,4), поскольку в этот момент сила вязкого трения

превысит силу лазерного пинцета. Определив величину этой силы, можно оценить жесткость ловушки по формуле:

$$k = \frac{6\pi\eta rV}{x}$$

где  $\eta$  – динамическая вязкость среды, а  $V$  – скорость движения частицы относительно жидкости,  $r$  – радиус частицы,  $x$  — расстояние между центром частицы и центром ловушки.

Во втором методе прозрачные частицы латекса помещаются в кювету со средой (дистиллированной водой, раствором тетрабората натрия, раствором глицерина), которая располагается на микрометрическом столике микроскопа и может перемещаться в горизонтальной плоскости. После того, как лазерный пучок захватил одну из частиц, начинаем постепенно уменьшать мощность лазера до тех пор, пока частица не начнет колебаться в пределах перетяжки (Рис 2) и мы явно сможем зафиксировать эти колебания с помощью камеры. Определив отклонение частицы от положения сможем найти жесткость [4]:

$$k_x = \frac{k_B T}{\sigma_x^2}$$

где  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $\sigma_x^2$  – отклонение частицы от положения равновесия.

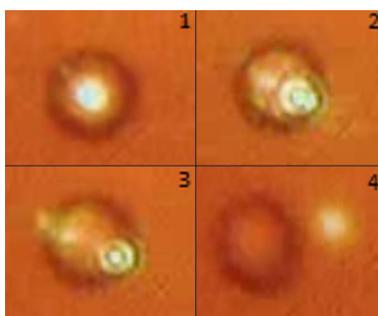


Рис. 1. Зарегистрированный отрыв частицы в методе отрывных сил

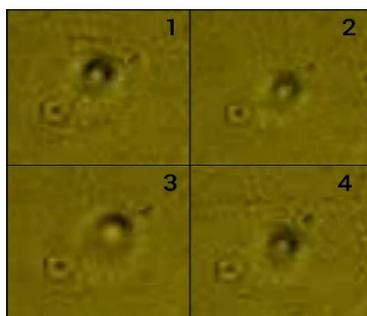


Рис. 2. Колебания частицы около положения равновесия в методе равновесного распределения

Определение жесткости в различных средах методами активной и пассивной Калибровки

среда	Жесткость методом отрывных сил, пН/мкм	Жесткость методом равновесного распределения, пН/мкм	Вязкость, Па*с
Тетрабонат натрия	0.76±0.05	0.78±0.04	0.001
Дистиллированная вода	0.68±0.08	0.72±0.06	0.001
Раствора глицерина	2.12±0.11	1.97±0.13	0.009

По формуле определения жесткости оптической ловушки предполагалось, что жесткость изменится во столько же раз, во сколько изменится вязкость среды и скорость движения частицы. На эксперименте данное предположение было подтверждено: вязкость глицерина больше вязкости в дистиллированной воде в 9 раз, но скорость частицы в ней в 3 раза меньше. Отличие жесткостей оптической ловушки в данных средах также различаются в 3 раза. Стоит учитывать, что при большой вязкости среды оптический захват частицы трудноосуществим.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Ashkin, J.M. Dziedzic, J.E. Bjorholm, C. Steven, Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles // 1986, p. 288-290.
2. P.H. Jones, O.M. Marago, G. Volpe, Optical tweezers: Principles and applications // Cambridge University Press, 2015, p. 274.
3. J. Gieseler, J. R. Gomez-Solano, Optical tweezers — from calibration to applications: a tutorial // 2021, p. 92-106.
4. P.H. Jones, O.M. Marago, G. Volpe, Optical tweezers: Principles and applications // Cambridge University Press, 2015, p. 277.

### DETERMINATION OF THE STIFFNESS OF OPTICAL TWEEZERS IN VARIOUS ENVIRONMENTS

**I.P. Matveev<sup>1</sup>, S.P. Kotova<sup>1,2</sup>, D.V. Prokopova<sup>2</sup>, N.N. Losevsky<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*e-mail: ivanmatveev1312@gmail.com*

Experimental results on determining the stiffness of an optical trap obtained by methods of separation forces and equilibrium distribution in various media are presented.

**Keywords:** optical tweezers, active calibration methods, passive calibration method, optical trap stiffness, separation force method, equilibrium distribution method.

## МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ОДИНОЧНЫХ ЧАСТИЦ NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er

Е.О. Митюшкин<sup>1</sup>, А.В. Леонтьев<sup>1</sup>, Л.А. Нуртдинова<sup>1</sup>, А.Г. Шмелев<sup>1</sup>, Д.К. Жарков<sup>1</sup>,  
Н.И. Нургазизов<sup>1</sup>, А.П. Чукланов, В.Г. Никифоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской  
академии наук»

(420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31)

e-mail: mItyushckIn@yandex.ru

Синтезированы частицы NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er в форме стержней 1.9 мкм × 0.15 мкм, обладающие апконверсионной люминесценцией в видимом спектральном диапазоне при лазерном облучении на длине волны 980 нм. Методами атомно-силовой микроскопии получен образец, представляющий собой подложку с одиночной частицей и небольшими группами частиц. Показана возможность применения одиночных частиц NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er в качестве люминесцентных сенсоров температуры в диапазоне 15-60 °С на основе калибровки ратиометрическим методом спектральных полос на длинах волн 525, 545 нм.

**Ключевые слова:** NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er, апконверсионные частицы, люминесцентная термометрия, сенсоры температуры, конфокальная микроскопия.

Апконверсия фотонов относится к антистоксовому процессу излучения, при котором происходит преобразование двух и более фотонов низкой энергии в один фотон высокой энергии [1]. Апконверсионные материалы представляют интерес как перспективные инструменты для биологии и медицины благодаря способности преобразовывать ближний инфракрасный свет из области оптической прозрачности биологических тканей в излучение видимого диапазона [2]. Одним из таких направлений является использование апконверсионных частиц в качестве зондов для люминесцентной термометрии. Причем, для наименее инвазивного мониторинга температуры предпочтительны одиночные частицы-сенсоры [3]. Однако люминесцентный отклик больших ансамблей и отдельных частиц различается из-за разной плотности мощности возбуждения вследствие специфики применения для последних сканирующего конфокального микроскопа [4]. Высокая интенсивность лазерной накачки ( $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>) изменяет переходные процессы между редкоземельными ионами, вызывая эффекты насыщения и локального нагрева [5], что необходимо учитывать при создании сенсора температуры на основе одиночной апконверсионной частицы.

В работе обсуждаются перспективы использования одиночных апконверсионных микрочастиц NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er в форме стержней 1.9 мкм × 0.15 мкм в роли люминесцентных сенсоров температуры. Изготовление образца для спектроскопии одиночных частиц было выполнено при помощи техники атомно-силового микроскопа. Исследования фазового состава, размера, морфологии, люминесцентных свойств и температурной

чувствительности эмиссии частиц NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er были проведены с помощью рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной и конфокальной люминесцентной микроскопии, соответственно. В работе анализируется влияние поляризации, мощности возбуждающего излучения на интенсивность, форму спектра люминесценции частиц и их фотостабильность, обсуждаются особенности калибровки и применения одиночных сенсоров температуры.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-42-10012, <https://rscf.ru/project/23-42-10012/>), государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН и Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашения 075-02-2024-1503 от 29.02.2024 и 075-15-2024-624 от 07.12.2024).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Bloembergen, Solid state infrared quantum counters. // Phys. Rev. Lett., 1959, v. 2, p. 84-85.
2. C. Gao, P. Zheng, Q. Liu, S. Han, D. Li, S. Luo, H. Temple, C. Xing, J. Wang, Y. Wei, T. Jiang, W. Chen, Recent advances of upconversion nanomaterials in the biological field. // Nanomaterials, 2021, v. 11, № 10, p. 2474.
3. J. Zhou, A.I. Chizhik, S. Chu, D. Jin, Single-particle spectroscopy for functional nanomaterials. // Nature, 2020, v. 579, p. 41-50.
4. A.V. Leontyev, L.A. Nurtdinova, E.O. Mityushkin, A.G. Shmelev, D.K. Zharkov, A.P. Chuklanov, N.I. Nurgazizov, V.G. Nikiforov, Polarized luminescence in single upconversion NaYbF<sub>4</sub>:Er rods. // New J. Chem., 2024, v. 48, p. 14029-14038.
5. H. Dong, L.D. Sun, C.H. Yan, Upconversion emission studies of single particles. // Nano Today, 2020, v. 35, № 100956.

## TEMPERATURE MONITORING USING SINGLE PARTICLES NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er

**E.O. Mityushkin<sup>1</sup>, A.V. Leontiev<sup>1</sup>, L.A. Nurtdinova<sup>1</sup>, A.G. Shmelev<sup>1</sup>, N.I. Nurgazizov<sup>1</sup>,  
A.P. Chuklanov<sup>1</sup>, D.K. Zharkov<sup>1</sup>, V.G. Nikiforov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Federal research center «Kazan scientific center of the Russian academy of sciences»  
(Lobachevsky str., 2/31, Kazan, Russia, 420111)  
e-mail: m1tyushck1n@yandex.ru*

NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er particles in the form of 1.9 μm × 0.15 μm rods with upconversion luminescence in the visible spectral range under laser irradiation at a wavelength of 980 nm were synthesized. A sample representing a substrate with a single particle and small groups of particles was obtained using atomic force microscopy methods. The possibility of using single NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er particles as luminescent temperature sensors in the range of 15-60 °C based on ratiometric method of spectral bands at wavelengths of 525, 545 nm was demonstrated.

**Keywords:** upconversion particles, luminescence thermometry, temperature sensors, confocal microscopy.

## ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ИЗ НОВЫХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ

А.Р. Рымжина<sup>1</sup>, А.П. Муродов<sup>1</sup>, П. Шарма<sup>1</sup>, И.А. Андреев<sup>1</sup>, А.Б. Темирбулатов<sup>1</sup>,  
В.И. Платонов<sup>1</sup>, В.С. Павельев<sup>1,2</sup>, Н. Трипати<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева*

*(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

<sup>2</sup>*Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»,*

*(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)*

*e-mail: nishant.tripathi.11@gmail.com*

Проведено теоретическое исследование оптоэлектронных свойств гетероструктур из трисульфида титана и дисульфида титана с пористым кремнием для использования в оптоэлектронике. Результаты исследования демонстрируют актуальность использования упомянутых гетероструктур для разработки высокоэффективных фотодетекторов нового поколения.

**Ключевые слова:**  $TiS_2$ ,  $TiS_3$ , пористый кремний, гетеропереход, энергетическая диаграмма.

Применение новых двумерных материалов и гетероструктур с ними актуально и открывает новые возможности для изготовления фотодетекторов с желаемыми характеристиками [1]. В представленной работе рассматриваются гетероструктуры из трисульфида титана ( $TiS_3$ ) с пористым кремнием (P-Si) и дисульфида титана ( $TiS_2$ ) с P-Si.

$TiS_2$  и  $TiS_3$  являются узкозонными полупроводниками n-типа [2]. В данной работе они синтезированы методом химического транспорта. Их ширина запрещенной зоны (ШЗЗ) составила 0,49 и 1,18 эВ соответственно для  $TiS_2$  и  $TiS_3$ . P-Si синтезирован методом электрохимического травления кремния p-типа и, согласно источникам, имеет ШЗЗ 0,2 эВ [3].

Материалы, из которых состоят гетероструктуры, будут комбинировать свойства друг друга и тем самым могут способствовать улучшению характеристик фотодетектирования по сравнению с отдельными материалами. Параметры, необходимые для построения гетеропереходов  $TiS_3$ -P-Si и  $TiS_2$ -P-Si, взяты из [2, 3]. С использованием этих данных построены энергетические диаграммы гетеропереходов, представленные на рисунках 1 и 2.

На рисунках приняты следующие обозначения:  $\phi_0$  – контактная разность потенциалов,  $\phi_1$  и  $\phi_2$  – контактные разности потенциалов, приходящиеся на n и p области,  $E_0$  – уровень вакуума,  $\Delta E_C$  – разрыв зоны проводимости,  $\Delta E_V$  – разрыв валентной зоны,  $E_F$  – уровень Ферми,  $dx_1$ ,  $dx_2$  – области пространственного заряда, приходящиеся на каждый из полупроводников,  $d$  – ширина области пространственного заряда

В случае с  $\text{TiS}_3\text{-P-Si}$ ,  $\Delta E_C > 0$ ,  $\Delta E_V > 0$ , что означает, что это гетеропереход I типа – дно зоны проводимости  $\text{TiS}_3$  лежит выше дна зоны проводимости P-Si, а потолок валентной зоны  $\text{TiS}_3$  лежит ниже потолка валентной зоны P-Si.

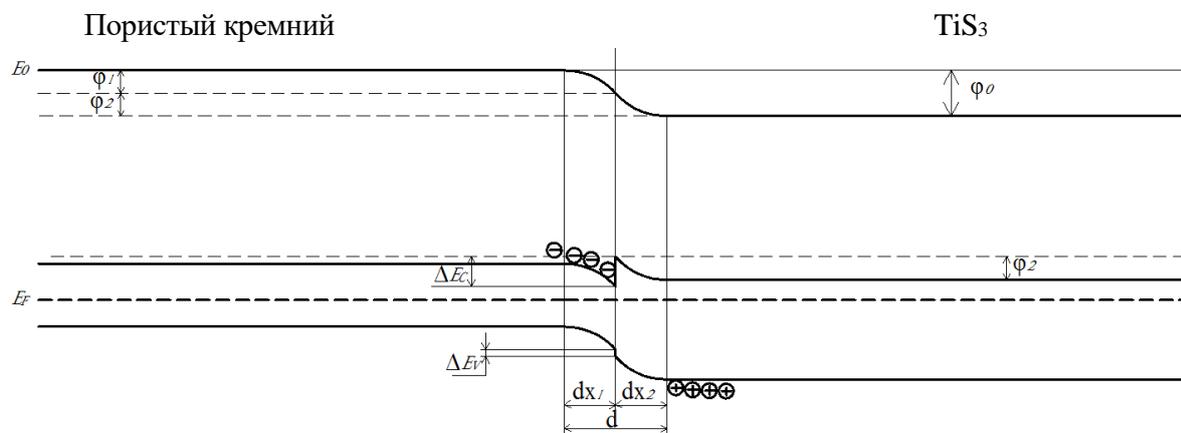


Рис. 1. Энергетическая диаграмма гетероперехода P-Si–TiS<sub>3</sub>

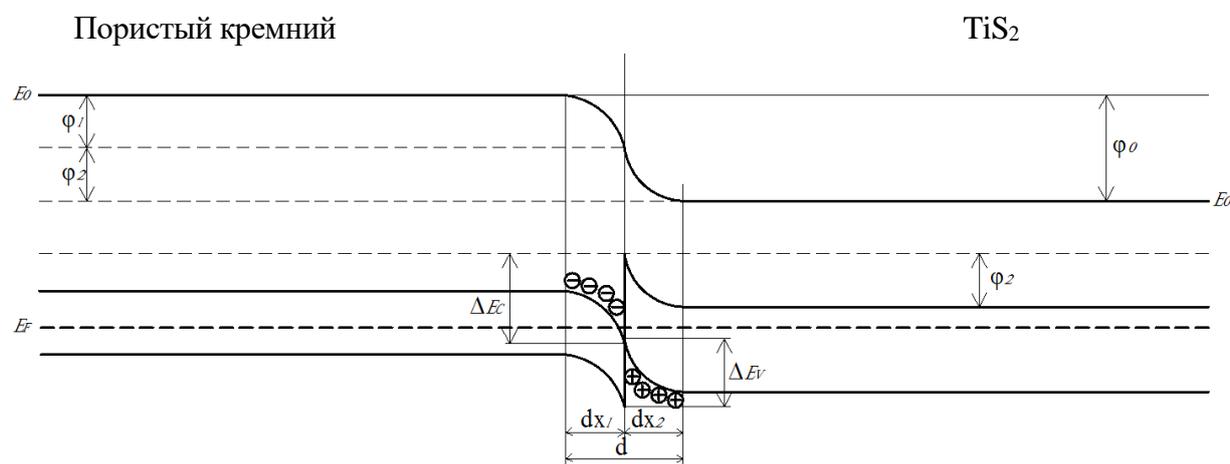


Рис. 2. Энергетическая диаграмма гетероперехода P-Si–TiS<sub>2</sub>

В случае с  $\text{TiS}_2\text{-P-Si}$ ,  $\Delta E_C > 0$ ,  $\Delta E_V < 0$ , что означает, что это гетеропереход II типа – дно зоны проводимости  $\text{TiS}_2$  лежит выше дна зоны проводимости P-Si, а потолок валентной зоны  $\text{TiS}_2$  лежит выше потолка валентной зоны P-Si.

Из рисунков 1 и 2 видно, что в данных гетероструктурах электроны и дырки текут в противоположных направлениях, что приводит к повышению эффективности разделения носителей заряда и увеличивает эффективность фотодетектирования.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Проект FSSS-2024-0022 (регистрационный номер: 1023112900147-4 от 31.01.24).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Nandihalli Performance analysis of photodetectors based on 2D materials and heterostructures. // Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences. 2024, p. 1-87.

2. A. Rymzhina, I. Andreev, A. Temirbulatov, P. Sharma, V. Platonov, V. Pavelyev, P. Mishra, N. Tripathi, Study of some TMCs heterostructures band diagrams for photonics applications. // 2024 X International Conference on Information Technology and Nanotechnology, 2024, p. 1-4.
3. L. Canham, Handbook of porous silicon. // Switzerland: Springer Cham, 2018, p. 1613

## **HETEROSTRUCTURES WITH NEW LOW-DIMENSIONAL MATERIALS FOR OPTOELECTRONIC APPLICATIONS**

**A.R. Rymzhina<sup>1</sup>, A.P. Murodov<sup>1</sup>, P. Sharma<sup>1</sup>, I.A Andreev<sup>1</sup>, A.B. Temirbulatov<sup>1</sup>, V.I. Platonov<sup>1</sup>, V.S. Pavelyev<sup>1,2</sup>, N. Tripathi<sup>1\*</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University*

*(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute, NRC «Kurchatov Institute»,*

*(Molodogvardeyskaya, 151, Samara, Russia, 443001)*

*Corresponding author e-mail: nishant.tripathi.11@gmail.com*

An optoelectronic properties theoretical study of heterostructures made of titanium trisulfide and titanium disulfide with porous silicon for use in optoelectronics has been carried out. The study results demonstrate the relevance of using these heterostructures for developing highly efficient new-generation photodetectors.

**Keywords:** TiS<sub>2</sub>, TiS<sub>3</sub>, porous silicon, heterojunction, band diagram.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТЕЙШЕГО ПАУ ПО МЕХАНИЗМУ НАСА МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО ПУЧКОВОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А.П. Нагаева<sup>1</sup>, В.Н. Аязов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

<sup>2</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)  
e-mail: anastasiangv19@gmail.com

В рамках настоящей работы было проведено экспериментальное исследование процесса роста ПАУ на одно ароматическое кольцо по механизму НАСА на примере реакции образования нафталина. По результатам проведённых экспериментов были получены профили распределения нафталина и других продуктов и радикалов по молекулярному пучку для различных условий протекания химических реакций (для различных внешних условий).

**Ключевые слова:** конкурс-конференция, НАСА, масс-спектрометрия.

Загрязнение окружающей среды - одна из важнейших проблем современности. Сажа и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относятся к основным вредным выбросам [1]. Канцерогенная активность ПАУ возрастает с увеличением количества ароматических колец.

Хотя ПАУ вредны для форм жизни на Земле, для астрохимии и астробиологии они представляют интерес. ПАУ считаются возможным исходным материалом для элементарных строительных блоков биорелевантных молекул [2-3].

Актуальность исследования состоит в том, что детальное понимание процессов образования ПАУ и сажеобразования даст дальнейший толчок в развитии фундаментальных основ науки об эволюции пребиотических молекул в межзвездном пространстве, так и технологии чистого горения углеводородных топлив за счет минимизации эмиссии вредных ПАУ и загрязнителя окружающей среды - сажи.

Таким образом целью настоящей работы является - экспериментальная апробация механизма роста ПАУ – отрыв водорода – присоединение углерода «НАСА» на примере реакции фенил радикала с ацетиленом методом импульсной молекулярно-пучковой масс-спектрометрии (ИМПМС) в высокотемпературном микрореакторе.

В процессе работы смесь ацетилена и нитрозобензола (прекурсора фенил-радикала) подавалась в высокотемпературный микрореактор. После попадания смеси в микрореактор в ней инициировались различные химические реакции. Продукты и интермедиаты реакции на выходе из микрореактора претерпевали расширение в вакуум с формированием молекулярного пучка, который подвергался мягкой однофотонной ионизации между пластинами масс-спектрометра, после чего образовавшиеся катионы детектировались времяпролетным масс-спектрометром. В работе проводились многочисленные замеры масс-спектров для различных значений задержки между синхронизирующими импульсами, благодаря чему осуществлялось запись распределений

химических веществ по продольному профилю молекулярного пучка, пример которого представлен на рисунке 1.

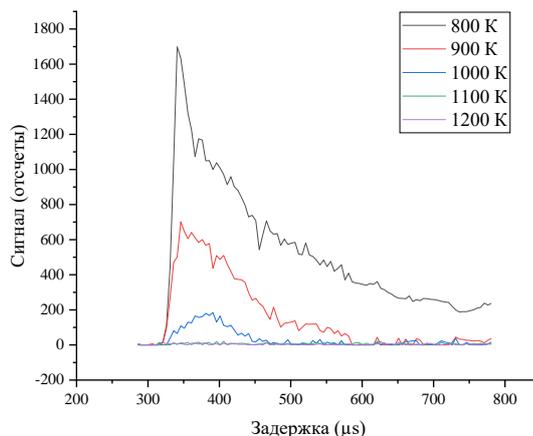


Рис. 1. Продольный профиль распределения нитрозобензола по молекулярному пучку при давлении 600 Торр

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Д. Олейников и др., Исследования механизмов роста третьего ароматического кольца через реакции 2-нафтила  $C_{10}H_7$  с метилацетиленом и алленом  $C_3H_4$  //Труды конференции–конкурса молодых физиков, 2019, т. 25, № S2, с. 139-140.
2. R.Hoover, Need to track organic nano-particles across the universe? NASA’s got an app for that //NASA. Retrieved February, 2014, т. 22, с. 2014.
3. L.J. Allamandola et al., Cosmic Distribution of Chemical Complexity //Ames Research Center, 2009.

## STUDY OF THE REACTION OF THE FORMATION OF THE SIMPLE PAH ACCORDING TO THE NASA MECHANISM USING THE METHOD OF MOLECULAR BEAM MASS SPECTROMETRY

A.P. Nagaeva<sup>1</sup>, V.N. Azyazov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

e-mail: anastasiangv19@gmail.com

In the framework of this work, an experimental study of the process of PAH growth on one aromatic ring by the HACA mechanism was carried out using the example of the reaction of naphthalene formation. Based on the results of the experiments, distribution profiles of naphthalene and other products and radicals along the molecular beam were obtained for various conditions of chemical reactions (for various external conditions).

**Keywords:** conference–contest, HACA, mass spectrometry.

## СТРУКТУРЫ С ПОРИСТЫМ КРЕМНИЕМ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ЭРБИЕМ И ИТТЕРБИЕМ

Д.А. Нестеров<sup>1</sup>, Н.В. Латухина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: nesand2606@mail.ru

В ходе исследования был проанализирован элементный состав образцов пористого кремния допированного эрбием и иттербием, а так же представлены результаты рентгеноструктурного анализа.

**Ключевые слова:** пористый кремний, РЭМ, эрбий, иттербий, рентгеноструктурный анализ.

Системы нанокристаллического, в том числе пористого, кремния с эрбием перспективны как материал для ИК-светодиодов и солнечных элементов [1].

Пористый кремний (ПК) получен методом анодного электрохимического травления в растворе  $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Для допирования образцов редкоземельными элементами (РЗЭ), на поверхность пористого кремния наносился водно-спиртовой раствор азотнокислого эрбия и иттербия. Затем образцы отжигались при 850 °С в атмосфере воздуха в течение 30 минут [2]. Обжиг должен способствовать диффузии ионов эрбия и иттербия в поры, а также образованию их оксидов в пористом кремнии.

Анализ спектров пористого слоя показал, что по мере приближения к дну пористого слоя концентрация ионов эрбия и иттербия возрастает, а затем резко снижается. Результаты исследования элементного состава представлены в таблице 1.

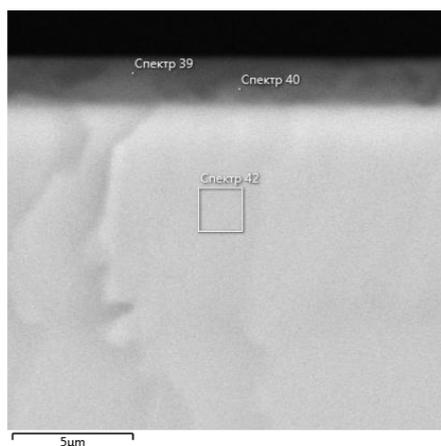


Таблица 1

Спектр 40		Спектр 39		Спектр 42	
Элемент	Вес %	Элемент	Вес %	Элемент	Вес %
Si	77,65	Si	70,28	Si	97,49
C	10,11	C	19,20	C	2,35
O	8,67	O	7,85	O	0,00
Yb	3,39	Yb	2,61	Yb	0,16
Er	0,19	Er	0,06	Er	0,00
Сумма	100,00	Сумма	100,00	Сумма	100,00

Рис. 1 РЭМ – изображение

В заметных количествах обнаружен также кислород. Присутствие кислорода вблизи ионов эрбия способствует его люминесценции [3].

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов подтвердили наличие характерных альфа и бета пиков кремния с основным кристаллографическим направлением 400. Также были идентифицированы пики, соответствующие оксиду иттербия ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ).

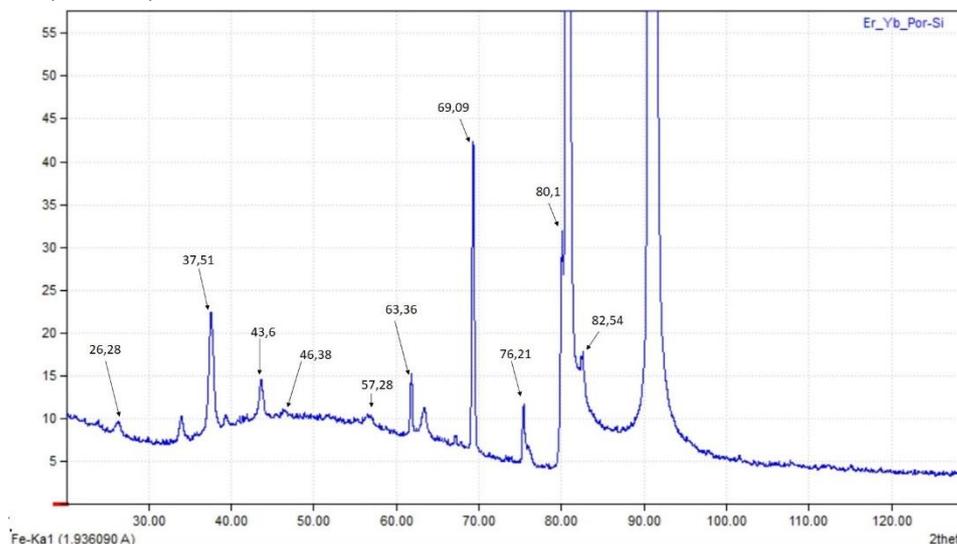


Рис. 2 Рентгеноструктурный анализ пористого кремния легированного ионами эрбия и иттербия

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д.А. Нестеров, Н.В. Латухина, М.В. Степихова, Спектральный анализ фотолюминесценции и химический состав окисленного пористого кремния, допированного эрбием // XXI Всероссийская молодежная Самарская конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященная 300-летию РАН, 2023, с. 241.
2. E.N. Khamzin, D.A. Nesterov, N.V. Latukhina and etc., Model representations of electric current transfer in erbium-doped porous silicon // IX ITNT, 2023, p. 1-4
3. М.В. Карзанова, Люминесценция пористого кремния с примесями редкоземельных элементов: диссертация // 2013, с. 133.

## STRUCTURES WITH POROUS SILICON DOPED WITH ERBIUM AND YTTERBIUM

D.A. Nesterov<sup>1</sup>, N.V. Latukhina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: nesand2606@mail.ru

During the study, the elemental composition of erbium and ytterbium-doped porous silicon samples was analyzed, and the results of the X-ray structural analysis were also presented.

**Keywords:** porous silicon, SEM, erbium, ytterbium, X-ray diffraction analysis.

## ГЕНЕРАТОР ИСТИННО СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В.Е. Один<sup>2</sup>, А.А. Кренц<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: vadyusha.odin@mail.ru*

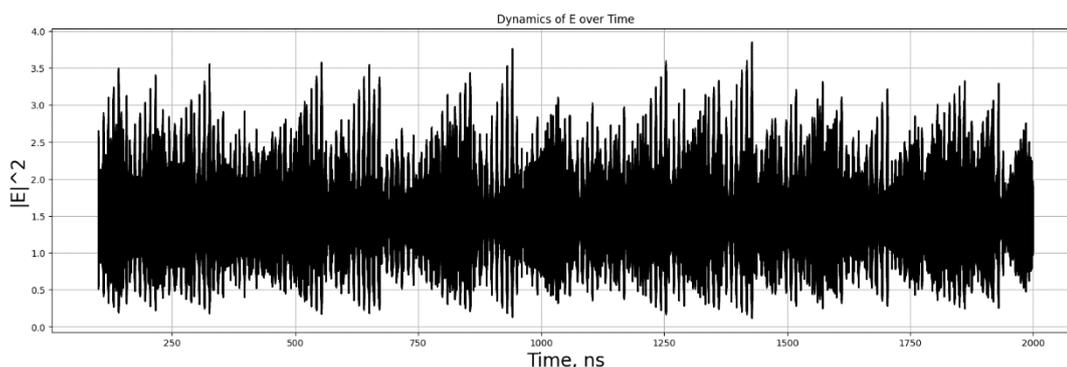
В данной работе численно исследована хаотическая динамика полупроводникового лазера с запаздывающей обратной связью, управляющей током накачки. Временем задержки в предложенной схеме можно управлять с помощью оптической линии задержки. Таким образом, время задержки является параметром, изменяя который можно получить хаотическую динамику с требуемыми характеристиками. В работе приведен пример хаотической динамики из которой можно получить последовательность случайных битов которая удовлетворяет тестам для оценки случайности последовательности чисел, разработанных NIST.

**Ключевые слова:** полупроводниковый лазер, лазерная физика, случайные числа.

Стремительная цифровизация общества и экономики играет первостепенную роль в увеличении спроса на повышение безопасности передаваемой информации, что служит дополнительным стимулом развития криптографии и защищенных коммуникаций [1]. Но распространённые программные генераторы являются псевдослучайными, и получающиеся значения легко предсказать. Однако, можно использовать физические явления, например хаотическую динамику полупроводникового лазера.

В представленной работе для получения хаотической динамики полупроводникового лазера предлагается использовать запаздывающую обратную, управляющую накачкой лазера. В предложенной схеме фотоприемник перехватывает часть излучения, генерируемого лазером. Затем сигнал с фотоприемника усиливается и добавляется к постоянной части тока накачки. Для прохождения контура обратной связи сигналу требуется время, которое мы называем временем задержки. Кроме того, временем задержки можно управлять с помощью, добавленной в схему оптической линии задержки.

Моделирование хаотической динамики лазера с запаздывающей связью проводилось с помощью хорошо известной модели [2]. Получившиеся при решении системы значения, показанные на рисунке 1, необходимо подвергнуть постобработке, учитывая параметры АЦП.



*Рис. 1. График интенсивности*

Обработанные данные складываются в бинарную последовательность, которая удовлетворяет тестам для оценки случайности последовательности чисел, разработанных NIST (The National Institute of Standards and Technology).

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017).

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. M. Virte, E. Mercier, H. Thienpont, K. Panajotov, M. Sciamanna Physical random bit generation from chaotic solitary laser diode // *Optics Express.*, 2014, v. 22, № 14, p. 17271–17280.
2. E. Grigorieva, H. Haken, S. Kaschenko Theory of quasiperiodicity in model of lasers with delayed optoelectronic feedback // *Optics Communications.*, 1999, v.164, № 4, p.279-292.

## **A TRULY RANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON THE CHAOTIC DYNAMICS OF A SEMICONDUCTOR LASER WITH DELAYED**

**V.E. Odin<sup>2</sup>, A.A. Krents<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: vadyusha.odin@mail.ru*

In this paper, the chaotic dynamics of a semiconductor laser with delayed feedback controlling the pump current is numerically investigated. The delay time in the proposed scheme can be controlled using an optical delay line. Thus, the delay time is a parameter by changing which it is possible to obtain chaotic dynamics with the required characteristics. The paper provides an example of chaotic dynamics from which it is possible to obtain a sequence of random bits that satisfies the tests for evaluating the randomness of a sequence of numbers developed by NIST.

**Keywords:** semiconductor laser, laser physics, random numbers.

## КОНСТРУКЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ЛЕВИТАТОРА

И.А. Песков<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443068, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1)  
e-mail: gaster787898@gmail.com

В докладе будет обсуждена конструкция акустического левитатора созданного на базе СФ ФИАН. Будут обговорены технические, конструкционные моменты, а также сложности и риски при создании данного устройства. Так же будут обозначены области применения акустической левитации и продемонстрирована схема самой установки.

**Ключевые слова:** левитатор, акустика, акустическая левитация, ультразвук

Акустический левитатор – это устройство, которое использует ультразвуковые волны для бесконтактного удержания небольших объектов в воздухе. Принцип работы левитатора основан на использовании стоячих звуковых волн, создаваемых направленными акустическими излучателями.



Рис. 1. Рама акустического левитатора с излучателями



Рис. 2. Акустическая левитация 3 капель воды в соседних нодах

В ходе данной работы в СФ ФИАН был собран акустический левитатор типа TinyLev [1] на основе множественных фазированных излучателей. 72 пьезоизлучателя излучателя Murata диаметром 10 мм с рабочей частотой 40 кГц были закреплены на пластиковой раме состоящей из двух конфокальных сферических поверхностей с радиусом кривизны 6 см, соединенных тремя вертикальными стержнями. Рама была распечатана на 3D-принтере на основе модели, предложенной в статье [1]. При работе данного устройства используется вертикальная ориентация рамы, при которой полусферы с излучателями расположены одна над другой (Рис. 1).

Радиочастотный сигнал для генерации ультразвуковых колебаний частотой 40 кГц генерировался методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с помощью процессора Arduino UNO. Полученный ШИМ-сигнал с амплитудой 5 В усиливался с помощью усилителей шаговых моторов L298N. Усиленный сигнал одновременно подавался на все излучатели. Схема питалась от лабораторного источника постоянного тока с максимальным напряжением 30 В.

После подачи питания, в области между излучателями образуются стоячие волны, в которых формируются области пониженного давления называемые нодами, разделенные областями повышенного давления называемые антинодами. Устойчивая левитация частицы твёрдых тел или капель жидкости достигается в нижней части ноды при равенстве силы тяжести, направленной вниз и силы акустического давления, выталкивающей левитируемый объект из антиноды в ноду. Вертикальная ориентация наиболее выгодна для данного аппарата, т.к. ноды и антиноды разделены расстоянием  $\lambda/2 \approx 4.3$  мм, на котором достигается максимальный градиент акустического давления.

В экспериментах наблюдалась устойчивая левитация объектов размером до 3 мм на временах  $>1$  ч и одновременная левитация до 6 объектов в соседних нодах. Левитация трех капель воды, удерживаемых в соседних нодах левитатора собранного в данной работе продемонстрирована на рисунке 2.

В дальнейшем данный левитатор может использоваться для удержания небольших предметов, таких как капли жидкости, частицы порошков, маленькие твердые объекты. Левитация одного или нескольких объектов в объема газа без контакта с твердыми поверхностями дает возможность проводить бесконтейнерные манипуляции для изучения свойства материалов и физико-химических процессов (фазовые переходы, химические реакции) в условиях микрогравитации (невесомости). Данное направление перспективно для создания особо чистых материалов, анализа и исследования биологических объектов (клетки, бактерии), бесконтактной сборки и манипуляций с микродетальями, перемещения и позиционирования высокотемпературных расплавов и исследований процессов с участием энергетических материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.Marzo, A. Barnes, B.W. Drinkwater, Tinylev: a multi-emitter single-axis acoustic levitator // Rev. Sci. Instrum., 2017, v. 88, p. 085105

## ACOUSTIC LEVITATOR DESIGN

I.A. Peskov

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Akademika Pavlova str., 1, Samara, Russia, 443068)*

*e-mail: gaster787898@gmail.com*

The report will consider the design of an acoustic levitator based on SB LPI. Technical, design aspects, as well as difficulties and risks in creating this device will be discussed. The areas of application of acoustic levitation will also be indicated and the scheme of the installation itself will be demonstrated.

**Keywords:** levitator, acoustic levitation, physics, levitron circuit

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ С ПОМОЩЬЮ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

И.А. Пименова<sup>1</sup>, И.А. Матвеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: pimenova.0312@list.ru

Целью работы является изучение возможности идентификации хронической сердечной недостаточности путем анализа рамановских спектров сыворотки крови. Для идентификации рамановских спектров образцов сыворотки крови пациентов с заболеванием применялись методы машинного обучения. Для выделения признаков использовался метод разрешения многомерных кривых. Результаты показывают эффективность рамановской спектроскопии в решении задачи диагностики хронической сердечной недостаточности по сыворотке крови.

**Ключевые слова:** метод разрешения многомерных кривых, рамановская спектроскопия, сыворотка крови, хроническая сердечная недостаточность, машинное обучение.

Рамановская спектроскопия является перспективным методом для повышения прогностической значимости при исследовании комплекса изменений компонентного состава крови [1], в том числе при развитии хронической сердечной недостаточности.

В работе анализируются *in vitro* рамановские спектры сыворотки крови 100 пациентов: 50 из них имели сердечную недостаточность, а 50 – контрольная группа. Образцы сыворотки крови отбирали у пациентов утром натощак и помещали в стерильные пробирки с последующим замораживанием при температуре  $-16^{\circ}\text{C}$ . Непосредственно перед спектральным анализом образцы размораживали при комнатной температуре.

Регистрация рамановских спектров проводилась по технологии поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии (SERS), подробно описанной в [2]. Спектры возбуждались в ближнем инфракрасном диапазоне с помощью лазерного модуля с длиной волны 785 нм. Для выделения признаков использован метод разрешения многомерных кривых (MCR), который уже показал свою эффективность при выделении биохимических компонентов кожи [3]. В результате MCR анализа рамановских спектров сыворотки крови выделено восемь компонентов и относительные концентрации этих компонентов в каждом исследуемом образце.

Далее к профилям полученных концентраций компонентов были применены методы машинного обучения, решалась задача классификации здоровых и больных пациентов. Для проверки стабильности моделей классификации проводилась 5-кратная кросс-валидация. Качество классификации оценивалось на основе сравнения площади под ROC-кривой моделей классификации (см. рисунок 1).

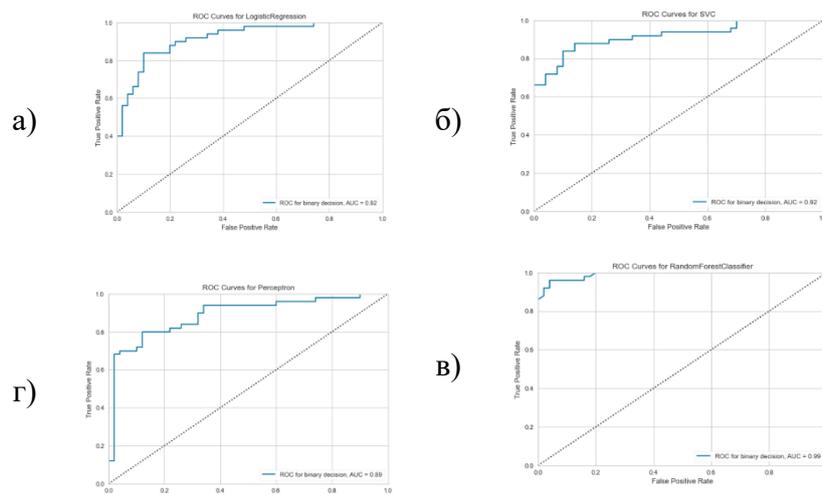


Рис. 1. ROC-кривые для случая классификации пациентов с хронической сердечной недостаточностью и контрольной группы методами машинного обучения: а) логистическая регрессия; б) метод опорных векторов; в) случайный лес; г) перцептрон

Площадь под ROC-кривой для случая логистической регрессии составила 0,92, для метода опорных векторов – 0,92, случайного леса – 0,99, перцептрона – 0,89. Высокие значения площади под ROC-кривой подтверждают эффективность применения машинного обучения для анализа рамановских спектров сыворотки крови и диагностики на основании этого хронической сердечной недостаточности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C.G. Atkins, K. Buckley, M.W. Blades, R.F. Turner, Raman spectroscopy of blood and blood components // *Applied spectroscopy*, 2017, v. 71, № 5, p. 767-793.
2. S.Z. Al-Sammarraye, L.A. Bratchenko, E.N. Typikova, V.P. Zakharov, I.A. Bratchenko, P.A. Lebedev, Silver nanoparticles-based substrate for blood serum analysis under 785 nm laser excitation. // *JBPE*, 2022, v. 8, № 1, p. 010301.
3. I. Matveeva, I. Bratchenko, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, A. Moryatov, S. Kozlov, O. Kaganov, V. Zakharov, Multivariate Curve Resolution Alternating Least Squares Analysis of In Vivo Skin Raman Spectra. // *Sensors*, 2022, v. 22, № 24, p. 9588.

## IDENTIFICATION OF CHRONIC HEART FAILURE USING RAMAN SPECTROSCOPY

I.A. Pimenova<sup>1</sup>, I.A Matveeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: pimenova.0312@list.ru

The aim of the work is to study the possibility of identifying chronic heart failure by analyzing the Raman spectra of blood serum. Machine learning methods were used to identify the Raman spectra of blood serum samples from patients with the disease. The multivariate curve resolution method was used to extract features. The results show the effectiveness of Raman spectroscopy in solving the problem of diagnosing chronic heart failure using blood serum.

**Keywords:** multidimensional curve resolution method, Raman spectroscopy, blood serum, chronic heart failure, machine learning.

## ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН УБИЙЦ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ЛАЗЕРЕ С ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ПО ВРЕМЕНИ И УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОТЕРЯМИ РЕЗОНАТОРА

М.С. Подгорный<sup>2</sup>, А.А. Кренц<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: podgornyums@gmail.com

Данная работа направлена на исследование оптических волн убийц в полупроводниковом лазере с запаздывающей оптоэлектронной обратной связью. Цель заключается в установлении законов возникновения и поведения таких волн, что позволит создать лабораторную установку для их моделирования и дальнейшего исследования. С помощью численного моделирования определены параметры лазерной системы при которых наблюдается спонтанное возникновение оптических волн-убийц.

**Ключевые слова:** полупроводниковый лазер, лазерная физика, волны убийцы.

Изучаемая математическая модель полупроводникового лазера с запаздывающей оптоэлектронной обратной связью задается следующей системой дифференциальных уравнений [1,2]:

$$\begin{cases} \frac{dI}{dt} = G \times I \times (N - 1 + \varepsilon \times I(t - \tau)) \\ \frac{dN}{dt} = A - N \times (1 + I) \end{cases}, (1)$$

Фиксированные значения параметров:  $A = 2.4, G = 300, \varepsilon = 0.01$ .

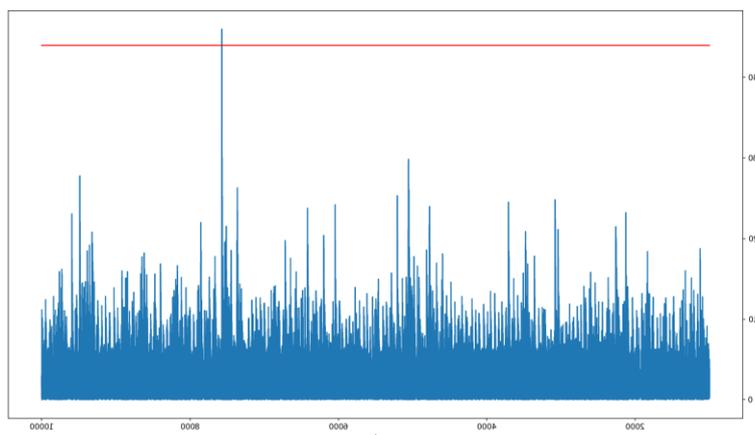


Рис. 1. График интенсивности от времени

На рисунке 1 приведен график зависимости:  $I(t)$ . Интервал по времени был взят следующий:  $t \in [0; 10^4]$ , с шагом  $dt = 0,001$ .

Для численного описания модели использовался метод Рунге-Кутты 4-ого порядка.

Для определения точек Extreme Events максимумы интенсивности данной модели сравниваются с некоторым пороговым значением, которое равняется  $EE = \bar{I} + 6 \times D(I)$ , (2) где  $\bar{I}$  – это среднее значение всех максимумов интенсивности, а  $D(I)$  – дисперсия максимумов[3]. Для данных параметров  $EE = 40.4434$ , на графике отмечено горизонтальной красной линией.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Metayer C. et al. Extreme events in chaotic lasers with modulated parameter // Optics express, 2014, т. 22, № 17, с. 19850-19859.
2. Grigorieva E. V., Kashchenko I. S., Kashchenko S. A. Multistability in a laser model with large delay // Automatic Control and Computer Sciences, 2014, т. 48, с. 623-629.
3. Liu Z., Zhang S., Wise F. W. Rogue waves in a normal-dispersion fiber laser // Optics letters, 2015, т. 40, № 7, с. 1366-1369.

## DYNAMIC FORMATION OF ROGUE OPTICAL WAVES IN A SEMICONDUCTOR LASER WITH OPTOELECTRONIC TIME-DELAYED FEEDBACK AND LOSS-MODULATED RESONATOR

**A.A. Krents<sup>1,2</sup>, M.S. Podgorny<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: podgornyms@gmail.com*

This study investigates optical rogue waves in a semiconductor laser with time-delayed optoelectronic feedback. The aim is to elucidate the mechanisms underlying their emergence and dynamics, paving the way for the development of a laboratory setup for their controlled generation and further investigation. Through numerical simulations, we identify the laser system parameters that give rise to the spontaneous generation of optical rogue waves.

**Keywords:** semiconductor laser, laser physics, rogue waves.

## ОЦЕНКА ХАРАКТЕРНЫХ РАЗМЕРОВ И ПЕРИОДОВ СЛЕДОВАНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В МЕЖЗВЁЗДНОЙ СРЕДЕ С ПАРАМЕТРАМИ ФДО ORION BAR

И.А. Помельников<sup>1,2</sup>, Д.С. Рящиков<sup>1,2</sup>, Н.Е. Молевич<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: vanidzepomelnikov@gmail.com

В данной работе произведены оценки амплитуды, характерной ширины и периодов следования ударноволновых импульсов, распространяющихся в изоэнтропически неустойчивой среде с параметрами фотодиссоциативной области Orion Bar. Сравнение результатов моделирования с параметрами тонких структур, наблюдаемых в Orion Bar, показывает удовлетворительное согласие по ширине, периодам следования и амплитуде возмущений скорости. Также полученное время роста структур не превышает оценок времени жизни Orion Bar.

**Ключевые слова:** изоэнтропическая неустойчивость, межзвездная среда, ударные волны

Фотодиссоциативные области (ФДО) – это области, химические и физические параметры которых определяются дальним ультрафиолетовым излучением с энергиями фотонов не выше 13,6 эВ. Одной из наиболее изученных ФДО является Orion Bar, в атомарной области которой в 2023 году были обнаружены тонкие протяжённые структуры шириной  $(0,2 \dots 4) \times 10^{-4}$  пк, расположенные на расстоянии  $(0,5 \dots 1) \times 10^{-2}$  пк друг от друга [1].

В межзвёздной среде, подверженной сильному излучению могут возникать тепловые неустойчивости, один из типов неустойчивостей – изоэнтропическая, при которой в среде может возникнуть группа ударноволновых импульсов, чьи амплитуды, размеры и периоды следования зависят лишь от свойств обобщённой функции теплопотерь:

$$\zeta(\rho, T) = \Lambda(\rho, T) - \Gamma(\rho, T), \quad (1)$$

чей вид определяется свойствами среды.

Существуют свидетельства, согласно которым в ФДО Orion Bar выполняются условия изоэнтропической неустойчивости [2]. Основываясь на этом предположении, было произведено исследование развития гауссова газодинамического возмущения в среде с параметрами ФДО Orion Bar.

Используя метод, опубликованный в [3], для нахождения профиля ударной волны в среде с изоэнтропической неустойчивостью и вид функции (1) и параметры, характерные для ФДО Orion Bar из [2], были получены профили ударных волн. Сравнение профилей аналитического счёта и проведённого ранее численного

моделирования [4] показали удовлетворительное совпадение друг с другом (Рис. 1). Полученные в данном исследовании величины характерной ширины и периодов следования импульсов удовлетворительно согласуются друг с другом.

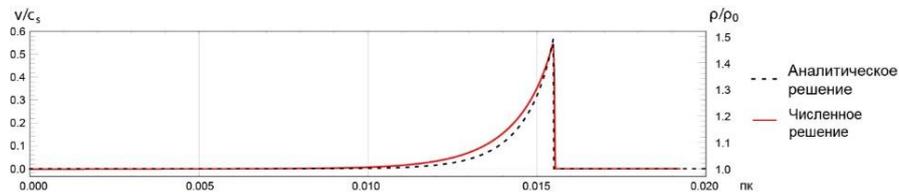


Рис. 1. Сравнение формы и амплитуды фронтового импульса по скорости и плотности при численном моделировании с результатами аналитического решения.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Habart, R. La Gal, C. Alvarez et al. High-angular-resolution NIR view of the Orion Bar revealed by Keck/NIRC2 // *Astronomy and astrophysics*, 2023, v. 673, p. A149.
2. V.K. Krasnobaev, R.R. Tagirova, Isentropic thermal instability in atomic surface layers of photodissociation regions // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2017, v. 469, p. 1403-1413.
3. N.E. Molevich, D.S. Riashchikov, Shock wave structures in an isentropically unstable heat-releasing gas // *Physics of Fluids*, 2021, v. 33, p. 076110.
4. Д.С. Рящиков, И.А. Помельников, Н.Е. Молевич, Возмущения сжатия в атомарной зоне фотодиссоциативных областей межзвездного газа // *Краткие сообщения по физике*, 2022, т. 49, №. 10, с. 3-9.

## ESTIMATION OF CHARACTERISTIC SIZES AND SPREADING PERIODS OF SHOCK WAVES IN THE INTERSTELLAR MEDIUM WITH ORION BAR PDR PARAMETERS

I.A. Pomelnikov<sup>1,2</sup>, D.S. Riashchikov<sup>1,2</sup>, N.E. Molevich<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>2</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: vanidzepomelnikov@gmail.com*

In this paper, we estimate the amplitude, characteristic width and spreading periods of shock wave pulses propagating in an isentropically unstable medium with the parameters of the Orion Bar photodissociation region. A comparison of the numerical modelling results with the parameters of thin structures observed in the Orion Bar shows satisfactory agreement on the width, repetition periods and amplitude of the velocity disturbances. Also, the obtained structure growth time does not exceed the estimated lifetime of Orion Bar.

**Keywords:** isentropic instability, interstellar medium, shockwaves.

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ВОДЫ В АВИАЦИОННОМ ТОПЛИВЕ.

А.И. Пономарев<sup>1,2</sup>, В.А. Любошенко<sup>1,2</sup>, Т.Н. Сапцина<sup>2</sup>,  
О.А. Заякин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: andrey2000\_10@mail.ru

Представлен проект макета оптического датчика для контроля содержания воды в авиационном топливе, основанный на явлении рассеяния света на каплях воды в керосине.

**Ключевые слова:** Оптический датчик воды в керосине, рассеяние, монотонность зависимости сигнала от содержания воды.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки отечественного датчика, основанного на оптическом методе контроля, который не представлен на отечественном рынке и который имеет ряд преимуществ по сравнению с неоптическими аналогами.

Устройство (Рис.1) содержит источник лазерного излучения и фотоприемник, которые располагаются над поверхностью керосина. Такое расположение минимизирует количество отражающих и преломляющих поверхностей, каждая из которых дает дополнительное рассеяние света, а также позволяет избежать контакта деталей с агрессивной средой - керосином. Предпочтительный угол для наблюдения лежит в интервале 7-12 градусов. Конструкция предполагает подстройку угла рассеяния. Блок питания лазера и фотоприемника вынесены за пределы рабочей зоны.

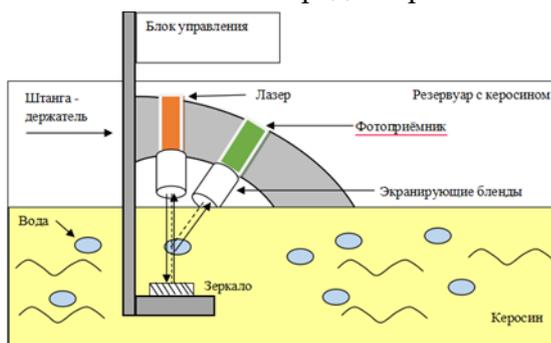


Рис.1. Принципиальная схема макета оптического датчика

Датчик регистрирует мощность рассеянного света от 0,1 до  $0,1 \times 10^{-3}$  мкВт, что дает возможность детектировать содержание свободной воды до нескольких ppm. Наибольшая предполагаемая чувствительность фотодиодного датчика с усилителем - 3,3 мкВт/В. Использование модулированного лазерного луча и селективного вольтметра позволяет повысить чувствительность еще в несколько раз.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И. Пономарев, О.А. Заякин, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, Т.Н. Сапцина, Исследование рассеяния света на эмульсии воды в масле с целью контроля содержания воды в несмешивающейся жидкости // Известия Российской Академии Наук. Серия Физическая, 2022, т. 86. № 12, с. 1690-1693.
2. В.А. Любошенко, О.А. Заякин, С.П. Котова, А.И. Пономарев, Т.Н. Сапцина, Моделирование рассеяния света на каплях воды в авиационном топливе на основе теории Ми // XXI Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция по оптике, лазерной физике и физике плазмы, посвященная 300-летию РАН. 14-18 ноября 2023 год. Сборник тезисов, 2023, с. 233-234.

## DEVELOPMENT OF A LAYOUT OF AN OPTICAL WATER SENSOR AT THE AVIATION FUEL.

**A.I. Ponomarev<sup>1,2</sup>, V.A. Lyuboshenko<sup>1,2</sup>, T.N. Sapsina,  
O.A. Zayakin<sup>2</sup>.**

*<sup>1</sup>Samara National Research University  
Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086*

*<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
221, Novo-Sadovaya Str., Samara, 443011, Russia  
e-mail: andrey2000\_10@mail.ru*

A project for a prototype of an optical sensor for monitoring the water content in aviation fuel is presented. The design is based on light scattering by water droplets in kerosene.

**Key words:** Optical sensor for water in kerosene, scattering, monotony of the signal dependence on the water content.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ КИШЕЧНИКА МЕТОДОМ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКЛ-КОНТРАСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В.Н. Приземин<sup>1</sup>, Н.В. Голубова<sup>1</sup>, Е.С. Серёгина<sup>1</sup>, В.В. Дрёмин<sup>1</sup>, Е.В. Потапова<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Научно-технологический центр биомедицинской фотоники,  
Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
(302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95)  
e-mail: vprizemin@gmail.com*

Лапароскопические хирургические вмешательства являются современным и распространенным методом хирургии. Лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ) является перспективным оптическим методом, позволяющим получить дополнительную диагностическую информацию о гемодинамических параметрах, в том числе при малоинвазивных операциях. В работе описаны результаты исследования ишемии кишечника у лабораторных животных методом лапароскопической ЛСКВ.

**Ключевые слова:** лазерная спекл-контрастная визуализация, лапароскопия, минимально инвазивные операции, ишемия кишечника.

Лапароскопические хирургические вмешательства в настоящее время широко применяются в различных областях медицины благодаря своей малой инвазивности, сокращению периода восстановления пациентов и снижению риска послеоперационных осложнений. Современные лапароскопические технологии позволяют проводить операции с минимальными разрезами, что способствует снижению боли, улучшению эстетического результата и ускорению реабилитации. Однако, несмотря на значительные успехи, нерешенными остаются задачи, связанные с мониторингом состояния тканей и диагностикой различных патологических процессов в реальном времени во время операций.

Цель исследования – оценить динамику изменений кровотока в стенке кишечника через лапароскоп с помощью ЛСКВ при моделировании ишемии с последующей реперфузией.

В исследовании использовались 3 лабораторные крысы возрастом 4 месяца, которым было проведено моделирование нарушения кровообращения в стенке кишечника. Для этого осуществляли наложение лигатуры на аркадные сосуды, что вызывало временное пережатие и блокировку кровотока.

Для оценки микроциркуляции применялся метод лапароскопической ЛСКВ. В качестве источника излучения использовался лазер с длиной волны 785 нм. Мощность излучения на выходе лапароскопа составляла 45 мВт. Интегрированная в систему лапароскопического ЛСКВ камера, UI-3360CP-NIR-GL, регистрировала спекл-картины, возникающие в результате рассеяния лазерного излучения на движущихся частицах крови, таких как эритроциты.

Для проведения эксперимента был модифицирован стандартный осветительный зонд. В него был интегрирован специальный Y-образный разветвитель, который позволял чередовать источники света для освещения исследуемой области как белым светом стандартного лапароскопического осветителя, так и лазерным излучением.

Анализ данных проводился с помощью временного алгоритма обработки спекл-картин и последующего пересчёта спекл-контраста в спекл-перфузию [1]. Измерения выполнялись в динамике: в исходном состоянии, сразу после пережатия и через 2 минуты после снятия лигатуры.

Результаты исследования показали значительное снижение значений спекл-перфузии после пережатия аркадных сосудов по сравнению с базовыми показателями (Рис. 1а,б). Снижение значений спекл-перфузии, полученных после наложения лигатуры, свидетельствовало о снижении микроциркуляции в исследуемой области.

Через 2 минуты после снятия лигатуры было зафиксировано увеличение зарегистрированных значений спекл-перфузии, что подтверждает восстановление микроциркуляции (Рис. 1в).

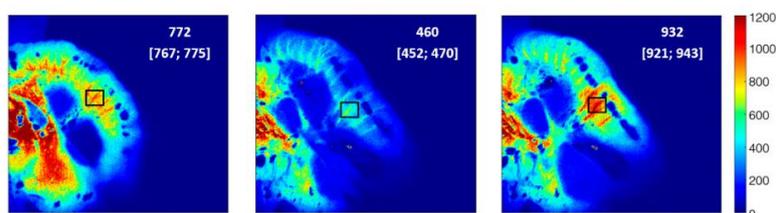


Рис. 1. Изображения спекл-перфузии

Таким образом, внедрение технологии ЛСКВ в лапароскопическую технику позволит осуществлять объективную оценку кровоснабжения исследуемых биотканей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. A. Boas, A. K. Dunn, Laser speckle contrast imaging in biomedical optics // J. Biomed. Opt., 2010, v. 15 № 1, p. 011109.

## INVESTIGATION OF INTESTINAL HEMODYNAMIC DISORDERS BY LAPAROSCOPIC LASER SPECKLE CONTRAST IMAGING

V.N. Prizemin<sup>1</sup>, N.V. Golubova<sup>1</sup>, E.S. Seryogina<sup>1</sup>, V.V. Dremin<sup>1</sup>, E.V. Potapova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev  
(Komsomolskaya str., 95, Orel, Russia, 302026)  
e-mail: vprizemin@gmail.com

Laparoscopic surgical interventions are a modern and widespread method of surgery. Laser speckle contrast imaging (LSCI) is a promising optical method that allows obtaining additional diagnostic information on hemodynamic parameters, including in minimally invasive surgeries. The paper describes the results of the study of intestinal ischemia in laboratory animals by laparoscopic LSCI.

**Keywords:** laser speckle contrast imaging, laparoscopy, minimally invasive surgery, intestinal ischemia.

## СВЯЗЬ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ И КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.А. Реутова<sup>1</sup>, В.В. Ивахник<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: gelenareutova123@mail.ru

В приближении заданного поля по волнам накачки приведены результаты исследования связи пространственной селективности и коэффициента отражения четырехволнового преобразователя излучения.

**Ключевые слова:** четырёхволновое взаимодействие, резонансная нелинейность, коэффициент отражения, пространственная селективность.

В приближении заданного поля по волнам накачки в нелинейной среде, моделируемой двух- и трехуровневой системами энергетических уровней, численными методами с учетом перекачки энергии как из сигнальной волны в объектную, так и из объектной волны в сигнальную проанализирована зависимость ширины полосы волновой расстройки от параметров нелинейной среды, интенсивности волн накачки.

Получены графики зависимости ширины полосы волновой расстройки от интенсивности волны накачки при фиксированном коэффициенте поглощения (усиления) (рис.1.) и от отношения интенсивностей волн накачки при фиксированном коэффициенте поглощения (усиления).

В поглощающей среде ширина полосы волновой расстройки с увеличением интенсивности волны накачки после достижения максимума начинает медленно уменьшаться и стремится к нулю. При увеличении коэффициента поглощения среды максимумы в зависимости от ширины полосы волновой расстройки от интенсивности волны накачки начинают смещаться в область больших значений.

Показано, что максимальное значение ширины полосы волновой расстройки наблюдается не при равных интенсивностях волн накачки.

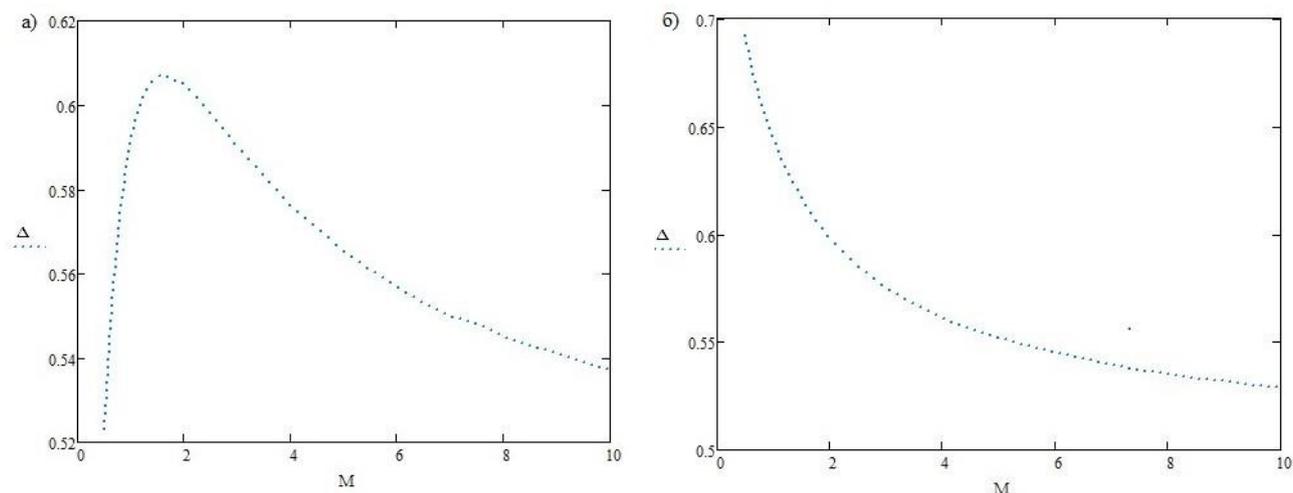


Рис.1 Графики зависимости ширины полосы волновой расстройки ( $\Delta$ ) от интенсивности волны накачки ( $M$ ) в поглощающей среде (а) и усиливающей среде (б)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. Самара: Самарский университет, 2010, 246 с.
2. Ивахник В.В., Котляр М.В. Угловая зависимость дифракционной эффективности динамических голограмм на красителях. // Компьютерная оптика, 2001. т. 21, с.77-80.

## RELATIONSHIP BETWEEN SPATIAL SELECTIVITY AND REFLECTION COEFFICIENT OF A FOUR-WAVE RADIATION CONVERTER

G.A Reutova<sup>1</sup>, V.V. Ivakhnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: gelenareutova123@mail.ru

The results of the study of the relationship between spatial selectivity and reflection coefficient of a four-wave radiation converter in the pump-wave field approximation are presented.

**Keywords:** four-wave interaction, resonant nonlinearity, reflection coefficient, spatial selectivity.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЕЛЕКТИВНОСТЬ КВАЗИВЫРОЖДЕННОГО  
ШЕСТИВОЛНОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В МНОГОМОДОВЫХ  
ВОЛНОВОДАХ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

**А.А. Родионова<sup>1</sup>, В.В. Ивахник<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: veidenlash@yandex.ru*

Исследована пространственная селективность квазивырожденного шестиволнового преобразователя излучения в волноводах с керровской нелинейностью. Получено выражение для функции размытия точки в случае малого коэффициента преобразования. Проанализирована зависимость интеграла перекрытия от номера моды объектной волны для волновода с бесконечно проводящими поверхностями и параболического волновода. Исследована зависимость полуширины модуля функции размытия точки от соотношения между волновыми числами волн накачки.

**Ключевые слова:** квазивырожденный шестиволновой преобразователь излучения, керровская нелинейность, функция размытия точки, качество обращения волнового фронта.

Шестиволновое взаимодействие может быть использовано для решения ряда задач, таких как: получение волн с обращенным волновым фронтом, а также волн с удвоенным обращенным волновым фронтом, которые могут быть использованы для коррекции фазовых искажений [1, 2]. При многоволновом взаимодействии в волноводах возможно получение больших коэффициентов отражения при использовании сравнительно маломощных лазерных источников. Качество обращения волнового фронта может быть проанализировано с помощью метода функции размытия точки (ФРТ) [3].

В работе рассматриваются типичные схемы квазивырожденного шестиволнового взаимодействия волн, которые позволяют получить волну с обращенным волновым фронтом. В результате квазивырожденного шестиволнового взаимодействия в волноводе  $(\omega_1 + \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 - \omega_1 = \omega_2)$  генерируется объектная волна, распространяющаяся навстречу сигнальной волне.

Рассматривается шестиволновое взаимодействие в двумерных волноводах в приближении заданного поля по волнам накачки, без учета изменения показателя преломления вследствие распространения волн накачки, при малом коэффициенте отражения. Модели волнопроводов, рассматриваемых в работе: двумерный волновод с бесконечно проводящими поверхностями и двумерный волновод с параболическим профилем показателя преломления.

Показано, что в случае волновода с параболическим профилем показателя преломления при одномодовых волн накачки интеграл перекрытия, характеризующий эффективность взаимодействия шести мод волновода, монотонно уменьшается с увеличением номера моды объектной волны. Анализ интеграла перекрытия позволяет качественно оценить точность обращения волнового фронта.

Получены графики зависимости полуширины модуля ФРТ квазивырожденного шестиволнового преобразователя излучения от числа учитываемых мод волновода, соотношения между волновыми числами волн накачки. Показано, что при возбуждении волнами накачки нулевой моды волновода переход при анализе ФРТ от 30 к 40 модам объектной волны изменяет полуширину модуля ФРТ шестиволнового преобразователя излучения для параболического волновода при отношении волновых чисел волн накачки  $k_2/k_1 = 0,25; 1; 4$ , соответственно на 2%; 8,7%; 1,1%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Э.С. Воронин, В.В. Ивахник, В.В. Соломатин, В.М. Петникова, В.В. Шувалов, Компенсация фазовых искажений при трехчастотном параметрическом взаимодействии. // Квантовая электроника, 1979, т. 6, № 9, с. 774-778.
2. В.В. Ивахник, Д.Р. Капизов, В.И. Никонов, Шестиволновое взаимодействие с удвоенным обращением волнового фронта в многомодовых волноводах с керровской, тепловой нелинейностями. // Компьютерная оптика, 2023, т. 47, № 5, с. 702-709.
3. В.В. Ивахник, Д.Р. Капизов, В.И. Никонов, Шестиволновое взаимодействие в многомодовых волноводах с керровской нелинейностью с учетом гауссовой структуры волн накачки. // Компьютерная оптика, 2024, т. 48, № 4, с. 483-490.

## THE SPATIAL SELECTIVITY OF A OF A QUASI-DEGENERATE SIX-WAVE RADIATION CONVERTER IN MULTIMODE WAVEGUIDES WITH KERR NONLINEARITIES

A.A. Rodionova<sup>1</sup>, V.V. Ivakhnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*\*e-mail: veidenlash@yandex.ru*

The spatial selectivity of a quasi-generated six-wave radiation transducer in waveguides with Kerr nonlinearity is investigated. An expression for the point blur function in the case of a small conversion coefficient is obtained. The dependence of the overlap integral on the mode number of the object wave for a waveguide with infinitely conducting surfaces and a parabolic waveguide is analyzed. The dependence of the half-width of the PBF modulus of a six-wave radiation converter on the mode number of the object wave taken into account when calculating the PSF was investigated.

**Keywords:** quasi-degenerate six-wave radiation converter, Kerr nonlinearity, point blur function, wavefront reversal quality.

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР КАРБИДА КРЕМНИЯ НА ПОЛИКОРЕ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ.

О.В. Рябенкова<sup>1</sup>, А.В. Щербак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: olesarabenkova63@gmail.com

Рассмотрены оптические свойства структур карбида кремния на поликоре, получаемых методом магнетронного распыления. Измерен спектр нормального отражения естественного света для структуры карбида кремния на поликоре в диапазоне от 200 до 1000 нм. Измерены эллипсометрические параметры структур карбида кремния на поликоре в диапазоне от 250 до 1000 нм. На основании полученных данных были определены спектры показателя преломления, коэффициента поглощения слоя карбида кремния на поликоре.

**Ключевые слова:** карбид кремния, оптические параметры, спектр отражения, эллипсометрия.

Карбид кремния является одним из перспективных материалов электронной техники. Он имеет высокую термо - и радиационную устойчивость, большую механическую прочность, очень малую скорость диффузии и самодиффузии примесей, очень слабую химическую активность, что обусловлено высокой энергией связи в решетке карбида кремния (5эВ) [1-3].

Пленочные структуры карбида кремния перспективны для силовой электроники, оптоэлектроники, микросистемной техники. Применение карбида кремния в указанных областях ставит задачу исследования оптических свойств структур на основе этого материала.

Целью работы является исследование оптических параметров слоев карбида кремния на поликоре, получаемых методом магнетронного распыления.

В данной работе исследовались образцы структур карбид кремния на поликоре, полученные методом магнетронного распыления. Распыление карбида кремния проводилось при следующих условиях: расстояние мишень – подложка 50 мм, мощность распыления, подводимая к мишени, 300 Вт, давление аргона 10-1 Па, температура подложки 800 °С, время напыления 10 мин. При указанных условиях толщина получаемого слоя карбида кремния составляла 0,5 мкм, что соответствует скорости осаждения пленки 50 нм/мин.

Для исследования оптических параметров карбида кремния в области видимого и УФ спектра используется метод нормального отражения естественного света, который основан на связи между вещественной и мнимой частями комплексной амплитуды отраженного луча [5]. По измеренному спектру отражения естественного света были рассчитаны спектры показателя преломления и коэффициента поглощения.

Измерения эллипсометрических параметров исследуемых структур проводились на спектральном эллипсометре VASE (variable angle spectral ellipsometer) при углах

падения от 65° до 70° в диапазоне длин волн от 200 до 1000 нм. Угол наклона плоскости поляризации падающего излучения к плоскости падения при всех измерениях был равен 45° [6]. На основании полученных данных были определены спектры показателя преломления и коэффициента поглощения слоев карбида кремния на поликоре.

Спектры оптических параметров исследуемых структур полученные двумя различными способами хорошо согласуются между собой и могут быть использованы для контроля структур карбид кремния на поликоре.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Лучинин, Ю. Таиров, Отечественный полупроводниковый карбид кремния: шаг к паритету. // Современная электроника, 2009, № 7, с. 12-15.
2. В. Лучинин, Ю. Таиров, Карбид кремния – алмазоподобный материал с управляемыми наноструктурно-зависимыми свойствами. // Наноиндустрия, 2010, № 1, с. 36-40.
3. А. Полищук, Полупроводниковые приборы на основе карбида кремния – настоящее и будущее силовой электроники. // Компоненты и технологии, 2004, № 8, с. 40-45.
4. В.И. Чепурнов, Способ получения карбида кремния. // АС СССР, №1436544, 08.07.1988.
5. Ю.И. Уханов, Оптические свойства полупроводников. // М.: Наука, 1977, 366 с.
6. С.А. Алексеев, В.Т. Прокопенко, Е.К. Скалецкий и др., Введение в прикладную эллипсометрию. // СПб.: ГУ ИТМО, 2005, 200 с.

## OPTICAL PROPERTIES OF SILICON CARBIDE STRUCTURES ON POLYCORE OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING.

**O.V. Ryabenkova<sup>1</sup>, A.V. Shcherbak<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: olesarabenkova63@gmail.com*

Optical properties of silicon carbide structures on polycore obtained by magnetron sputtering are considered. The spectrum of normal reflection of natural light for SiC structures in the range from 200 to 1000 nm has been measured. Ellipsometric parameters of silicon carbide on polycore structures in the range from 250 to 1000 nm were measured. The spectra of refractive index and absorption coefficient of silicon carbide layer on polycore substrate were determined on the basis of the obtained data.

**Keywords:** silicon carbide, optical parameters, reflection spectrum, ellipsometry.

## ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ НАГРЕВА СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО НАБЛЮДАЕМОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ СТРАТИФИКАЦИИ СРЕДЫ

Е.В. Скопцова<sup>1</sup>, Д.С. Рящиков<sup>1,2</sup>, Д.И. Завершинский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

<sup>2</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

*e-mail: lizascop88@gmail.com*

Предложен новый метод нахождения ограничений на показатели степеней функции нагрева солнечной короны, заданной в виде степенной зависимости от температуры и плотности плазмы, используя данные о гравитационной стратификации атмосферы. Применение метода к нескольким областям солнечной атмосферы, в которых из наблюдений космической обсерватории SDO получены высотные профили температуры и концентрации электронов, позволили сузить область возможных степеней в функции нагрева по сравнению с результатами, основанными на предположении об устойчивости МГД волн.

**Ключевые слова:** солнечная корона, гравитационная стратификация, корональный нагрев.

Одной из особенностей солнечной атмосферы является наличие в ней процессов нагрева и охлаждения. Эти процессы зависят от термодинамических параметров солнечной плазмы, таких как плотность и температура. Для существования стационарного состояния и, как следствие, наблюдаемых высотных профилей термодинамических параметров плазмы в ней должно установиться не только гидростатическое равновесие, но и равновесие между мощностями нагрева и охлаждения. В работе [1] было показано, что в данных предположениях стационарные высотные профили температуры и плотности зависят от вида функциональной зависимости нагрева и охлаждения от термодинамических параметров плазмы, и было предложено использовать наблюдательные о высотных профилях температуры и плотности атмосфере Солнца для получения информации о неизвестном нагреве солнечной короны.

В данной работе с помощью известной зависимости мощности охлаждения от температуры и плотности среды, используя предположение об устойчивости стационарного состояния, были определены те функциональные зависимости функции нагрева от температуры и плотности, которые могут привести к наблюдаемым высотным профилям параметров плазмы. Для расчёта мощности охлаждения в настоящей работе используется известная модель охлаждения среды, рассчитанная на основе базы данных CHIANTI [2]. В качестве данных о термодинамических параметрах используются стационарные высотные профили температуры и концентрации электронов, полученные из наблюдений солнечной атмосферы в работе [3]. Предполагая, что нагрев имеет степенную зависимость от температуры и плотности, были найдены такие значения

степеней, при которых реализуются наблюдаемые высотные профили температуры и концентрации электронов и среда устойчива.

Полученные результаты позволили сузить диапазон возможных значений вышеупомянутых степеней по сравнению с ограничениями, предложенными в работе [4], которые основаны лишь на предположении об устойчивости МГД-волн. Кроме того, для рассматриваемых областей были рассчитаны характерные времена установления теплового баланса. Полученные характерные времена позволяют сделать вывод, что для рассматриваемых в работе [3] структур исследуемый метод применим, так как время жизни структур больше, чем характерные времена установления баланса.

Исследование выполнено при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания образовательным и научным учреждениям по проектам № FSSS-2023-0009 и FFMR-2024-0017.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.S. Riashchikov, N.E. Molevich, D.I. Zavershinskii, Impact of thermal misbalance on acoustic-gravity waves in the solar atmosphere. // MNRAS, 2023, v. 522, p. 572-581.
2. G. Del Zanna, K. P. Dere, P. R. Young, E. Landi, CHIANTI—An Atomic Database for Emission Lines. XVI. Version 10, Further Extensions // ApJ, 2021, v. 909, p. 38.
3. D. J. Pascoe, A. Smyrli, T. Van Doorselaere, Coronal Density and Temperature Profiles Calculated by Forward Modeling EUV Emission Observed by SDO/AIA. // ApJ., 2019, v. 884, p.43.
4. D.Y. Kolotkov, T.J. Duckenfield, V.M. Nakariakov, Seismological constraints on the solar coronal heating function // A&A., 2020, v. 644, p. A33.

## DIAGNOSTICS OF SOLAR CORONAL HEATING PARAMETERS BASED ON THE OBSERVED GRAVITATIONAL STRATIFICATION OF THE ATMOSPHERE

**E.V. Scoptsova<sup>1</sup>, D.S. Riashchikov<sup>1,2</sup>, D.I. Zavershinskii<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*e-mail: lizascop88@gmail.com*

We propose a new method for finding constraints on the power indices of the solar coronal heating function given as a power-law dependence on plasma temperature and density using data on the gravitational stratification of the atmosphere. Applying the method to several regions of the solar atmosphere, where the altitude profiles of temperature and electron number density were obtained from SDO spacecraft observations, allowed us to narrow the region of possible power indices in the heating function compared to the results based on the assumption of the stability of MHD waves.

**Keywords:** solar corona, gravitational stratification, coronal heating.

# КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СЫВОРОТКИ КРОВИ ПО MCR-КОМПОНЕНТАМ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Е.В. Сорокина, Ю.А. Христофорова**

*Самарский национальный исследовательский университет  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: hellitio15@gmail.com*

Было проведено экспериментальное измерение спектров КР сыворотки крови пациентов с диагностированной хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и здоровых волонтеров. С помощью MCR анализа проведено разложение спектров КР на 4 значимые спектральные компоненты. Для выявления возможности классификации случаев с ХСН и без нее использовались алгоритмы машинного обучения. Было получено, что наилучший результат дает модель PLS-DA, позволяющая классифицировать спектры комбинационного рассеяния пациентов с ХСН и без нее с точностью 0.95.

**Ключевые слова:** комбинационное рассеяние, классификация, машинное обучение, хроническая сердечная недостаточность, сыворотка крови.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Сердечно-сосудистые заболевания являются ведущими причинами смерти во всем мире. Хроническая сердечная недостаточность диагностируется с помощью дорогого и длительного лабораторного исследования [1]. Альтернативой ему мог бы служить компонентный анализ биологических жидкостей с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния.

Цель данной работы – провести анализ возможности классификации спектров комбинационного рассеяния сыворотки крови пациентов с ХСН и здоровых людей, используя методы машинного обучения.

## 2. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследование сыворотки крови проводилось с использованием экспериментального стенда, состоящего из спектрометрической системы EnSpectr R532 и микроскопа ADF U300 с зеленым лазером длиной волны 532 нм. В ходе эксперимента было зарегистрировано 78 спектров здоровых пациентов и 193 спектра в группе добровольцев с ХСН. С помощью MCR-ALS было выполнено разложение спектров на 4 компоненты [2]. Для классификации полученных данных использовались логистическая регрессия, метод опорных векторов (SVM) и проекции на латентные структуры (PLS-DA), реализованные с помощью библиотеки sklearn на языке программирования Python.

В таблице 1 представлены рассчитанные значения ROC-AUC моделей классификации. По U-критерию Манна-Уитни при уровне надежности 0,05 значимым

оказалось улучшение точности, полученной при использовании логистической регрессии и PLS-DA (p-value = 0,037).

Таблица 1 – ROC-AUC тестирования полученных моделей классификации

	Логистическая регрессия по концентрациям	SVM по концентрациям	PLS-DA по концентрациям	PLS-DA по спектрам
ROC-AUC	0,82	0,86	0,88	0,95

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе MCR-компоненты спектров КР сыворотки крови пациентов с ХСН и доноров могут служить признаками для построения моделей бинарных классификаторов на основе методов машинного обучения. Наиболее значимыми для классификации отличиями можно считать изменения интенсивности пиков в спектре на  $1000\text{ см}^{-1}$ ,  $1150\text{ см}^{-1}$ ,  $1400\text{ см}^{-1}$  и  $1600\text{ см}^{-1}$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.Ю. Ситникова, Хроническая сердечная недостаточность: учебно-методическое пособие // СПб.: Издательство, 2018, 56 с.
2. I. A. Matveeva, Y. A. Khristoforova, L. A. Bratchenko, V. P. Zakharov, Analysis of Raman spectra using the multivariate curve resolution-alternating least squares (MCR-ALS) algorithm. // Biomedical Spectroscopy, Microscopy, and Imaging II., 2022, v. 12144.
3. X.Feng, A. J Moy, H. T. M. Nguyen, Raman active components of skin cancer. // Biomedical Optics Express., 2017, v. 8, № 6.

## CLASSIFICATION OF SERUM RAMAN SPECTRA BY MCR-COMPONENTS USING MACHINE LEARNING METHODS

**E.V. Sorokina, Y.A Khristoforova**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: hellitio15@gmail.com*

An experimental measurement of the Raman spectra of blood serum of patients with diag-nosed chronic heart failure (CHF) and healthy volunteers was carried out. Using MCR anal-ysis, the Raman spectra were decomposed into 4 significant spectral components. Machine learning algorithms were used to identify the possibility of classifying cases with and with-out CHF. It was found that the best result is given by the PLS-DA model, which allows classifying the Raman spectra of patients with and without CHF with an accuracy of 0.95.

**Keywords:** Raman scattering, classification, machine learning, chronic heart failure, blood serum.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ КЛАССИФИКАЦИИ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ КОЖИ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНОГО ЛЕСА

К.Е. Томникова<sup>1</sup>, И.А. Матвеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: ksetomnikova@yandex.ru*

В работе рассматривается вопрос эффективности сокращения размерности данных рамановского рассеяния с помощью метода разрешения многомерных кривых на примере задачи классификации новообразований кожи методом случайного леса. В качестве признаков классификации использовались спектральные отсчеты и данные о восьми, десяти, пятнадцати и тридцати компонентах кожи и их относительных концентрациях в исследуемых образцах, которые были получены путем разложения зарегистрированных рамановских спектров. Разработанные модели классификации показывают площадь под ROC-кривой от 0,58 до 0,83.

**Ключевые слова:** рамановская спектроскопия, случайный лес, разрешение многомерных кривых, спектральный признак

Повысить эффективность диагностики новообразований кожи и сделать ее неинвазивной возможно с помощью рамановской спектроскопии, однако не смотря на развитие технической базы и появление новых моделей рамановских спектрометров, анализ регистрируемых спектров все еще является нетривиальной задачей, поскольку рамановские спектры содержат большое количество информации [1]. Актуальной задачей становится поиск новых методов анализа спектральных данных, в том числе методов сокращения размерности данных без потери информативности [2].

В этой работе для сокращения размерности данных использовался метод разрешения многомерных кривых (MCR). Спектры делились на 8, 10, 15 и 30 компонент. Основным преимуществом MCR является возможность физической интерпретации получаемых в результате анализа компонентов и возможность оценки вклада этих компонентов в рамановский спектр [3]. Эти данные об относительном вкладе далее использованы в качестве признаков классификации.

В качестве метода классификации применялся метод случайного леса. Решались три случая классификации: здоровая кожа ( $n = 609$ ) против кожи с заболеваниями ( $n = 615$ ), доброкачественные новообразования ( $n = 349$ ) против злокачественных ( $n = 266$ ), злокачественная меланома ( $n = 70$ ) против пигментного невуса ( $n = 170$ ). В качестве меры оценки качества классификации использовалась площадь под ROC-кривой (ROC AUC). Значения ROC AUC для всех рассмотренных случаев представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения ROC AUC рассмотренных случаев классификации

Случаи классификации \ Признаки	Спектральные отсчеты	Количество MCR компонентов			
		8	10	15	30
Здоровая кожа vs. кожа с заболеваниями	0,76	0,76	0,79	0,82	0,83
Доброкачественные новообразования vs. злокачественные новообразования	0,55	0,54	0,54	0,56	0,58
Злокачественная меланома vs. пигментный невус	0,55	0,54	0,64	0,64	0,69

Из таблицы 1 очевидно, что сокращение размерности спектральных данных улучшает качество моделей классификации, однако при чрезмерном сокращении теряется полезная информация, что приводит к ухудшению эффективности моделей. Оптимальным количеством компонентов, используемых в качестве признаков, выбрано 30 компонентов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J.T. Gonçalves, V.I. Boev, A. Solovyev, C.J. Silva, M. J. M. Gomes, Luminescence and absorption of hybrid xerogels doped with PbS nanoparticles prepared by gas diffusion method. // Materials science forum, Trans Tech Publications Ltd, 2006, v. 514, p. 1221-1224.
2. А. Е. Пушкарева, Методы математического моделирования в оптике биоткани: учебное пособие. // СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
3. I. Matveeva, I. Bratchenko, Y. Khristoforova, L. Bratchenko, A. Moryatov, S. Kozlov, O. Kaganov, V. Zakharov, Multivariate Curve Resolution Alternating Least Squares Analysis of In Vivo Skin Raman Spectra. // Sensors, 2022, v. 22, № 24, p. 9588.

## STUDY OF SPECTRAL FEATURES IN THE PROBLEM OF SKIN RAMAN SPECTRA CLASSIFICATION BY RANDOM FOREST METHOD

**K.E. Tomnikova<sup>1</sup>, I.A. Matveeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: vorontsoven@fian.smr.ru*

The paper examines the efficiency of reducing the dimensionality of Raman scattering data using the multivariate curve resolution method using the example of the problem of classifying skin neoplasms using the random forest method. Spectral samples and eight, ten, fifteen and thirty skin components and their relative concentrations in the samples under study, which were obtained by decomposing the recorded Raman spectra, were used as classification features. The developed classification models show an area under the ROC curve from 0.58 to 0.83.

**Keywords:** Raman spectroscopy, random forest, multivariate curve resolution, spectral feature

## СИМУЛЯЦИЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ УСТАНОВКИ «КРИОГЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ» В ЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ.

Д.С. Труфанов<sup>1,2</sup>, С.О. Тучин<sup>1,2</sup>, Е.А. Батракова<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: ciritopwp@mail.ru

В работе проведена симуляция времяпролетного масс-спектрометра установки КПП в линейном режиме работы. Были определены оптимальные параметры потенциалов на экстракторе, отклоняющей пластине и линзе Эйнзеля. Результаты симуляций предсказывают массовое разрешение  $M/\Delta M \sim 110$  и эффективность захвата ионов  $\sim 85\%$ . Оптимизированные параметры были подтверждены при экспериментальных испытаниях времяпролетного масс-спектрометра.

**Ключевые слова:** времяпролетный масс-спектрометр, Simion, массовое разрешение, оптимизация, компьютерная симуляция.

При проведении предварительных экспериментов на установке для изучения криогенных поверхностных процессов (КПП) с использованием времяпролетного масс-спектрометра [1-3], было выявлено явное различие между компьютерной симуляцией и экспериментальными результатами. Было принято решение провести дополнительные расчеты с использованием компьютерного моделирования. С данной целью была переработана математическая модель в программном пакете Simion [4]. В модели было увеличено расстояние между первым и вторым электродом в источнике ионов и добавлены крепежные элементы на втором электроде. Проведенные расчеты показали снижение массового разрешения до  $M/\Delta M \approx 1000$ , а число попавших на детектор ионов снизилось до 10% от всех запущенных траекторий.

В результате математического моделирования была выявлена неоднородность электрического поля в области генерации ионов, возникающая из-за особенностей геометрии источника. Данное явление приводит к «размыванию» ионного пакета на ранних стадиях пролета. Неоднородность поля внутри области генерации влияет на дальнейшую фокусировку ионного пакета. Частичная компенсация данного эффекта позволила оптимизировать массовое разрешение до  $M/\Delta M \approx 1200$  и повысить число захваченных ионов до 60%, что является приемлемым результатом для задач установки КПП по изучению сложных органических молекул.

В целях поддержки экспериментальных работ были проведены симуляции для в линейного режима работы масс-спектрометра [1]. Из-за того, что ось источника ионов смещена относительно оси детектора ионов, необходимо было учесть влияние

отклоняющей пластины на массовое разрешение и эффективность сбора ионов. Компьютерное моделирование в Simion показало что необходимый для попадания ионов на детектор потенциал на отклоняющей пластине позволяет достичь массового разрешения  $M/\Delta M \approx 110$  и эффективности сбора около 85% от всех ионов. Полученное значение массового разрешения находится в хорошем согласии с экспериментальными результатами [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W.C. Wiley, I.H. McLaren, TimeofFlight Mass Spectrometer with Improved Resolution // J. Review of Scientific Instruments, 1955, v. 26, p. 1150-1157.
2. В. А. Мамурин, В. И. Каратаев, Д. В. Шмикк, В. А. Загулин, The mass-reflectron, a new nonmagnetic time-of-flight mass spectrometer with high resolution // J. Experimental and Theoretical Physics. 1973, v. 64, p. 82–89.
3. D. S. Trufanov. I. O. Antonov, optimization of time-of-flight mass-reflectron for studying Cryogenic surface reactions // J. XXI All-Russian Youth Conference Samara Competition-Conference on Optics, Laser Physics and Plasma Physics. 2023, v. 2, p. 263-264.
4. Scientific Instrument Services, Inc., SIMION™ Version 8.1. The Industry Standard in 3D Ion and Electron Optics Simulations // J. SIMION. 2016, v. 1, p. 1-6.

## NUMERICAL SIMULATION OF A TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER FOR THE "CRYOGENIC SURFACE PROCESSES" SETUP IN LINEAR OPERATING MODE.

**D.S. Trufanov<sup>1,2</sup>, S.O. Tuchin<sup>1,2</sup>, E.A. Batrakova<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*e-mail: Ciritopwp@mail.ru*

His work presents a simulation of the time-of-flight mass spectrometer for the CPP setup in linear operating mode. The optimal voltage parameters for the extractor, deflector plate, and Einzel lens were determined. The simulation results predict a mass resolution of  $M/\Delta M \sim 110$  and an ion capture efficiency of ~85%. The optimized parameters were confirmed during experimental tests of the time-of-flight mass spectrometer.

**Keywords:** time-of-flight mass-spectrometr, Simion, mass resolution, optimization, computer simulation.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА УСТАНОВКИ КПП: МАСС-СПЕКТР КАЛИБРОВОЧНОЙ СМЕСИ

С.О. Тучин<sup>1,2</sup>, Е.А. Батракова<sup>1,2</sup>, Д.С. Труфанов<sup>1,2</sup>, И.О. Антонов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)*

<sup>2</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: serezhnka.tuchin@mail.ru*

В данной работе была проведена оптимизация времяпролетного масс-спектрометра установки «Криогенные поверхностные процессы» (КПП). За счет уменьшения расстояния между электродами в источнике ионов для предотвращения проникновения внешних полей была на два порядка увеличена эффективность детектирования ионов и достигнуто массовое разрешение  $M/\Delta M \sim 120$ . В ходе оптимизации был получен масс-спектр калибровочной смеси ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{CF}_3\text{I}$ ) для линейного режима.

**Ключевые слова:** масс-спектрометрия, криогенные поверхностные процессы, массовое разрешение.

В данной работе была проведена оптимизация времяпролетного масс-спектрометра установки «Криогенные поверхностные процессы» (КПП). Повышение массового разрешения и чувствительности для линейного режима работы времяпролетного масс-спектрометра [1] было достигнуто благодаря уменьшению расстояния между электродами в источнике ионов, вследствие чего было предотвращено проникновение внешних полей от стенок вакуумной камеры в область ионизации. В результате оптимизации была повышена эффективность сбора ионов, что позволило достичь частоты счета событий более одного на импульс ионизирующего ВУФ излучения при давлении детектируемых газов порядка  $10^{-8}$  мм рт. ст. На рисунке 1 показан масс-спектр калибровочной смеси, состоящей из  $\text{NH}_3$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{CF}_3\text{I}$  ( $M/z = 17, 42, 54$  и  $196$  соответственно). В сноске, расположенной в правом верхнем углу рисунка 1, показана зависимость массы иона от времени прилёта  $M/z = a \cdot (t - t_0)^2$ , где  $t_0$  – задержка в микросекундах между лазерным импульсом и попаданием иона на детектор.

На коротких временах наблюдался также пик  $\text{H}^+$  ( $M/z = 1$ ) связанный с электронно-ударной ионизацией фонового  $\text{H}_2$  электронами выбиваемыми ВУФ-излучением из поверхностей электродов масс-спектрометра. Время прилёта на детектор составило  $t_{\text{NH}_3} = 13.67$  мкс,  $t_{\text{C}_3\text{H}_6} = 21.41$  мкс,  $t_{\text{C}_4\text{H}_6} = 24.25$  мкс и  $t_{\text{CF}_3\text{I}} = 46.07$  мкс, а массовое разрешение  $M/\Delta M = t/(2\Delta t) \sim 120$ .

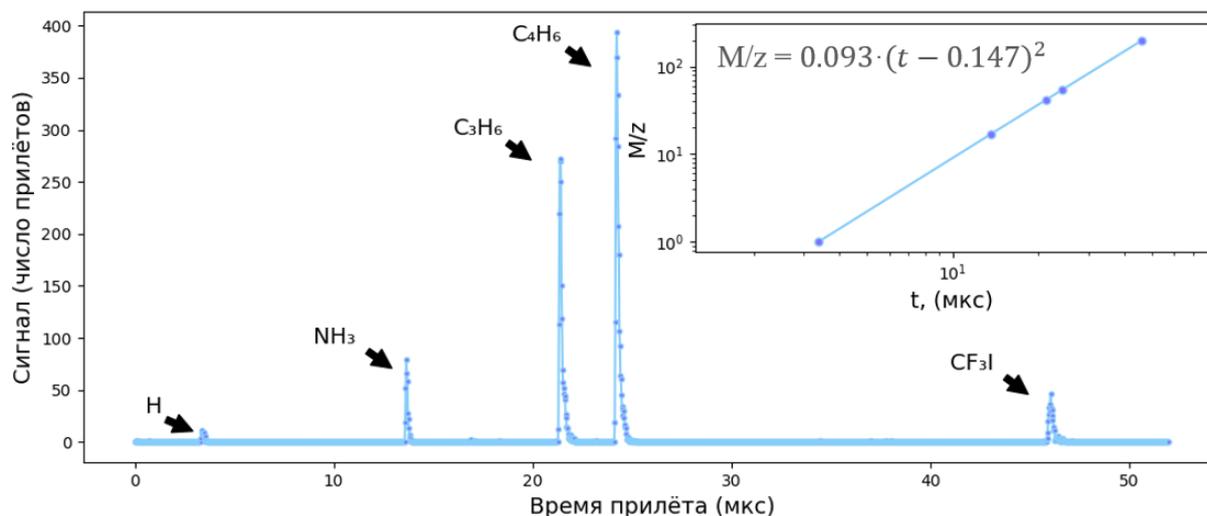


Рис. 1. Времяпролётный масс-спектр калибровочной смеси

В будущей работе планируется провести оптимизацию и получить времяпролётный масс-спектр для калибровочной смеси в режиме масс-рефлектрона [2] для достижения массового разрешения  $M/\Delta M$  порядка 2000.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W.C. Wiley, I.H. McLaren, Time-of-Flight Mass Spectrometer with Improved Resolution. // Review of Scientific Instruments, 1955, v. 26, p. 1150–1157.
2. В.А. Мамырин, В.И. Каратаев, Д.В. Шмикк, В.А. Загулин, The mass-reflectron, a new nonmagnetic time-of-flight mass spectrometer with high resolution. // Journal of Experimental and Theoretical Physics, 1973, v. 64, p. 82–89.

### EXPERIMENTAL OPTIMIZATION OF TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER OF THE CSP INSTALLATION: MASS SPECTRUM OF THE CALIBRATION MIXTURE

S.O. Tuchin<sup>1,2</sup>, E.A. Batrakova<sup>1,2</sup>, D.S. Trufanov<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)

<sup>2</sup>Samara National Research University  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: serezhenka.tuchin@mail.ru

This work involved the optimization of the time-of-flight mass spectrometer for the "Cryogenic Surface Processes" (CSP) installation. By reducing the distance between the electrodes in the ion source to prevent the penetration of external fields, the ion detection efficiency was increased by two orders of magnitude, achieving a mass resolution of  $M/\Delta M \sim 120$ . During the optimization, the mass spectrum of the calibration mixture (NH<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>, CF<sub>3</sub>I) for the linear mode was obtained.

**Keywords:** Mass spectrometry, cryogenic surface processes, mass resolution.

## ЗАХВАТ И УДЕРЖАНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ БИОМАРКЕРАМИ В ОПТИЧЕСКОЙ И ОПТОТЕРМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКАХ.

**В. К. Урюпина<sup>1,2</sup>, Н. А. Горбунов<sup>3</sup>, С. П. Котова<sup>1,2</sup>, Н. Н. Лосевский<sup>2</sup>,  
А. М. Майорова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Российская Федерация, Самара, Московское шоссе, д. 34*

<sup>2</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 443011, Российская Федерация, Самара, ул. Ново-Садовая, д. 221*

<sup>3</sup>*Медицинский университет «Реавиз», 443001, Российская Федерация, Самара, ул. Чапаевская, д.227*

*e-mail: lerauryupina07@gmail.com*

В работе исследуется эффективность оптического пинцета для решения медико-биологических задач. Показано, что он чувствителен к наличию биологических клеток Kidney и Thyroid на поверхности латексных микросфер и к изменениям концентрации среды - тетрабоната натрия - раствором додецилсульфата натрия. Сила и скорость удержания или перемещения объектов изменяются почти вдвое. Подтверждена возможность использования оптических пинцетов для сортировки и диагностики биологических объектов.

**Ключевые слова:** манипуляция, оптическая ловушка, оптотермическая ловушка, микробиология, сортировка микрообъектов.

Оптический пинцет в последние годы открывает все новые аспекты для изучения медико-биологических процессов [1]. При этом возможности и характеристики самого устройства постоянно исследуются. В работе с биологическими объектами необходимо иметь представление о чувствительности - это является ключевым вопросом, если в исследовании необходимо интегрировать лазерную ловушку.

В первую очередь в работе исследовалась чувствительность оптического и оптотермического [2] пинцетов к нанесенным на поверхность латексных микросфер биологических клеток для дальнейшего использования технологии в задачах диагностики и сортировки. Результаты по оптической манипуляции микрообъектами в дистиллированной воде представлены в таблице 1. Как видно из результатов, скорости и соответственно отрывные силы различаются в зависимости от нанесенных биомаркеров. Это подтверждает, что оптический пинцет можно использовать для сортировки подобного рода частиц.

Эксперименты по оптотермическому захвату и фиксации латексов с иммобилизованными биологическими клетками в различных конфигурациях подтверждают полученные зависимости. Так, клетки Thyroid проявляют более высокие адгезионные свойства, что усложняет процесс их захвата и фиксации. Однако, клетки

Kidney легче образуют сложные конфигурации при использовании малых мощностей лазерного излучения.

*Таблица 1 Изменение силы со стороны оптической ловушки при наличии иммобилизованных белков на поверхности микросфер*

Исследуемые микрообъекты	Максимальная скорость в момент отрыва, мкм/с	Отрывная сила, фН	Абс. погрешность	Отн. погрешность, %
Микросферы латекса 2мкм	39,4	742,2	147,8	27
Микросферы латекса 2мкм с клетками Thyroid	20,3	382,0	101,4	27
Микросферы латекса 2мкм с клетками Kidney	44,9	845,8	192,3	22

В ходе работы также определена чувствительность оптического пинцета к изменению среды исследуемых микрообъектов. Результаты исследования поведения микрочастиц оптическим методом в растворах тетрабората натрия с добавлением додецилсульфата натрия представлены в таблице 2.

*Таблица 2 Чувствительность оптического пинцета к изменению концентрации раствора.*

Исследуемые растворы	Максимальная скорость в момент отрыва, мкм/с	Абс. погрешность	Отн. погрешность, %
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	194,5	31,5	16,3
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> + 5 мМ СДС	164,7	27,5	12,3
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> + 10 мМ СДС	151,9	27,1	17,4
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> + 20 мМ СДС	130,4	26,0	20,0
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> + 30 мМ СДС	106,9	14,8	13,8

В результате серии экспериментов было установлено, что чувствительность оптического пинцета зависит от нескольких факторов, включая тип биологического объекта, его адгезионные свойства, мощность лазерного излучения и наличие других химических веществ в окружающей среде. В зависимости от нанесенных биологических клеток изменение скорости достигает 45%, а в зависимости от концентрации раствора - 55%. Эти результаты показывают, что оптический пинцет может быть эффективным инструментом для сортировки и диагностических исследований с биологическими объектами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sh. Liang, Y. Cao, Y. Dai, A Versatile Optoelectronic Tweezer System for Micro-Objects Manipulation: Transportation, Patterning, Sorting, Rotating and Storage // *Micromachines*, 2021, v. 12(3), p. 271.
2. S.P. Kotova, N.N. Losevsky, A.M. Mayorova, et al., Structured Optothermal Traps. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2022, v. 86 (12), p. 1434-1437.

## CAPTURE AND HOLDING OF MICROSCOPIC OBJECTS WITH VARIOUS BIOMARKERS IN OPTICAL AND OPTOTHERMAL TRAPS.

V. K. Uryupina<sup>1,2</sup>, N. A. Gorbunov<sup>3</sup>, S. P. Kotova<sup>1,2</sup>, N. N. Losevsky<sup>2</sup>, A. M. Mayorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

<sup>2</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

<sup>3</sup>*Reaviz Medical University  
(Chapaevskaya str., 227, Samara, Russia, 443001)*

*e-mail: lerauryupina07@gmail.com*

The paper investigates the effectiveness of optical tweezers for solving biomedical problems. It has been shown that it is sensitive to the presence of biological Kidney and Thyroid cells on the surface of latex microspheres and to changes in the concentration of the medium - sodium tetraborate - with a solution of sodium dodecyl sulfate. The strength and speed of holding or moving objects change almost twice. The possibility of using optical tweezers for sorting and diagnostics of biological objects has been confirmed.

**Keywords:** manipulation, optical trap, optothermal trap, microbiology, sorting of micro-objects.

## ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА СИГНАЛЬНУЮ ИЛИ ОБЪЕКТНУЮ ВОЛНЫ

**В.Д. Фомина, А.А. Акимов**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика*

*С. П. Королева,*

*(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

*e-mail: vasilisa.kotelnikova@mail.ru*

Проанализировано влияние интенсивности волн накачки, коэффициента поглощения на эффективность преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на резонансной нелинейности при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны. Установлено, что с ростом интенсивности волн накачки увеличивается выигрыш в эффективности преобразования излучения.

**Ключевые слова:** четырехволновое взаимодействие, резонансная нелинейность, обратная связь.

Одним из способов повышения эффективности четырехволновых преобразователей излучения является наложение обратной связи на взаимодействующие волны [1]. Например, для четырехволнового преобразователя на тепловой нелинейности реализация обратной связи на сигнальную или объектную волны позволила увеличить амплитудный коэффициент отражения таких преобразователей [2]. Однако, в поглощающих средах, моделируемых системой энергетических уровней, наряду с тепловой нелинейностью реализуется и резонансная нелинейность [3]. Механизм резонансной нелинейности связан с насыщением резонансного перехода между энергетическими уровнями среды.

Представляет интерес исследовать влияние интенсивности волн накачки, коэффициента поглощения на эффективность четырехволнового преобразователя излучения на резонансной нелинейности при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны.

Вырожденное четырехволновое взаимодействие  $\omega + \omega - \omega = \omega$  описывалось с помощью уравнения Гельмгольца. Нелинейная среда с резонансной нелинейностью располагалась между зеркалами кольцевого резонатора. Волны накачки считались плоскими. Сигнальная и объектная волны раскладывались по плоским волнам. Использовались приближение заданного поля по волнам накачки, параксиальное приближение и условие больших коэффициентов отражения. При больших коэффициентах отражения учитывается не только динамическая решетка комплексного

показателя преломления, связанная с интерференцией сигнальной волны с первой волной накачки, но и динамическая решетка, возникающая при интерференции объектной волны со второй волной накачки.

Система связанных дифференциальных уравнений для пространственных спектров сигнальной и объектной волн с учетом граничных условий анализировалась численным методом на основе многократного прохождения сигнальной и объектной волн нелинейного слоя в кольцевом резонаторе. Сигнальная волна представлялась в виде точечного источника, расположенного на передней грани нелинейного слоя.

Построены зависимости амплитудного коэффициента отражения, выигрыша в эффективности четырехволнового преобразователя от нормированной интенсивности волн накачки и от оптической толщины при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны. Показано увеличение выигрыша в эффективности четырехволнового преобразователя с ростом интенсивности волн накачки при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны. Установлено, что ростом оптической толщины выигрыш в эффективности четырехволнового преобразователя излучения уменьшается. Существует значение коэффициента поглощения, при превышении которого выигрыш в эффективности четырехволнового преобразователя за счет использования обратной связи на объектную или сигнальную волны отсутствует.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник, Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. // Самара: Самарский университет, 2010, с. 246.
2. А.А. Акимов, С.А. Гузаиров, В.В. Ивахник, Четырехволновое взаимодействие на тепловой нелинейности при наличии обратной связи на сигнальную или объектную волны. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2022, т. 25, № 3, с. 9-15.
3. A.S. Rubanov, A.L. Tolstik, S.M. Karpuk, O. Ormachea, Nonlinear formation of dynamic holograms and multiwave mixing in resonant media. // Optics Communications, 2000, V.181, № 1-3, p. 183-190.

## FOUR-WAVE RADIATION CONVERTER ON RESONANT NONLINEARITY WITH FEEDBACK ON SIGNAL OR OBJECT WAVES

**V.D. Fomina, A.A. Akimov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: vasilisa.kotelnikova@mail.ru*

The influence of pump wave intensity and absorption coefficient on the efficiency of radiation conversion under four-wave mixing on resonant nonlinearity with feedback on signal or object waves is analyzed. It is established that the gain in the efficiency of radiation conversion increases with increasing pump wave intensity.

**Keywords:** four-wave mixing, resonant nonlinearity, feedback.

**ФУРЬЕ И КР СПЕКТРЫ КАПТОПРИЛА****А.А. Цапенко<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет имени академика**С.П. Королева,**кафедра оптики и спектроскопии**(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)**e-mail: lyoscha.tsapenko@gmail.com*

Исследовали препараты каптоприла шести разных производителей. Провели расчеты спектров каптоприла с помощью программы HyperChem\_8.0.10. Зарегистрировали спектры комбинационного рассеяния. Провели интерпретацию наиболее характерных полос в спектрах, чтобы отнести их к соответствующим колебаниям молекулы каптоприла.

**Ключевые слова:** фальсификация лекарственных препаратов, каптоприл, спектры комбинационного рассеяния, HyperChem\_8.0.10, интерпретация полос.

В настоящее время фальсификация лекарственных препаратов является серьезной проблемой. Поддельные лекарства могут не только не помочь, но и нанести вред здоровью человека. Сегодня контрафактные препараты могут быть внешне неотличимы от оригинальных, что затрудняет проверку их подлинности.

Особое внимание уделяется контролю качества препаратов, контролирующих артериальное давление. Примером таких препаратов являются лекарства на основе производных каптоприла – капотен, каптоприл, эналаприл.

Предметом настоящего исследования стал каптоприл как доступное, эффективное и часто применяемое антигипертензивное средство. В работе исследовали препараты каптоприла шести производителей:

№1 Борисовский завод медицинских препаратов (Беларусь)

№2 ООО «Озон» г. Жигулевск

№3 ООО «Пранафарм» г. Самара

№4 «Велфарм» Курган

№5 ПАО «Биосинтез» г. Пенза

№6 АО «Алиум» г. Оболенск, Московская область

Несмотря на популярность каптоприла и важность контроля существует всего несколько работ, в которых дается интерпретация отдельных полос спектров каптоприла

Поэтому целью данной работы было провести отнесение наиболее характерных полос соответствующим колебаниям молекулы каптоприла.

Для этого вначале были проведены расчеты спектров с помощью программы HyperChem 8.0.10, зарегистрированы спектры комбинационного рассеяния на рисунке 1 и проведена интерпретация наиболее характерных полос в области от 600 до 2000 см<sup>-1</sup>.

На рисунке приведены спектры комбинационного рассеяния всех препаратов. На этом же рисунке 1 приведена структурная формула каптоприла.

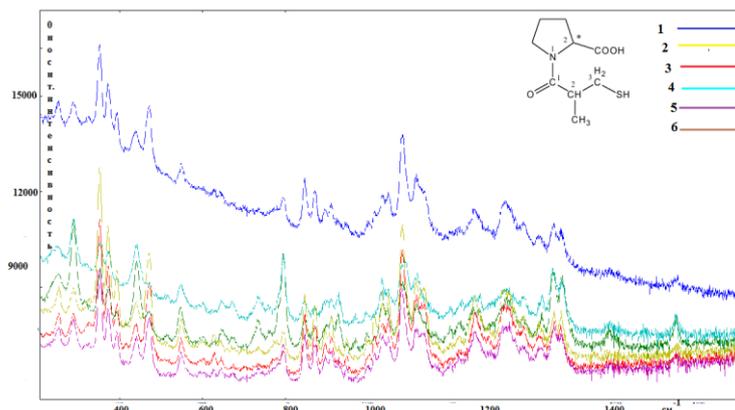


Рис.1. Спектры комбинационного рассеяния каптоприла различных производителей.

В молекуле каптоприла С=О группе должны соответствовать две полосы колебаний, так как эта группа присоединяется к молекуле в ее разных частях. Группе С=О, присоединенной к этиленовой группе, соответствует полоса  $1751\text{ см}^{-1}$ , а полоса  $1726\text{ см}^{-1}$  колебаниям карбонильной группы в группе СООН. Валентным колебаниям С-О группы (О-С-О) принадлежит полоса  $1190\text{ см}^{-1}$ . Колебаниям  $\text{-C=C}$  принадлежит полоса  $1574\text{ см}^{-1}$ , амидной группе соответствует полоса  $1647\text{ см}^{-1}$ ,

По положению полос и по относительным интенсивностям полос можно сделать вывод, что все препараты соответствуют эталонным спектрам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д.А. Чепило, Разработка стандартных образцов для контроля качества антигипертензивных лекарственных средств – ингибиторов АПФ. // Москва, 2022, 92 с.
2. Е.А. Краснов, Е.В. Ермилова Курс лекций по фармацевтической химии: учебное пособие. В 2-х ч. Ч. 1. Лекарственные средства гетероциклического ряда. // Томск: СибГМУ, 2010, 39 с.

## FOURIER AND IR SPECTRA OF CAPTOPRIL

A.A. Tsapenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University  
 Department of Optics and Spectroscopy  
 (443086, Samara, Moskovskoe Shosse, 34)  
 e-mail: lyoscha.tsapenko@gmail.com

We studied captopril preparations from six different manufacturers. We calculated the captopril spectra using the HyperChem\_8.0.10 program. We recorded the Raman spectra. We interpreted the most characteristic bands in the spectra to assign them to the corresponding vibrations of the captopril molecule.

**Keywords:** counterfeiting of drugs, captopril, Raman spectra, HyperChem\_8.0.10, band interpretation.

# СВЕТОВЫЕ ПОЛЯ С МЕДЛЕННО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ.

К.А.Целогородцев<sup>1,2</sup>, И.О.Антонов<sup>1,2</sup>, С.П.Котова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: tselogorodtsevk23@mail.ru

В данной работе рассмотрены различные способы использования световых полей для управления вращением микро- и наночастиц в целях создания технологий левитирующих наносенсоров. Для регулирования скорости вращения предлагается применять линейно-поляризованные световые поля с медленной ротацией плоскости поляризации. Предложены методы для поворота плоскости поляризации в диапазоне частот от 0 до 200 МГц.

**Ключевые слова:** вращение поляризации, микрочастицы, левитируемые микрообъекты, наносенсоры.

В настоящее время активно развиваются технологии создания сверхчувствительных сенсоров, в том числе наногироскопов [1] на основе левитируемых микро- и наночастиц [2]. Сверхчувствительные сенсоры на основе левитируемых вращающихся микрочастиц в гармоническом потенциале могут использоваться для исследования химического состава различных материалов с помощью силовой ЯМР спектроскопии [3]. Для придания вращения левитируемым частицам используются световые поля с круговой поляризацией [4], при этом максимальная скорость вращения частицы ограничивается вязким трением в газовой среде либо ее механическим разрушением под действием центробежных сил.

В данной работе было предложено использовать световые поля с медленно вращающейся линейной поляризацией для контролируемого вращения левитируемых частиц и разработаны несколько методов для создания таких полей. Электрическое поле линейно поляризованного света с медленно вращающейся плоскостью поляризации можно описать при помощи следующего выражения

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} e^{i(k_s z - \omega_s t)} \cos(kz - \omega t) \quad (1)$$

где  $\omega_s$  – скорость вращения плоскости поляризации,  $\omega$  – оптическая частота, такая что  $\omega \gg \omega_s$ ,  $k(s) = \omega(s)/c$ , где  $c$  – скорость света. Волна, определяемая таким выражением, также может быть представлена как бихроматическая, т.е. содержащая две отличные друг от друга оптические частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , такие что  $\omega_s = |\omega_1 - \omega_2|/2$ .

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix} (e^{i(k_1 z - \omega_1 t)} + e^{-i(k_2 z - \omega_2 t)}) / 2 \quad (2)$$

Первый из предложенных подходов заключается в пропускании циркулярно-поляризованного света через вращающийся поляризатор. Частота вращения

поляризатора определяет скорость вращения плоскости поляризации входящего света. Данный факт может быть показан с помощью формализма матриц Джонса. Запишем преобразование циркулярной поляризации, где матрица для вращающегося поляризатора может быть записана в виде:

$$RHR^{-1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \cos \varphi_t & -\sin \varphi_t \\ \sin \varphi_t & \cos \varphi_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \varphi_t & \sin \varphi_t \\ -\sin \varphi_t & \cos \varphi_t \end{bmatrix} \quad (3)$$

где  $\varphi_t = \varphi_0 + \omega_t$ . Подействовав данной матрицей на вектор Джонса для света с круговой поляризацией, получим выражение

$$\text{Re}(\vec{E}) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \cos(k_s z - \omega_s t) \\ \sin(k_s z - \omega_s t) \end{bmatrix} \cos(k_{1,2} z - \omega_{1,2} t) \quad (4)$$

Из данного выражения видно, что из поляризатора выходит свет с медленно вращающейся поляризацией и несущей частотой  $\omega_1 = \omega - \omega_s$  или  $\omega_2 = \omega + \omega_s$  в зависимости от того, вращаются поляризатор и начальная волна с круговой поляризацией в разные стороны или в одну.

Второй метод предполагает применение амплитудной модуляции на частоте  $\omega_s$  к волнам с вертикальной и горизонтальной поляризацией со сдвигом по фазе модуляции в  $\pi/2$  и последующим их перекрыванием. Этот подход прямо следует из уравнения (4).

Наконец, третий метод следует из уравнения (2) и может быть реализован посредством сдвига взаимно ортогональных линейно-поляризованных компонент светового поля по частоте до значений  $\omega_1$  и  $\omega_2$  и придания им противоположно направленной круговой поляризации.

Предложенные методы позволяют достичь разных значений скорости вращения поляризации, что определяет их применимость к разным классам задач. Так, первый метод, основанный на «механическом» вращении поляризации посредством вращения поляризатора, пригоден для скоростей вращения в нижней части диапазона от 1-10<sup>3</sup> Гц. Метод, основанный на амплитудной модуляции, можно реализовать посредством оптико-механических прерывателей (чопперов) что позволяет достичь частоты вращения до 10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> Гц. Последний предложенный метод при использовании акустооптических модуляторов может достичь частот до 10<sup>8</sup> Гц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Zeng, Xi. Xu, Yu. Wu, Xu. Wu, D. Xiao, Optically levitated micro gyroscopes with an MHz rotational vaterite rotor. // *Microsystems & Nanoengineering*, 2024, v. 10(1), p. 78.
2. F. v. d. Laan, R. Reimann, A. Militaru, F. Tebbenjohanns, D. Windey, M. Frimmer, Lu. Novotny, Optically levitated rotor at its thermal limit of frequency stability. // *Phys. Rev. A.*, 2020, v. 102, p. 013505.
3. S. Won, SB. Saun, S. Lee, S. G. Lee, K. Kim, Yu. Han, NMR Spectroscopy for Thin Films by Magnetic Resonance Force Microscopy. // *Sci Rep*, 2013, v. 3, p. 3189.
4. J. Ahn, Z. Xu, J. Bang, Yu.H. Deng, Th. M. Hoang, Q. Han, R. M. Ma, T. Li., Optically Levitated Nanodumbbell Torsion Balance and GHz Nanomechanical Rotor. // *Phys. Rev. Lett.*, 2018, v. 121, p. 033603.

## LIGHT FIELDS WITH SLOWLY ROTATING LINEAR POLARIZATION.

**K.A. Tselogorodtsev<sup>1,2</sup>, I.O. Antonov<sup>1,2</sup>, S.P. Kotova<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)*

*<sup>2</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: tselogorodtsevk23@mail.ru*

This paper examines various ways to use light fields to control the rotation of micro- and nanoparticles in order to create levitating nanosensor technologies. To regulate the rotation speed, it is proposed to use linearly polarized light fields with slow rotation of the polarization plane. Methods have been proposed for rotating the plane of polarization in the frequency range from 0 to 200 MHz.

**Keywords:** polarization rotation, microparticles, levitated microobjects, nanosensors.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВЫХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛИЗИРОВАННЫХ СЛЕЗНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ПАТОЛОГИЯМИ

Д.А. Чабуркин<sup>1,2</sup>, С.П. Котова<sup>1,2</sup>, А.А. Девяткин<sup>3</sup>, А.Г. Исхакова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)

<sup>2</sup> Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)

<sup>3</sup> Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,  
(392036, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33)

<sup>4</sup> ГБУЗ СОКОБ им. Т. И. Ерошевского,  
(443011, г. Самара, ул. Академика Платонова 8-94)  
e-mail: chaburkin.daniel@gmail.com

В настоящем исследовании представлены результаты экспериментального анализа кристаллизованных структур слезной жидкости, полученных с помощью установки THORLABS – LCC7201B. Для каждой структуры были определены характеристики фазового сдвига и величина азимута поляризации.

**Ключевые слова:** фазовый сдвиг, патология, слезная жидкость, поляризация, двулучепреломление, фазовая задержка, азимут поляризации.

Измерение двойного лучепреломления имеет важное значение для различных областей фотоники, таких как разработка пространственных модуляторов света [1], изучение деформаций материалов и определение характеристик биологических структур и жидкостей [2]. В данной работе исследовалась кристаллизованная структура слезной жидкости с использованием установки THORLABS – LCC7201B. Было проведено измерение фазовой задержки и азимута поляризации для образцов от здоровых и больных пациентов по методу 5 точек [3]. Всего был рассмотрен 71 образец, включая 10 образцов от здоровых пациентов и 61 образец от больных.

Метод 5 точек заключается в измерении выбранных характеристик в 5 равноудаленных точках (4 точки на краю образца, 1 в центре). Для каждой структуры выбраны точки как на рисунке 1(а), определены фазовый сдвиг (рисунок 1(б)) и величина азимута поляризации. Результаты были занесены в базу данных. Впоследствии произведен статистический анализ.

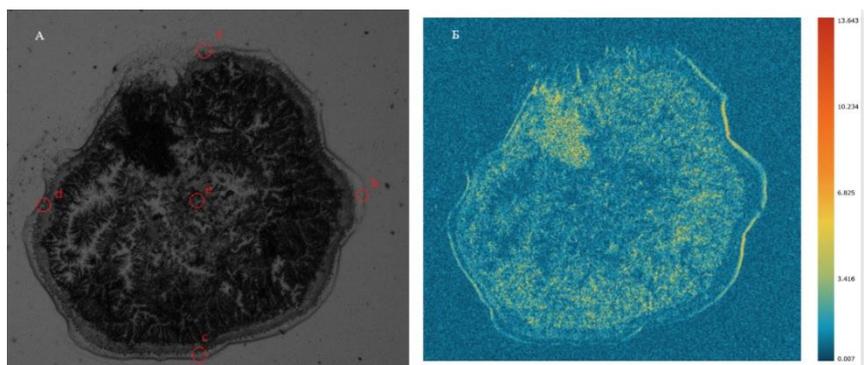


Рис. 1. Определение параметров в 5 равноудаленных точках. А) изображение кристаллизованной слезной жидкости в поляризованном свете (с определением 5 точек), Б) 2D изображение фазовой задержки для одной из структур

Были исследованы и обработаны 5 образцов от 5 здоровых и 5 от больных людей, данные по обработке представлены на рисунке 2. Видно, что данные по фазовой задержке при этом количестве образцов не позволяют различить больных от здоровых. Для данных по азимуту поляризации различия есть. В целом же понятно, что для получения ответа на вопрос - будут ли измеряемые величины различными для здоровых и больных пациентов - нужна большая статистика.

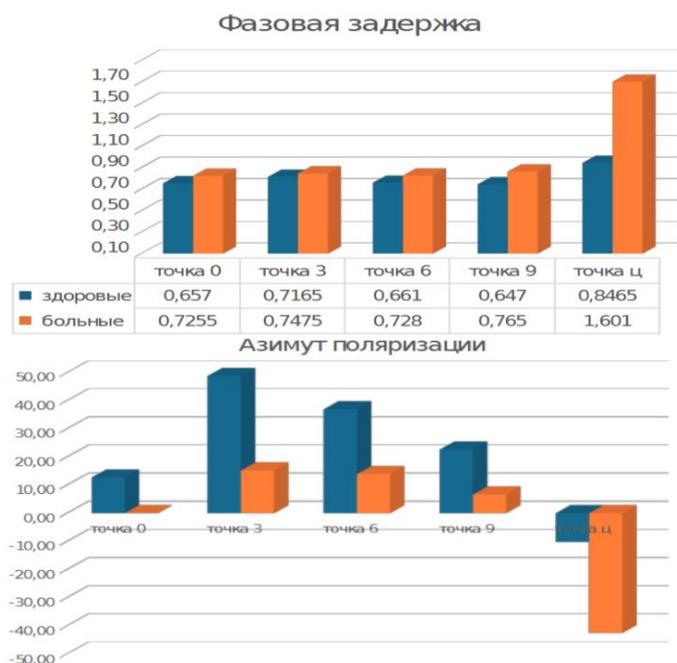


Рис. 2. Обработанные данные для фазовой задержки и азимута поляризации

Статистический анализ медицинских данных в нашей работе выполнен совместно с научным сотрудником Федерального медико-биологического агентства, кандидатом медицинских наук, доцентом П.В. Борискиным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Н. Евтихийев. // Измерительная техника, 2021, №. 5, с. 4-8.

2. М.А. Полиданов, И.Е. Кондрашкин, И.С. Блохин, Д.В. Тупикин // Сборник статей общество-наука-инновации, 2020, 151 с.
3. В.Н. Шабалин, С.Н. Шатохина, А.А. Девяткин, В.М. Малов, Е.Б. Ерошевская, И.В. Малов // Морфология жидких сред глаза. Монография. М.: Медицина, 2004, 244 с.

## **DETERMINATION OF PHASE AND POLARIZATION CHARACTERISTICS OF CRYSTALLIZED LACRIMAL STRUCTURES FOR PEOPLE WITH PATHOLOGIES**

**D.A. Chaburkin<sup>1,2</sup>, S.P. Kotova<sup>1,2</sup>, A.A. Devyatkin<sup>3</sup>, A.G. Iskhakova<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup> Samara National Research University,  
(34 Moskovskoe shosse str., Samara, Russia, 443086)*

*<sup>2</sup> Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(221, Novo-Sadovaya Str., Samara, Russia, 443011)*

*<sup>3</sup> Tambov State University named after G.R. Derzhavin,  
(33 Internatsionalnaya str., Tambov, Russia, 392036)*

*<sup>4</sup>State Budgetary Healthcare Institution "Samara Regional Clinical Ophthalmological  
Hospital named after T.I. Eroshevsky"*

*(8-94 Akademika Platonov str., Samara, Russia, 443011)*

*e-mail: chaburkin.daniel@gmail.com*

This research presents the results of an experimental analysis of crystallized structures of lacrimal fluid obtained using the THORLABS – LCC7201B installation. The phase shift characteristics and the magnitude of the polarization azimuth were determined for each structure.

**Keywords:** phase shift, pathology, lacrimal fluid, polarization, birefringence, phase delay, polarization azimuth.

## ПРОЦЕДУРЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕ ЗАВИСЯЩИХ ОТ УСТРОЙСТВА ОЦЕНОК КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОКТ СКАНОВ

П.А. Чижов<sup>1</sup>, А.А. Советский<sup>1</sup>, Л.А. Матвеев<sup>1</sup>, А.Л. Матвеев<sup>1</sup>, В.Ю. Зайцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук  
(603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46)  
e-mail: p.chizhov@ipfran.ru*

Определение параметров (например, коэффициента затухания) оптического сигнала широко применяется при диагностике биотканей с использованием оптической когерентной томографии. Для корректности оценки коэффициента затухания важным моментом является исключение влияния особенностей конкретного прибора на принимаемый сигнал. В работе предложена процедура предварительной калибровки, компенсирующей влияние таких аппаратно-зависимых особенностей как влияние фокусировки, влияние присущего спектральной ОКТ так называемого roll-off эффекта, зависимость доли принимаемой энергии рассеянного поля от удаления рассеивателей от приемной системы ОКТ и других факторов.

**Ключевые слова:** оптическая когерентная томография, аппаратная функция, калибровка.

Пространственно-разрешенная реконструкция коэффициента затухания оптического поля в биотканях на основе анализа получаемых в оптической когерентной томографии (ОКТ) сканов привлекает большое внимание при решении различных диагностических биомедицинских задач. Как правило, рабочая длина волны ОКТ приборов выбирается в соответствии с окнами прозрачности, поэтому ослабление оптической волны в сильно рассеивающих биотканях определяется в основном потерями энергии зондирующего пучка на рассеяние, а не поглощением оптической волны. При выполнении этого условия и ряда дополнительных предположений в работе [1] был предложен практически удобный подход к получению пространственно-разрешенной оценки затухания оптической волны. А именно, предполагается, что принимаемый с различных глубин уровень оптического сигнала не искажается другими факторами помимо рассеяния. Такими факторами являются фокусировка зондирующего пучка, влияние так называемого roll-off эффекта, типичного для спектральных ОКТ приборов и дополнительно снижающего амплитуду принимаемого сигнала с ростом глубины. Кроме того, в подходе [1] предполагается независимость доли принимаемой энергии сигнала от общей энергии рассеянного поля и отсутствие других возможных искажающих факторов. Чтобы теоретически оценить и скорректировать их влияние, требуется знание исчерпывающе полной информации о конструктивных особенностях и параметрах ОКТ прибора, что практически нереализуемо. Поэтому оценки затухания, непосредственно получаемые на основе анализа ОКТ сканов, оказываются существенно приборно-зависимыми, что не позволяет корректно сопоставлять данные разных приборов и резко снижает диагностическую ценность таких оценок.

В докладе предлагаются процедуры предварительной калибровки для получения аппаратно-независимых оценок коэффициента затухания оптической волны на основе анализа ОКТ сканов. Подход основан на получении серии калибровочных ОКТ сканов от постепенно приближаемой к ОКТ зонду поверхности тестового однородного образца через слой иммерсирующей жидкости. Результаты калибровки показаны на рисунке 1.

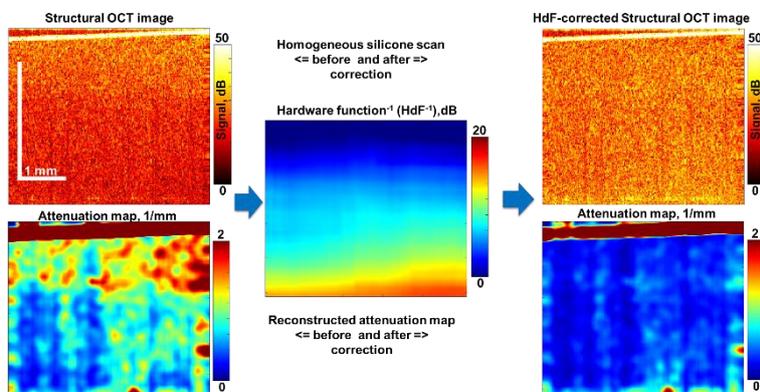


Рис. 1. Карта корректирующей функции, ОКТ-сканы однородного образца и соответствующие им карты коэффициента затухания до и после коррекции. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-72-01107.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K.A. Vermeer, J. Mo, J.J.A. Weda, H.G. Lemij, and J.F. de Boer, Depth-resolved model-based reconstruction of attenuation coefficients in optical coherence tomography. // Biomedical Optics Express, 2014, v. 5, №1, p. 322.

## PRE-CALIBRATION PROCEDURES FOR ENABLING DEVICE-INDEPENDENT ESTIMATES OF OPTICAL ATTENUATION COEFFICIENT FROM OCT SCANS

P.A. Chizhov<sup>1</sup>, A.A. Sovetsky<sup>1</sup>, L.A. Matveev<sup>1</sup>, A.L. Matveyev<sup>1</sup>, V.Y. Zaitsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences

(Ulyanova St., 46, Nizhny Novgorod, Russia, 603950)

e-mail: p.chizhov@ipfran.ru

The determination of optical signal parameters is widely used in diagnostics using optical coherence tomography. When using methods for estimating the parameters of an optical signal, an important point is the preliminary compensation of the influence of the device on the received signal. The paper proposes a pre-calibration procedure which allows one to exclude the influence of the device-specific parameters, such as the beam focusing, the so-called roll-off effect, the influence of the distance of scatterers from the OCT probe on the portion of received energy of the scattered waves and other factors.

**Keywords:** optical coherence tomography, hardware function, calibration.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАРЯД СУПЕРПОЗИЦИИ ВИХРЕЙ В ВИДЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРЕССИИ

Д.О. Шилов<sup>1</sup>, Е.С. Козлова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

<sup>2</sup>*Институт систем обработки изображений НИЦ «Курчатовский институт»,  
(443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 151)  
e-mail: do.shilov@yandex.ru*

С помощью интеграла Френеля проведено численное моделирование распространения суперпозиции оптических вихрей в виде геометрической прогрессии в турбулентных средах. Рассчитаны топологические заряды исходных и результирующих полей. Показано, что суперпозиции с меньшим количеством пучков более устойчивы к искажениям сильно турбулентными средами. Показано, что на устойчивость распространения пучка влияют как параметры среды, так и параметры самого пучка.

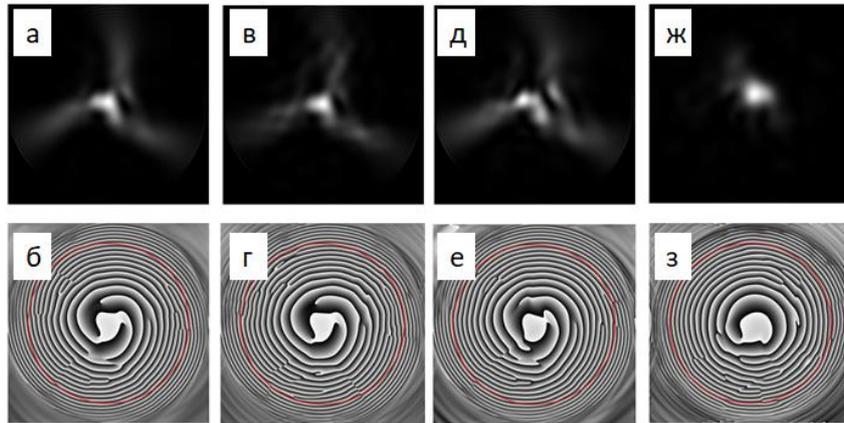
**Ключевые слова:** оптические вихри, топологический заряд, суперпозиция, геометрическая прогрессия, преобразование Френеля, формула Берри.

Оптические вихри являются предметом активного изучения последние несколько десятилетий. Особый интерес представляет величина топологического заряда при распространении оптических пучков в турбулентных средах, так как он является носителем передаваемой информации [1].

В данной работе был рассмотрен процесс распространения суперпозиции гауссовых оптических вихрей в виде геометрической прогрессии с параметром [2] в турбулентных средах. Для учета турбулентности среды в начальной плоскости исходное поле умножалось на поле со случайной фазой, которая определялась с использованием корреляционной матрицы для описания турбулентных искажений [3].

Было показано, что значение отклонения топологического заряда зависит не только от параметров турбулентной среды, но и от характеристик пучка. В частности, увеличение параметров  $k$  (отвечает за усечение последовательности) и  $m$  (отвечает за шаг геометрической прогрессии) приводит к увеличению устойчивости топологического заряда суперпозиции к турбулентным искажениям, так как оба параметра позволяют контролировать (а при увеличении снижать) количество оптических вихрей в суперпозиции.

На рисунке 1 показаны интенсивность и фаза пучков  $k = 0$ ,  $m = 3$ ,  $n = 5$ ,  $a = 1$  на расстоянии Рэлея в турбулентной среде с параметрами  $\rho_0 = 0,2682$  и  $\sigma = \pi$  (а, б),  $\rho_0 = 0,0870$  и  $\sigma = \pi$  (в, г),  $\rho_0 = 0,2682$  и  $\sigma = 2\pi$  (д, е) и пучка  $k = 0$ ,  $m = 1$ ,  $n = 3$ ,  $a = 1$  на расстоянии Рэлея в турбулентной среде с параметрами  $\rho_0 = 0,0870$  и  $\sigma = 2\pi$  (ж, з). Из рисунка видно, что чем сильнее турбулентность, тем сильнее искажается пучок.



*Рис. 1. Результаты моделирования*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A.E. Willner, et al., Orbital Angular Momentum Beams for High-Capacity Communications // *Journal of Lightwave Technology*, 2023, v. 41, № 7, p. 1918–1933.
2. В.В. Котляр, А.А. Ковалев, Топологический заряд суперпозиции оптических вихрей, описываемой геометрической прогрессией // *Компьютерная оптика*, 2022, т. 46, № 6, с. 864–871.
3. A.P. Porfirev, et al., Study of propagation of vortex beams in aerosol optical medium // *Applied Optics*, 2017, v. 56, № 11, p. E8-E15. 10.1364/AO.56.0000E8

### STUDY OF TURBULENCE INFLUENCE ON TOPOLOGICAL CHARGE OF VORTEX SUPERPOSITION IN THE FORM OF GEOMETRICAL PROGRESSION

**D.O. Shilov<sup>1</sup>, E.S. Kozlova<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University*

*(Moskovskoye Shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

*<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute, NRC “Kurchatov Institute”,*

*(Molodogvardeyskaya str., 151, Samara, Russia, 443001)*

*e-mail: do.shilov@yandex.ru*

Numerical modelling of the propagation of the superposition of optical vortices as a geometric progression in turbulent media is simulated using the Fresnel integral. The topological charges of the initial and resulting fields are calculated. It is shown that superpositions with fewer beams are more stable to distortions by strongly turbulent media. It is shown that the stability of beam propagation is affected by both the parameters of the medium and the parameters of the beam itself.

**Keywords:** optical vortices, topological charge, superposition, geometric progression, Fresnel transform, Berry formula.

# ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ТЕПЛОВОГО ДИСБАЛАНСА В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ИЗЛУЧЕНИИ, ВЫЗВАННОМ МЕДЛЕННЫМИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ В КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЛЯХ

А.М. Юдина<sup>1</sup>, Д.С. Рящиков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

<sup>2</sup>*Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН  
(443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221)  
e-mail: udina.alena163@gmail.com*

В данной работе аналитически исследуется влияние теплового дисбаланса на изменение яркости возмущений, вызванных распространяющимися в солнечной атмосфере МГД волнами, наблюдаемых космической обсерваторией SDO. Для каждого канала инструмента AIA на борту SDO, соответствующего различным длинам волн в дальнем ультрафиолетовом диапазоне, получены области увеличения и уменьшения относительной яркости изображения в зависимости от температуры среды и параметров теплового дисбаланса.

**Ключевые слова:** солнечная корона, МГД волны, тепловой дисбаланс.

Солнечная корона — это уникальная среда, которая является естественной лабораторией для изучения физических процессов в плазме. Температура короны достигает более  $10^6\text{K}$ , однако механизм нагрева до сих пор остаётся неизвестным, что является одной из нерешённых проблем в физике Солнца. Существуют две основные гипотезы, которые объясняют нагрев короны до столь высоких температур: импульсный нагрев или нагрев корональными вспышками, либо нагрев за счёт МГД волн, переносящих энергию из нижележащих слоёв Солнца. Однако ввиду отсутствия теоретической модели нагрева короны, его часто моделируют в виде степенной функции температуры и плотности. Кроме того, солнечная корона теряет энергию на излучение. Мощность теплопотерь также зависит от температуры и плотности плазмы. В стационарной атмосфере приток энергии и теплопотери уравниваются друг друга. Однако возмущения равновесия, вызванные, например, МГД волнами, приводят к нарушению баланса. Показано, что этот тепловой дисбаланс также влияет на свойства МГД волн, приводя к изменению скорости их распространения, усилению или затуханию волн, а также возникновению фазового сдвига между возмущениями плотности и температуры.

Одним из наиболее широко используемых инструментов для наблюдения Солнца является космическая обсерватория SDO, которая с помощью инструмента AIA позволяет получать изображения Солнца в нескольких каналах, соответствующих различным длинам волн в дальнем ультрафиолетовом диапазоне. Отклик прибора пропорционален произведению квадрату плотности плазмы на некоторую функцию температуры, которая различна для каждого канала AIA. Таким образом, тепловой дисбаланс оказывает непосредственное влияние на яркость возмущений плазмы, вызванных МГД волнами.

В данной работе получена связь относительного изменения яркости возмущения (цифровых значений отклика инструмента AIA), вызванного распространяющимися в корональной петле медленными МГД волнами, с амплитудой плотности данного возмущения. Получено аналитическое выражение, описывающее изменение наблюдаемой яркости возмущения в зависимости от параметров теплового дисбаланса, а также температурной функции отклика прибора AIA. Для каждого из каналов AIA получены области увеличения и уменьшения относительной яркости изображения в зависимости от температуры среды и параметров теплового дисбаланса.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственные задания № FSSS-2023-0009 и № FFMR-2024-0017).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.Е. Молевич, Д.С. Рящиков, Д.И. Завершинский, С.А. Белов, Фазовый сдвиг между возмущениями температуры, давления и плотности в тепловыделяющей среде. // Краткие сообщения по физике ФИАН, 2022, т. 49, № 9, с. 19-26.

## MANIFESTATIONS OF THERMAL DISBALANCE EFFECT IN ULTRAVIOLET RADIATION CAUSED BY SLOW MAGNETOACOUSTIC WAVES IN CORONAL LOOPS

A.M. Yudina<sup>1</sup>, D.S. Riashchikov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)*

<sup>2</sup>*Lebedev Physical Institute, Samara Branch  
(Novo-Sadovaya str., 221, Samara, Russia, 443011)  
e-mail: udina.alena163@gmail.com*

The effect of thermal misbalance on the brightness variation in SDO space observatory data caused by MHD waves propagating in the solar atmosphere is investigated. For each channel of the AIA instrument on board SDO corresponding to different wavelengths in the EUV range, regions of increase and decrease of the relative image brightness depending on the medium temperature and thermal misbalance parameters are obtained.

**Keywords:** solar corona, MHD waves, thermal misbalance.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ ВЕН ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В БЛИЖНЕМ ИК ДИАПАЗОНЕ

Н.В. Ремизов<sup>1</sup>, Д. С. Якименко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Самарский национальный исследовательский университет,  
(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)  
e-mail: erenv97@yandex.ru*

Рассмотрены различные методы обработки изображений при визуализации вен в ИК диапазоне. Проведена оценка эффективности выбранных методов. Составлена база данных изображений

**Ключевые слова:** Фильтр Гаусса, обработка изображений, контрастность вен, OpenCV, билатеральная фильтрация, медианная фильтрация.

Данный доклад посвящен изучению различных методов обработки изображений при неинвазивной визуализации сосудов человека в ближнем ИК диапазоне. В современных условиях в медицине зачастую необходимо диагностировать заболевания с помощью забора крови. Это так же востребовано и в спортивных сферах, таких как пауэрлифтинг, где из-за большой нагрузки могут возникать различные заболевания вен. Однако в некоторых случаях вены не видны невооруженным глазом, что может стать причиной ошибки при взятии крови и, соответственно, привести к ошибкам при интерпретации анализов.

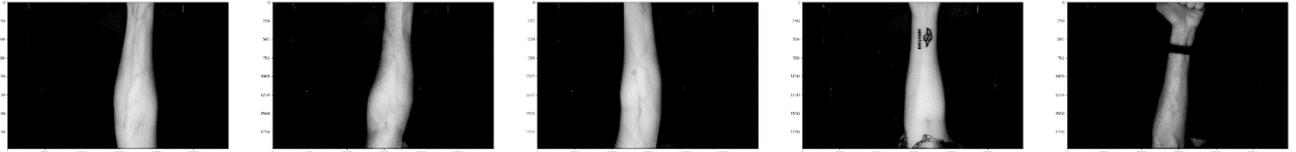
В данных условиях растет потребность в неинвазивных устройствах визуализации вен. На текущий момент уже существуют подобные устройства, однако они не обладают достаточной глубиной визуализации и не имеют единого стандарта параметров устройств, поэтому в ходе данной работы были рассмотрены различные методы обработки изображений при визуализации вен человека [1].

Были рассмотрены и проведены оценки эффективности следующих методов: CLANE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization), фильтр Баттерворта, Фильтр Гаусса, Медианная фильтрация, Сплайн-фильтрация, фильтры Собеля и Лапласиан, вейвлет-фильтрация [2-4].

При помощи системы организации конкурсов по машинному обучению Kaggle была получена база данных, состоящая из 100 изображений предплечий различных людей, зарегистрированных в ближнем ИК диапазоне [5]. В данной базе представлены предплечья с различными изъянами: слабой различимостью вен, татуировками, повышенной волосистостью. 70 из 100 изображений имеют разметку-маску вен.

В ходе проведенного исследования были детально проанализированы существующие методы обработки изображений, применяемые для визуализации вен. Также была осуществлена оценка их эффективности, что позволило выявить сильные и слабые стороны каждого из подходов. Пример визуализации вен представлен на

рисунках 1 и 2. Результаты анализа предоставляют ценную информацию для дальнейших исследований в данной области и могут способствовать разработке более совершенных технологий визуализации.



*Рис. 1. Исходные изображения*



*Рис. 2. Изображения после обработки*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Remizov, N. V. 3D Printed Modular Vein Viewing System Based on Differential Light Absorption in the Near Infrared Range // *Journal of Biomedical Photonics & Engineering.*, 2023, v. 9, p. 8
2. Ahmed, K. I. A Real Time Vein Detection System / K. I. Ahmed, H. H. Mohamed, M. R. Islam // *The Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJEECS).*, 2018, v. 10, p. 9
3. Francis, M. A novel technique for forearm blood vein detection and enhancement // *Biomedical Research.*, 2017, v. 28, p. 7
4. Ozkan, H. A portable multispectral vein imaging system // *Journal of ELECTRICAL ENGINEERING.*, 2023, v. 74, p. 6
5. Forearm Veins (NIR) (Kaggle Dataset) [Electronic resource] / KAGGLE.COM: Machine Learning and Data Science Community // Access mode: URL: <https://www.kaggle.com/datasets/chrismnugent/forearm-veins-nir>.

## GUIDELINES FOR PAPER LAYOUT

**N. V. Remizov<sup>1</sup>, D. S. Yakimenko<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: erenv97@yandex.ru*

Various methods of image processing for visualization of veins in the IR range were considered. The effectiveness of the selected methods was evaluated. An image database has been compiled.

**Keywords:** Gaussian filter, image processing, vein contrast, OpenCV, bilateral filtering, median filtering.

## ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕЗОНАНСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ В СХЕМЕ С ПОПУТНЫМИ ВОЛНАМИ НАКАЧКИ

К.А. Янина, А.А. Акимов

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика*

*С. П. Королева,*

*(443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34)*

*e-mail: kristina.yanina.03@mail.ru*

Исследована эффективность преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на резонансной нелинейности в схеме с попутными волнами накачки. При отклонении отношения интенсивностей волн накачки от единицы наблюдается смещение максимума зависимости амплитудного коэффициента преобразования от интенсивности волн накачки.

**Ключевые слова:** четырехволновой преобразователь, резонансная нелинейность.

Для получения волны с обращённым волновым фронтом при четырёхволновом взаимодействии используется как схема со встречными, так и с попутными волнами накачки [1]. В схеме с попутными волнами накачки обращение происходит только для поперечных составляющих волнового вектора объектной волны. Обращение по продольной компоненте волнового вектора объектной волны отсутствует. Кроме того, в схеме с попутными волнами накачки реализуется возможность получения волны с комплексно-сопряжённым волновым фронтом, распространяющейся в направлении сигнальной волны. Схема с попутными волнами накачки используется для коррекции фазовых искажений в волноводах [2].

В растворах сложных органических соединений наряду с тепловой нелинейностью реализуется резонансная нелинейность [3]. Механизм резонансной нелинейности связан с насыщением резонансного перехода между энергетическими уровнями среды.

Представляет интерес исследовать эффективность преобразования излучения при четырехволновом взаимодействии на резонансной нелинейности в схеме с попутными волнами накачки.

Рассматривалось вырожденное четырехволновое взаимодействие в схеме с попутно распространяющимися волнами накачки. Четырёхволновое взаимодействие описывалось с помощью уравнения Гельмгольца. Волны накачки считались плоскими. Сигнальная и объектная волны раскладывались по плоским волнам. Использовались приближение заданного поля по волнам накачки, параксиальное приближение и условие больших коэффициентов преобразования. При больших коэффициентах преобразования учитываются динамические решетки комплексного показателя преломления, связанные с интерференцией сигнальной и объектной волн с волнами накачки.

Система связанных дифференциальных уравнений для пространственных спектров сигнальной и объектной волн с учетом граничных условий анализировалась численным методом. Сигнальная волна представлялась в виде точечного источника, расположенного на передней грани нелинейного слоя.

Построены зависимости модуля амплитуды пространственного спектра объектной волны от пространственной частоты, амплитудного коэффициента преобразования от нормированной интенсивности волн накачки. В зависимости модуля амплитуды пространственного спектра объектной волны от пространственной частоты наблюдаются два симметричных относительно нуля максимума. С ростом интенсивности волн накачки амплитудный коэффициент преобразования вначале возрастает, а затем убывает. При отклонении отношения интенсивностей волн накачки от единицы наблюдается смещение максимума зависимости амплитудного коэффициента преобразования от интенсивности волн накачки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.В. Ивахник, Обращение волнового фронта при четырехволновом взаимодействии. // Самара: Самарский университет, 2010, с. 246.
2. В.В. Ивахник, Д.Р. Капизов, В.И. Никонов, Четырехволновое взаимодействие в многомодовом волноводе с тепловой нелинейностью в схеме с попутными волнами накачки. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2020, т.23, № 3, с. 27-33.
3. А.А. Акимов, В.В. Ивахник, В.И. Никонов, Четырехволновое взаимодействие на резонансной и тепловой нелинейностях в схеме с попутными волнами накачки при больших коэффициентах преобразования. // Известия вузов. Радиофизика, 2014, т.57. №8-9. с.753-761.

## FOUR-WAVE RADIATION CONVERTER ON RESONANT NONLINEARITY IN THE SCHEME WITH CODIRECTIONAL PUMPING WAVES

**K.A. Yanina, A.A. Akimov**

*Samara National Research University,  
(Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086)  
e-mail: kristina.yanina.03@mail.ru*

The efficiency of radiation conversion under four-wave mixing on resonant nonlinearity in the scheme with codirectional pumping waves is investigated. When the pump wave intensity ratio deviates from unity, a shift in the maximum of the dependence of the amplitude conversion coefficient on the pump wave intensity is observed.

**Keywords:** four-wave converter, resonant nonlinearity.

## ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ С ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ И ПОРТАТИВНЫЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР В ОЦЕНКЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА БИОТКАНЕЙ

В.С. Янушин<sup>1</sup>, Е.В. Жарких<sup>1</sup>, Ю.И. Локтионова<sup>1</sup>, И.А. Горюнов<sup>1</sup>, В.В. Шуплецов<sup>1</sup>  
А.В. Дунаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-технологический центр биомедицинской фотоники ОГУ имени И.С. Тургенева  
(302020, г. Орёл, Наугорское шоссе 29)

e-mail: slava.yanushin@bk.ru

Работа посвящена исследованию параметров микроциркуляторно-тканевых систем с помощью методов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии.

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, время жизни флуоресценции, окклюзионная проба.

Большую популярность приобретают мультимодальные оптические неинвазивные системы, позволяющие обеспечить раннюю диагностику функциональных изменений микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма человека до развития клинических симптомов при различных социально-значимых заболеваниях [1].

Целью данной работы явилось изучение влияния уровня кровенаполнения на регистрируемый сигнал флуоресценции носимого анализатора в условиях искусственной ишемии, с применением опорного метода флуоресцентной спектроскопии с временным разрешением для последующего обоснования медико-технических требований, предъявляемых к каналу флуоресцентной спектроскопии носимого анализатора.

Для оценки параметров МТС применялся носимый мультимодальный анализатор «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА»), включающий в себя каналы лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии (с длиной волны возбуждения флуоресценции 365 нм). Свет ближней УФ области спектра возбуждает флуоресценцию кофактора НАДН, участвующего в окислительно-восстановительных реакциях в клетках биотканей. НАДН может быть свободным при гликолизе ( $\tau_1 \approx 0,4$  нс) и находиться в связанной с белком форме ( $\tau_2 \approx 2$  нс), участвующей в митохондриальном дыхании [2]. С помощью установки для регистрации времени жизни флуоресценции анализировались такие параметры как интенсивность флуоресценции НАДН,  $\alpha_1$  и  $\tau_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\tau_2$ .

В исследовании приняли участие 5 условно здоровых добровольцев 22-27 лет. В качестве областей исследования была выбрана правая рука, а именно ладонная поверхность подушечки среднего пальца (область богатая артериоло-венулярными анастомозами - АВА) и дорсальная сторона предплечья (область без АВА). С помощью носимого устройства регистрировалась интенсивность обратно-отражённого излучения на длине волны источника излучения - 365 нм, интенсивность флуоресценции НАДН на

длине волны 460 нм. Исследование включало проведение 3-минутной окклюзионной пробы (ОП) для оценки влияния условий искусственной ишемии на изменение параметров флуоресценции. Во время ОП у всех добровольцев наблюдалось снижение ПМ. Изменения интенсивности флуоресценции НАДН, зарегистрированные носимым устройством и системой время-коррелированного счёта одиночных фотонов, показывали как положительную, так и отрицательную корреляцию параметров флуоресценции с изменениями кровенаполнения биотканей, независимо от области исследования. В области пальцев рук положительная зависимость наблюдалась в 50% случаев, в области предплечий — в 25%. Относительное содержание двух форм НАДН ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) всегда имело отрицательную взаимосвязь с параметрами перфузии, что, вероятно, свидетельствует об изменении содержания обеих форм НАДН во время ОП. Время жизни флуоресценции ( $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ) также коррелировало отрицательно, указывая на возможные переходы между связанными и свободными формами НАДН. В пальцах уменьшалось время жизни короткоживущей компоненты  $\alpha_1$ , тогда как в предплечьях оно увеличивалось. Для долгоживущей компоненты  $\alpha_2$  наблюдалась противоположная динамика.

Таким образом, исследование подчеркивает сложную взаимосвязь между периферическим кровотоком и интенсивностью флуоресценции НАДН, подчеркивая необходимость анализа конкретной области из-за анатомической вариабельности. Динамические сдвиги форм НАДН в условиях ишемии указывают на потенциальную диагностическую значимость неинвазивной оценки метаболического статуса тканей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства Российской Федерации № 075-15-2024-621.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Дунаев, Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. // Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2022, 440 с.
2. Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев, Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях *in vivo*: монография. // Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018, 107 с.

## TIME-RESOLVED FLUORESCENCE SPECTROSCOPY AND PORTABLE MULTIMODAL ANALYZER IN THE ASSESSMENT OF OXIDATIVE METABOLISM IN BIOLOGICAL TISSUES

V.S. Yanushin,<sup>1</sup> E.V. Zharkikh<sup>1</sup>, Yu.I. Loktionova<sup>1</sup>, I.A. Goryunov<sup>1</sup>, V.V. Shupletsov<sup>1</sup>,  
E.V. Potapova<sup>1</sup>, A.V. Dunaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Research and Development Center of Biomedical Photonics, Orel State University  
(302020, Orel, Naugorskoe shosse 29)*

*e-mail: slava.yanushin@bk.ru*

This study investigated blood microcirculation parameters and oxidative metabolism parameters of biological tissue using laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy methods.

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy.