

Федеральное агентство научных организаций  
Институт прикладной физики РАН

# **НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2016**

**XVII научная школа**

*27 февраля - 4 марта 2016 года, Нижний Новгород*

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

Нижний Новгород

2016

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

член-корр. РАН А.М. Сергеев – председатель, ИПФ РАН, Н. Новгород  
к.ф.-м.н. А.В. Слюняев – ученый секретарь, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН К.В. Анохин, НИЦ "Курчатовский институт", Москва  
акад. РАН А.О. Глико, ИФЗ РАН, Москва  
проф. С.Н. Гурбатов, ННГУ, Н. Новгород  
акад. РАН В.П. Дымников, ИВМ РАН, Москва  
акад. РАН В.Е. Захаров, ФИАН, Москва  
акад. РАН Л.М. Зеленый, ИКИ РАН, Москва  
д.ф.-м.н. И.Ю. Костюков, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН Вл.В. Кочаровский, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН Е.А. Кузнецов, ФИАН, Москва  
д.ф.-м.н. В.В. Курин, ИФМ РАН, Н. Новгород  
акад. РАН А.Г. Литвак, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН Е.А. Мареев, ИПФ РАН, Н. Новгород  
проф. В.И. Некоркин, ИПФ РАН, Н. Новгород  
акад. РАН Р.И. Нигматулин, ИО РАН, Москва  
акад. РАН О.В. Руденко, МГУ, Москва  
акад. РАН В.И. Таланов, ИПФ РАН, Н. Новгород  
д.ф.-м.н. Ю.И. Троицкая, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН Д.И. Трубецков, СГУ, Саратов  
д.ф.-м.н. А.М. Фейгин, ИПФ РАН, Н. Новгород  
член-корр. РАН Е.А. Хазанов, ИПФ РАН, Н. Новгород  
проф. Е.В. Чупрунов, ННГУ, Н. Новгород

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

- Федеральное агентство научных организаций
- Министерство образования и науки Российской Федерации (мегагрант № 14.Z50.31.0007 «Лабораторные и численные исследования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах», ведущий ученый Фукс Жулиан Соуля; № 14.Z50.31.0033 «Новые подходы к исследованиям климатических процессов и прогнозы экстремальных явлений», ведущий ученый Куртц Юрген Герберт Густав)
- Российский научный фонд (проект № 15-12-30021)
- Российский фонд фундаментальных исследований (проект № 16-02-20129)
- Закрытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «ГИКОМ»

В сборник вошли работы молодых ученых, аспирантов и студентов, представленные на XVII научной школе «Нелинейные волны – 2016», проводившейся Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» в Нижнем Новгороде 27 февраля – 4 марта 2016 года. Целями школы являлось обсуждение мировых достижений последних лет в области фундаментальной нелинейной физики и ее приложений, координация усилий российских ученых в наиболее актуальных направлениях физики нелинейных волновых процессов и ориентация научной молодежи на активное участие в исследованиях, ведущихся в научных центрах нашей страны.

Тематика школы включала следующие направления исследований:

- современные проблемы теории нелинейных колебаний и волн;
- нелинейные процессы в геофизике;
- астрофизика и космология;
- физика экстремальных световых полей и мощных лазеров;
- нелинейные процессы в нейросистемах;
- квантовые системы и конденсированные среды.

Всего в работе школы приняли участие около 150 слушателей в возрастном диапазоне 19–33 лет, которые сделали 38 устных выступлений и 105 стендовых докладов, кратко представленные в настоящем сборнике. Молодые исследователи представляли Нижний Новгород (ВШЭ, ИПФ РАН, ИФМ РАН, ННГУ), Москву (ИКИ РАН, ИОФ РАН, ИФА РАН, ИФТТ РАН, МГУ, МИФИ, МФТИ, МЭИ, НИЦ "Курчатовский институт", РУДН, ФИАН), Саратов (СГТУ, СГУ, СФ ИРЭ РАН), Пермь (ИМСС УрО РАН, ПГНИУ), Самару (СГАУ, СФ ФИАН), Калининград, Новосибирск, а также из Владивосток, Санкт-Петербург, Владимир, Екатеринбург, Ростова-на-Дону, Ярославль.

Слушатели школы имели возможность прослушать лекции известных российских ученых, а также приглашенных зарубежных ученых:

- чл.-корр. РАН Анохин Константин Владимирович (НИЦ "Курчатовский институт", г. Москва)  
*«Нейроны-хабы и кротовые норы в когнитивных сетях мозга»*
- д.ф.-м.н. Блинников Сергей Иванович (Институт Теоретической и Экспериментальной Физики им. А.И. Алиханова; Всероссийский НИИ автоматизации им. Н.Л. Духова; Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга МГУ, г. Москва)  
*«Радиативные ударные волны и их роль в объяснении загадки Сверхмощных сверхновых»*
- д.ф.-м.н. Ванаг Владимир Карлович (Химико-биологический институт Балтийского федерального университета им. И. Канта, г. Калининград)  
*«Связанные химические осцилляторы. Динамические режимы при диффузионной, импульсной, ингибиторной и активаторной связях и разных типах связности»*
- д.ф.-м.н. Голуб Леонид Евгеньевич (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. С.-Петербург)  
*«Фотогальванические эффекты в полупроводниках и топологических изоляторах»*
- проф., д.ф.-м.н. Гурбатов Сергей Николаевич (Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Н. Новгород)  
*«Акустическая турбулентность. Глобальная и локальная автомодельность»*
- д.ф.-м.н. Гурия Георгий Теодорович (Гематологический научный центр Министерства Здравоохранения РФ, г. Москва)

- к.ф.-м.н. Деришев Евгений Владимирович (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Релятивистские ударные волны: структура фронта и излучение»*
- д.ф.-м.н. Елисеев Алексей Викторович (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН)  
*«Линейные и нелинейные модели бароклинных волн в атмосфере»*
- д.ф.-м.н. Иудин Дмитрий Игоревич (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Фрактальные сети с нестационарной архитектурой»*
- к.ф.-м.н. Ким Аркадий Валентинович (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Электрон-позитронная плазма в экстремальных световых полях»*
- чл.-корр. РАН Кузнецов Евгений Александрович (Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Москва)  
*«Опрокидывание вихревых линий как предтеча развитой колмогоровской турбулентности»*
- д.ф.-м.н. Корнев Андрей Алексеевич (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва)  
*«Численное решение задач асимптотической стабилизации»*
- проф., д.ф.-м.н. Короновский Алексей Александрович (Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов)  
*«Нелинейные феномены в когнитивной деятельности человека, связанной с визуальным восприятием»*
- д.ф.-м.н. Мельников Александр Сергеевич (Институт физики микроструктур РАН, г. Н. Новгород)  
*«Теория вихревого состояния в сверхпроводящих материалах и структурах»*
- чл.-корр. РАН Мохов Игорь Иванович (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва)  
*«Атмосферные блокинги и связанные с ними климатические аномалии»*
- проф., д.ф.-м.н. Некоркин Владимир Исаакович (Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород)  
*«Сложные динамические сети»*
- акад. РАН Нигматулин Роберт Искандерович (Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва)  
*«Фокусировка энергии при кавитации. Термоядерные эффекты в углеводородных жидкостях»*
- проф., д.ф.-м.н. Пелиновский Ефим Наумович (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Солитонный газ: взаимодействия, турбулентность и волны-убийцы»*
- проф., д.ф.-м.н. Попель Сергей Игоревич (Институт космических исследований РАН, г. Москва)  
*«Нелинейные волновые явления в плазменно-пылевых системах»*

- д.ф.-м.н. Попруженко Сергей Васильевич (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва)  
*«Метод мнимого времени в физике сильных лазерных полей»*
- проф., д.ф.-м.н. Постнов Константин Александрович (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)  
*«Обнаружение гравитационных волн»*
- проф. Пухов Александр Михайлович (Heinrich-Heine-Universitaet Duesseldorf, Германия)  
*«Взаимодействие лазерного излучения с плотной плазмой: от наноструктур до КЭД-режима»*
- д.ф.-м.н. Семенов Владимир Анатольевич (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва)  
*«Аномальная погода в условиях меняющегося климата»*
- акад. РАН Старобинский Алексей Александрович (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Москва)  
*«Исследование истории нашей Вселенной до Большого Взрыва»*
- чл.-корр. РАН Трубецков Дмитрий Иванович (Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва)  
*«Некоторые исторические аспекты и частные задачи математического моделирования живых систем»*
- д.ф.-м.н. Фейгин Александр Маркович (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Прогностические эмпирические модели сложных систем: метод построения и приложение к исследованию климата»*
- чл.-корр. Хазанов Ефим Аркадьевич (Институт прикладной физики РАН, г. Н. Новгород)  
*«Обнаружение гравитационных волн»*
- проф., д.ф.-м.н. Храмов Александр Евгеньевич (Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов)  
*«Гиперсинхронизация таламо-кортикальной нейронной сети головного мозга и эпилепсия: анализ нелинейной динамики, предсказание и подавление эпилептических разрядов»*
- д.ф.-м.н. Яковлев Николай Геннадьевич (Институт вычислительной математики РАН, г. Москва)  
*«Северный Ледовитый океан: особенности гидродинамики, динамики морского льда, и проблемы численного моделирования крупномасштабного состояния»*
- д.ф.-м.н. Янчук Сергей Владимирович (Technische Universität Berlin, Германия)  
*«Свойства уравнений с запаздыванием и примеры их применения в моделировании оптоэлектронных и нейронных систем»*
- проф., д.ф.-м.н. Яшин Владимир Евгеньевич (Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург)  
*«Нелинейные процессы в мощных фемтосекундных лазерных системах»*
- Prof. Juergen Kurths (Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany)  
*«Climate Networks»*

- Prof. Gérard Mourou (Ecole Polytechnique, France)  
«*Routes to Zeptosecond Physics*»

Информация о прошедшей школе, включая рабочую программу, сборник тезисов молодых ученых, список лекций и файлы самих презентаций, размещена на сайте школы <http://www.nonlinearwaves.sci-nnov.ru/>. Там же можно найти фото- и видеографические материалы, документирующие работу школы. Лекции, прочитанные на XVII научной школе «Нелинейные волны – 2016», по традиции будут изданы отдельной книгой.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАКТОВ ПЛОТНОСТИ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ</b>	
Айдакина Н.А., Гущин М.Е., Зудин И.Ю., Костров А.В.....	28
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ПРОБОЕ ГАЗОВ ДВУХЦВЕТНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ: РЕЗОНАНСНЫЕ, ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ И МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ</b>	
Александров Л.Н., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю. ....	29
<b>ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ НА ДИНАМИКУ ЦЕПОЧКИ ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ</b>	
Алешин К.Н., Матросов В.В. ....	30
<b>СЛОЖНАЯ ДИНАМИКА И ГИПЕРХАОС В ЦЕПОЧКЕ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ</b>	
Андреев А.В., Москаленко О.И., Баланов А.Г., Короновский А.А., Храмов А.Е. ....	31
<b>ДИНАМИКА ДВУХМОДОВОГО ГЕНЕРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ВКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА</b>	
Астахов О.В., Астахов С.В., Астахов В.В. ....	33
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ</b>	
Афиногенов К.В., Анисимов С.В., Галиченко С.В. ....	34
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННОГО РИТМА В РЕКУРРЕНТНЫХ СЕТЯХ СПАЙКОВЫХ НЕЙРОНОВ С ПЛАСТИЧНЫМИ СВЯЗЯМИ</b>	
Бажанова М.В., Есир П.М., Симонов А.Ю. ....	35
<b>ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ФОТОНОВ НА РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛЕ СТОЯЧЕЙ ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ВОЛНЫ</b>	
Башинов А.В., Ким А.В., Сергеев А.М. ....	36
<b>НЕКОРРЕКТНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО ДАННЫМ СКАНИРУЮЩЕГО СПЕКТРОРАДИОМЕТРА НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ</b>	
Беликович М.В., Мухин Д.Н., Куликов М.Ю., Фейгин А.М. ....	37
<b>О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА СИГНАЛ/ШУМ НА ПРИМЕРЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН</b>	
Белов С.Ю., Белова И.Н.....	38
<b>ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КАЛЬЦИЯ В МОДЕЛИ АСТРОЦИТА</b>	
Болдырева Н.В. ....	39
<b>МАРГИНАЛЬНОЕ ХИМЕРНОЕ СОСТОЯНИЕ В СИНХРОННЫХ ИМПУЛЬСНО-СВЯЗАННЫХ НЕЙРОНОПОДОБНЫХ СЕТЯХ</b>	
Болотов М.И., Осипов Г.В., Пиковский А.С. ....	40
<b>МАРГИНАЛЬНОЕ ХИМЕРНОЕ СОСТОЯНИЕ В СИНХРОННЫХ ИМПУЛЬСНО-СВЯЗАННЫХ НЕЙРОНОПОДОБНЫХ СЕТЯХ</b>	
Болотов М.И., Осипов Г.В., Пиковский А.С. ....	40
<b>СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗОВАННОСТИ ПО НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕАЛИЗАЦИЯМ</b>	

<b>БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ</b>	
Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. ....	41
<b>НИЖЕГОРОДСКАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННАЯ СИСТЕМА</b>	
Булатов А.А., Кутерин Ф.А., Шлюгаев Ю.В. ....	42
<b>ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСКОРЕНИЮ ПРОТОНОВ НА СУБПЕТАВАТТНОМ ЛАЗЕРНОМ КОМПЛЕКСЕ PEARL</b>	
Бурдонов К.Ф., Соловьев А.А., Стародубцев М.В. ....	43
<b>ОЦЕНКИ СПИРАЛЬНОСТИ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ</b>	
Вазаева Н.В., Чхетиани О.Г., Максименков Л.О., Курганский М.В. ....	44
<b>НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖИМЫ ПЛАЗМЕННОГО ЦИКЛОТРОННОГО МАЗЕРА В НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ</b>	
Викторов М.Е., Голубев С.В., Господчиков Е.Д., Мансфельд Д.А., Шалашов А.Г. ....	45
<b>РАСЧЁТ И ИЗМЕРЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИСКОВЫХ ЛАЗЕРАХ</b>	
Волков М.Р. ....	46
<b>ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОД ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ</b>	
Гаврилов А.С., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М. ....	47
<b>ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЕССТОЛКОВИТЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛНАХ В АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ</b>	
Гарасёв М.А., Деришев Е.В. ....	48
<b>РОЛЬ СУПЕРРЕГУЛЯРНЫХ БРИЗЕРОВ В РАЗВИТИИ МОДУЛЯЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ</b>	
Гелаш А.А. ....	50
<b>НАГРУЗКА ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛОСТИ ЭЛЕКТРОННЫМ СГУСТКОМ В ГЛУБОКОМ ПЛАЗМЕННОМ КАНАЛЕ</b>	
Голованов А.А., Костюков И. Ю., Томас Й., Пухов А.М. ....	51
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО СОЛИТОНА В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ</b>	
Горбунова А.О., Завершинский И.П. ....	52
<b>ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ЛАТЕРАЛЬНО СВЯЗАННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ СТРУКТУР</b>	
Грачев А.А., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шешукова С.Е., Шараевский Ю.П. ....	53
<b>МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИНАМО В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ</b>	
Дементьева С.О. ....	54
<b>ПРОЦЕСС МАССОПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В СЛУЧАЕ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА</b>	
Долгих Т.Ф., Жуков М.Ю., Ширяева Е.В. ....	55
<b>ГЕНЕРАЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВЧ ИМПУЛЬСОВ СВЕРХСВЕТОВОГО ГЕНЕРАТОРА</b>	
Долматов Т.В., Гарнов С.В., Брендель В.М., Букин В.В. ....	56
<b>ИСТОЧНИК АКТИВНОГО АТОМАРНОГО АЗОТА НА ОСНОВЕ ЭЦР РАЗРЯДА, ПОДДЕРЖИВАЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЕМ ГИРОТРОНОВ</b>	
Дубинов И.Д. ....	57

<b>О ВЛИЯНИИ ТОЛЩИНЫ ТЕРМОКЛИНА НА ДИНАМИКУ ТУРБУЛЕНТНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ</b> Ежова Е.В. ....	58
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК В ГАЗАХ ЛАЗЕРНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА: ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИМПУЛЬСА НА ФОРМУ СПЕКТРА ГАРМОНИК</b> Емелина А.С., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю. ....	59
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЦВЕТНЫХ СКРЕЩЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ</b> Емелина А.С., Емелин М.Ю., Стрелков В.В. ....	60
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АНСАМБЛЕЙ КУРАМОТО С ПОМОЩЬЮ АКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ</b> Дмитриев А.С., Емельянов Р.Ю., Чибисов В.В. ....	61
<b>ДИНАМИКА ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ СОСТОЯНИЯ В АНСАМБЛЯХ БИСТАБИЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ШУМА</b> Есир П.М., Симонов А.Ю., Гордлеева С.Ю. ....	62
<b>QED КАСКАДЫ И ДИНАМИКА <math>e^- e^+</math> ПЛАЗМЫ В СХОДЯЩЕЙСЯ ДИПОЛЬНОЙ ВОЛНЕ МУЛЬТИПЕТАВАТТНОГО УРОВНЯ</b> Ефименко Е.С., Башинов А.В., Гоносков А.А., Муравьев А.А., Ким А.В., Сергеев А.М. ....	63
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕННЫХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СРЕДАХ</b> Завершинский Д.И., Молевич Н.Е., Рящиков Д.С. ....	64
<b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ</b> Зудин И.Ю., Айдакина Н.А., Гущин М.Е., Коробков С.В. ....	65
<b>ГЕНЕРАЦИЯ СВЕРХМОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1.25 МКМ</b> Зуев А.С., Яковлев И.В., Степанов А.Н., Шайкин А.А. ....	66
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРОНТА ВЫТЕСНЕНИЯ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИЙ В РАМКАХ МОДЕЛИ БАКЛЕЯ-ЛЕВЕРЕТТА</b> Иванцов А.О., Любимова Т.П. ....	67
<b>О МЕТОДАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ДНЕ ОКЕАНА</b> Иващенко Е.Н. ....	68
<b>КОГЕРЕНТНОЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С НЕГАУССОВЫМ СПЕКТРОМ</b> Иляков И.Е., Китаева Г.Х., Шишкин Б.В., Ахмеджанов Р.А. ....	70
<b>ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И РЕВЕРС В НЕГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛИ ВОЛЧКА СУСЛОВА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ</b> Казаков А.О. ....	71
<b>ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПУЗЫРЬКА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ЛИНИИ КОНТАКТА</b> Алабужев А.А., Кайсина М.И. ....	72

<b>НЕЛИНЕЙНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИНХРОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЭЛЕКТРОКОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ</b>	
Картавых Н.Н.....	73
<b>НОВОЕ КОМПАКТНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
Качулин Д.И.....	74
<b>ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СЖАТОЙ КАПЛИ В НЕОДНОРОДНОМ ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ</b>	
Алабужев А.А., Кашина М.А. ....	75
<b>ПЕРЕХОДНАЯ ДИНАМИКА В НЕАВТОНОМНОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ ВОЗБУДИМОСТИ</b>	
Кириллов С.Ю. ....	76
<b>ПИЛООБРАЗНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СРЕДАХ С НАСЫЩЕНИЕМ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ПОТЕРЬ</b>	
Кияшко С.Б., Назаров В.Е. ....	77
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИММОБИЛИЗАЦИИ ПРИМЕСИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СЛУЧАЙНЫХ БЛУЖДАНИЙ</b>	
Клименко Л.С., Марышев Б.С.....	78
<b>МУЛЬТИСТАБИЛЬНОЕ «ДРОЖАНИЕ» В АВТОГЕНЕРАТОРАХ С ИМПУЛЬСНОЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ</b>	
Клиньшов В.В.....	79
<b>ЛАЗЕРНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОННЫХ ПУЧКОВ КАК УНИКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ</b>	
Коржиманов А.В. ....	80
<b>РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МЕТОДА ПРИЧИННОСТИ ПО ГРЕЙНДЖЕРУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛИ ОТОБРАЖЕНИЙ ПОСЛЕДОВАНИЯ В ВИДЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ И КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ</b>	
Корнилов М.В., Сысоев И.В. ....	81
<b>НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОМОДОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЛАЗЕРАХ С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ</b>	
Коробейникова А.П., Бурдонов К.Ф., Шайкин А.А., Хазанов Е.А. ....	82
<b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ БУРСИАНОВСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЭЛЕКТРОННОМ ПОТОКЕ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ CST PARTICLE STUDIO</b>	
Короновский А.А., Бадарин А.А., Куркин С.А., Храмов А.Е.....	83
<b>ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА В АНСАМБЛЕ ВОЗБУЖДАЮЩЕ СВЯЗАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	
Коротков А.Г. ....	84
<b>АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОГАТЫХ ВОДОРОД-ВОЗДУШНЫХ ЛАМИНАРНЫХ ПЛАМЁН В МОДЕЛИ С ДЕТАЛЬНЫМ КИНЕТИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМОМ</b>	
Корсакова А.И., Губернов В.В.....	85

<b>КОМПРЕССИЯ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПОСЛЕ SRM В ПЛАСТИКЕ (ПОЛИЭТИЛЕНТЕРАФТАЛАТЕ)</b>	
Кочетков А.А., Гинзбург В.Н., Зуев А.С. ....	86
<b>СПОНТАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В МОДЕЛИ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА</b>	
Кренц А.А., Анчиков Д.А., Пахомов А.В. ....	87
<b>РЕНТГЕНОВСКИЕ ПЕТЛИ В КОРОНЕ КРАСНОГО КАРЛИКА AD LEO</b>	
Кронштадтов П.В. ....	88
<b>МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С АТТРАКТОРОМ ТИПА СМЕЙЛА-ВИЛЬЯМСА</b>	
Круглов В.П. ....	89
<b>ВЛИЯНИЕ СКРЫТОГО ТРЕТЬЕГО ПРОЦЕССА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ОСЦИЛЛЯТОРАМИ</b>	
Крылов С.Н., Смирнов Д.А., Безручко Б.П. ....	90
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ, СТАЦИОНАРНЫХ И ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ, СТРУКТУР В НЕЛИНЕЙНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМАХ</b>	
Кузнецов М.Б., Полежаев А.А. ....	91
<b>РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И АРХИТЕКТУРЫ СВЯЗЕЙ В АНСАМБЛЯХ СИСТЕМ С ЗАДЕРЖКОЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ</b>	
Кульминский Д.Д., Сысоев И.В., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д. ...	92
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕЖАЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ СЕТИ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ КУРАМОТО ПРИ РАЗРУШЕНИИ СИНХРОННОГО РЕЖИМА</b>	
Короновский А.А., Куровская М.К., Храмов А.Е. ....	93
<b>ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ПОДВОДНЫХ ЗВУКОВЫХ КАНАЛАХ</b>	
Лабутина М.С. ....	94
<b>РАМАНОВСКАЯ САМОКОМПРЕССИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПЛАЗМЕ</b>	
Левин Д.С. ....	95
<b>ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГРЕССИИ МЕЖДУ МЕЖПЛАНЕТНЫМ И МАГНИТОСФЕРНЫМ ПОЛЕМ ВУ ОТ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА БАЗЫ ДАННЫХ</b>	
Лукин А.С., Петрукович А.А. ....	96
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ</b>	
Малыхин А.Ю., Григоренко Е.Е., Малова Х.В. ....	97
<b>ВЛИЯНИЕ ШУМОВ НАКАЧКИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ</b>	
Мартынов В.О. ....	99
<b>ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НАПОРНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СМЕСИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С УЧЕТОМ ЗАКУПОРКИ</b>	
Марышев Б.С. ....	100

<b>СИНХРОНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ «МАЛЫЙ МИР» БЫСТРО-МЕДЛЕННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ В ТЕРМИНАХ БАССЕЙНОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ</b>	
Масленников О.В. ....	101
<b>НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКАХ</b>	
Матвеев О.В., Морозова М.А. ....	102
<b>ОЦЕНКА СТАРШЕГО ЛЯПУНОВСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПО ЭЭГ КРЫС – МОДЕЛЕЙ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ</b>	
Медведева Т.М., Люттйоханн А., Луйтелаар Ж., Сысоев И.В. ....	103
<b>УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОРОТКОИМПУЛЬСНОГО ДВУХЦВЕТНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИАПАЗОН</b>	
Мешков О.В., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю. ....	104
<b>ПРЕИМУЩЕСТВА МАССИВОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОЛИНЗ НЕСФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНО-ЧАСТИЧНОЙ ЛИТОГРАФИИ</b>	
Митин Н.Н., Пикулин А.В. ....	105
<b>СРАВНЕНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ</b>	
Митрофанов А.А., Сафин А.Р., Удалов Н.Н. ....	106
<b>УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОПОДОБНЫХ КОЛЕБАНИЙ</b>	
Большаков Д.И., Мищенко М.А. ....	107
<b>ГЕНЕРАЦИЯ ГИГАНТСКИХ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ИОНИЗАЦИИ ВАКУУМА В СВЕРХСИЛЬНЫХ ПОЛЯХ: ГЕНЕРИРУЕМОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И РЕЛАКСАЦИЯ</b>	
Муравьев А.А., Башинов А.В., Ефименко Е.С., Ким А.В., Сергеев А.М. ....	108
<b>НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ СОСТАВА Ge-S-I</b>	
Мурзанев А.А., Корытин А.И., Яшунин Д.А., Мальков Ю.А., Мочалов Л.А., Степанов А.Н. ....	109
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ПО ИСКАЖЕНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА И КОНТРАСТУ ИЗОБРАЖЕНИЯ АМПЛИТУДНОГО ОБЪЕКТА</b>	
Мурзанев А.А., Мартынов В.О. ....	110
<b>ДИСКОВЫЙ ЛАЗЕР С КОМПОЗИТНЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ</b>	
Мухин И.Б. ....	111
<b>ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ ПРИ РАСШИРЕНИИ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В РАЗРЕЖЕННУЮ ИОНИЗОВАННУЮ СРЕДУ</b>	
Нечаев А.А., Гарасев М.А., Кочаровский Вл.В. ....	112
<b>ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИ ДЕТЕКТИРУЕМОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА NV-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ И КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ</b>	
Ахмеджанов Р.А., Гушин Л.А., Зеленский И.В., Низов В.А., Низов Н.А., Собгайда Д.А. ....	113

<b>ДВИЖЕНИЯ ВОДНОГО СЛОЯ В ВОЛНАХ ЦУНАМИ ПО ДАННЫМ ГУСТОЙ СЕТИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ УРОВНЯ МОРЯ</b>	
Нурисламова Г.Н., Носов М.А. ....	114
<b>ЭЛЕМЕНТ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПЛАНАРНОЙ ТОПОЛОГИИ МАГНОННЫХ СЕТЕЙ: ДВУМЕРНЫЙ МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ</b>	
Одинцов С.А., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Гришин С.В., Шешукова С.Е., Шараевский Ю.П. ....	115
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МЕТАЛЛАХ ПО ОПТИКО-ТЕРАГЕРЦОВОЙ КОНВЕРСИИ НА ПОВЕРХНОСТИ</b>	
Оладышкин И.В. ....	116
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ. ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАТНОГО КАСКАДА ЭНЕРГИИ</b>	
Орлов А.В. ....	117
<b>СПОНТАННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОВОЛНОВЫХ СТРУКТУР В ПОПЕРЕЧНОМ ПРОФИЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ЛАЗЕРОВ</b>	
Пахомов А.В., Кренц А.А., Анчиков Д.А. ....	118
<b>ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УСТАНОВЛЕНИЯ РЕЖИМА ОБОБЩЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В АНСАМБЛЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ</b>	
Короновский А.А., Москаленко О.И., Пивоваров А.А. ....	119
<b>ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ДВУХ ИМПУЛЬСНО СВЯЗАННЫХ РАЗНОЧАСТОТНЫХ БЖ-ОСЦИЛЛЯТОРОВ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ ВИДАХ СВЯЗИ: ИНГИБИТОРНАЯ, АКТИВАТОРНАЯ И ОБРАТНАЯ ИНГИБИТОРНАЯ</b>	
Проскуркин И.С. ....	121
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАКЕТОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ВОДЕ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ</b>	
Разумов Д.Д., Салин М.Б., Стуленков А.В. ....	122
<b>УПРАВЛЕНИЕ СПИНОВОЙ ВОЛНОЙ В НЕРЕГУЛЯРНОМ МАГНИТНОМ ВОЛНОВОДЕ</b>	
Романенко Д.В., Садовников А.В., Davies С.С., Гришин С.В., Шараевский Ю.П., Никитов С.А., Kruglyak V.V. ....	123
<b>КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСТАТОЧНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ПРИ ИОНИЗАЦИИ ГАЗА УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ</b>	
Введенский Н.В., Романов А.А., Силаев А.А. ....	124
<b>ТРЕХВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЬФВЕНОВСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕННЫХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СРЕДАХ</b>	
Завершинский Д.И., Молевич Н.Е., Рящиков Д.С., Белов С.А. ....	125
<b>ПЛАНАРНАЯ ТОПОЛОГИЯ МАГНОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ЛАТЕРАЛЬНО СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ МИКРОВОЛНОВОДОВ</b>	
Садовников А.В., Бегинин Е. Н., Грачев А.А., Шараевский Ю.П. ....	126
<b>ДЛИННОВОЛНОВАЯ КОНВЕКЦИЯ МАРАНГОНИ В СИСТЕМЕ «ЖИДКОСТЬ-ГАЗ» С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА СРЕД ПРИ ПОДОГРЕВЕ СНИЗУ</b>	
Самойлова А.Е. ....	127

<b>ДИНАМИКА СЕТИ ИЗ ЧЕТЫРЁХ ХИМИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ, ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ ПО АКТИВАТОРУ ИМПУЛЬСНОЙ СВЯЗЬЮ С ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКОЙ</b>	
Сафронов Д.А. ....	128
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ СТРУКТУР, ВОЗНИКАЮЩИХ В РАДИАЦИОННО ОСТЫВАЮЩИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ</b>	
Сафронов А.А. ....	129
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ АСТРОФИЗИКИ НА БАЗЕ ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА PEARL</b>	
Сафронова М.И. ....	130
<b>ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЬ-НИНЬО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЗНАЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ</b>	
Селезнев А.Ф. ....	131
<b>ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ОКЕАНЕ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ВОЛНАМИ РЭЛЕЯ И ЛЯВА</b>	
Семенцов К.А., Носов М.А., Колесов С.В. ....	132
<b>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СИНХРОТРОННОГО <math>\gamma</math>-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА НА ПЛОСКУЮ МИШЕНЬ</b>	
Серебряков Д.А., Неруш Е.Н. ....	133
<b>ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРЯМОГО КАСКАДА ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ</b>	
Серещенко Е.В. ....	134
<b>АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ ФАЗ В СЛУЧАЕ СКРЫТОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ</b>	
Сидак Е.В., Смирнов Д.А., Безручко Б.П. ....	135
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЛАЗМЕННОЙ АКТИВАЦИИ АЗОТА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РОСТА НИТРИДА ИНДИЯ МЕТОДОМ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКОЙ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ</b>	
Синцов С.В. ....	136
<b>УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМ ИМПУЛЬСОМ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ НАЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ</b>	
Сладков А.Д., Бурдунов К.Ф., Еремеев А.А., Коржиманов А.В., Сафронова М.И., Соловьев А.А., Стародубцев М.В. ....	137
<b>ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЧЕТЫРЁХ ПОЧТИ ОДИНАКОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ, СВЯЗАННЫХ КАЖДЫЙ С КАЖДЫМ ИМПУЛЬСНЫМИ ИНГИБИТОРНЫМИ СВЯЗЯМИ С ЗАДЕРЖКОЙ</b>	
Смелов П.С. ....	138
<b>ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ФАРАДЕЕВСКИХ УСТРОЙСТВАХ И НОВЫЕ МАГНИТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
Снетков И.Л. ....	139

<b>БИФУРКАЦИИ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ СВЯЗАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ</b>	
Селезнев Е.П., Станкевич Н.В., Кузнецов А.П. ....	140
<b>МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН В МАГНИТНОМ ТОНКОПЛЕНОЧНОМ ВОЛНОВОДЕ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЗЯЛОШИНСКОГО — МОРИЯ</b>	
Стецюр-Мова Г.И., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шараевский Ю.П. ....	141
<b>ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ, ВРАЩАЮЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b>	
Порфирьев Д.П., Сугак С.С., Завершинский И.П. ....	142
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СТУПЕНЧАТОГО ЛИДЕРА МОЛНИИ</b>	
Сысоев А.А. ....	143
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ КРЫС ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ</b>	
Сысоев И.В., Сысоева М.В., Кузнецова Г.Д. ....	144
<b>АНАЛИЗ СВЯЗАННОСТИ ОБЛАСТЕЙ МОЗГА МЕТОДОМ АДАПТИРОВАННОЙ ГРЭЙНДЖЕРОВСКОЙ ПРИЧИННОСТИ ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ</b>	
Сысоева М.В. ....	145
<b>ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН ОСТРОСФОКУСИРОВАННЫМИ УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ</b>	
Сычугин С.А., Бакунов М.И. ....	146
<b>НЕЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ КАНОНИЧЕСКОГО И БОЛЬШОГО КАНОНИЧЕСКОГО АНСАМБЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ СТАТИСТИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКОГО КОНДЕНСАТА В КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ПАРАМЕТРОВ</b>	
Тарасов С.В., Кочаровский Вл.В., Кочаровский В.В. ....	147
<b>САМОЛОКАЛИЗАЦИЯ И БРИЗЕРЫ В РЕШЕТКАХ КЛЕЙНА-ГОРДОНА И ФРЕЛИХА-СПЕНСЕРА-ВЕЙНА С БЕСПОРЯДКОМ</b>	
Тихомиров А.А., Лаптева Т.В., Иванченко М.В., Канаков О.И. ....	148
<b>ВОЛНОВАЯ ЭКСПРЕССИЯ БЕЛКОВ C-FOS И ARC В НЕЙРОННЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ГИППОКАМПА В ОТВЕТ НА ОДИНОЧНЫЙ ЭПИЗОД НОВОГО ОПЫТА</b>	
Торопова К.А., Ивашкина О.И., Рощина М.А., Анохин К.В. ....	149
<b>ДИАГНОСТИКА ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ МЕТОДОМ ЗОНДИРУЮЩЕЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ</b>	
Чижов П.А., Ушаков А.А., Букин В.В., Гарнов С.В. ....	150
<b>ПЕРЕХОДНОЙ ХАОС В СИСТЕМЕ С ПАУТИНОЙ АРНОЛЬДА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ</b>	
Фельк Е.В., Кузнецов А.П., Савин А.В. ....	151
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ ВОЛНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ</b>	
Филатов С.В. ....	152

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ синхронизации в многослойной адаптивной сети осцилляторов Курамото</b>	
Харченко А.А., Макаров В.В. ....	153
<b>ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАРМОНИК ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЧАСТИ ПЛАТО</b>	
Хохлова М.А. ....	154
<b>НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖИМЫ ВЫМЫВАНИЯ ПРИМЕСИ ИЗ НАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ НАД НЕЙ</b>	
Циберкин К.Б. ....	155
<b>ВОЗБУЖДЕНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЛН И УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С ПЛАЗМОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ</b>	
Цымбалов И.Н., Шуляпов С.А., Иванов К.А., Крестовских Д.А. ....	156
<b>ОБРАЗОВАНИЕ АТТРАКТОРОВ В СИСТЕМЕ ФАЗОВЫХ УРАВНЕНИЙ С СИММЕТРИЕЙ ПРИ ЕЕ НАРУШЕНИИ</b>	
Чекмарева А.Ж., Савин А.В., Кузнецов А.П. ....	157
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРАХ <math>Bi_2Te_3</math> И <math>Bi_2Se_3</math></b>	
Чижов П.А., Образцов П.А., Канда Н., Кониши К., Гоноками М., Гарнов С.В., Терещенко О.Е. ....	158
<b>ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРА НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ ЗА СЧЕТ ИНЖЕКЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА</b>	
Шайкин И.А., Кузьмин А.А., Бурдонов К.Ф., Шайкин А.А., Хазанов Е.А. ....	159
<b>ПЕРЕХОД К ХАОСУ В ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА</b>	
Шакиров А.Р., Чертовских Р.А., Кренц А.А., Анчиков Д.А. ....	160
<b>ПОДАВЛЕНИЕ ХАОТИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТОВ С НАГРУЗКОЙ</b>	
Шампоров В.А., Панкратов А.Л., Панкратова Е.В., Шитов С.В. ....	161
<b>УПРАВЛЕНИЕ ЗАПРЕЩЕННЫМИ ЗОНАМИ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ МАГНОННЫХ КРИСТАЛЛОВ</b>	
Морозова М.А., Шараевская А.Ю., Бегинин Е.Н. ....	162
<b>ВЛИЯНИЕ ШИРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ПЛАЗМЕ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ</b>	
Шевелёв М.М. ....	163
<b>ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ПОТОКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОДУЛЯЦИИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ</b>	
Шомина О.В., Ермаков С.А., Капустин И.А., Лазарева Т. Н. ....	164
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШИРОКОПОСОЛНОГО ЧИРПИРОВАНОГО ИМПУЛЬСА В ПИКОСЕКУНДНОМ КАНАЛЕ СВЕРХМОЩНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ</b>	
Шугуров А.И., Андриянов А.В., Сергеев А.М. ....	165

<b>ДИНАМИКА СОЛИТОННЫХ ПОЛЕЙ В РАМКАХ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА – ДЕ ВРИЗА</b>	
Шургалина Е.Г.....	166
<b>НЕЛИНЕЙНЫЙ ЭФФЕКТ РАССЕЯНИЯ ЧАСТИЦ С БОЛЬШИМ МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b>	
Шустов П.И.”.....	167
<b>ТИПИЧНЫЕ ПРОФИЛИ ВОЛН-УБИЙЦ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ</b>	
Юдин А.В.....	168
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ КРИСТАЛЛОВ CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> И SrF<sub>2</sub> ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ</b>	
Яковлев А.И.....	169
<b>LABORATORY MODELING OF DUCTS DYNAMICS IN MAGNETIZED PLASMA</b>	
Aidakina N.A., Gushchin M.E., Zudin I.Y., Kostrov A.V.....	170
<b>TERAHERTZ RADIATION GENERATION IN THE OPTICAL BREAKDOWN OF GASES WITH TWO-COLOR LASER FIELD: RESONANCE, POLARIZATION AND MACROSCOPIC EFFECTS</b>	
Alexandrov L.N., Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu.....	170
<b>INFLUENCE OF INERTIA ON DYNAMICS OF UNIDIRECTIONALLY COUPLED PHASE SYNCHRONIZATION SYSTEMS</b>	
Aleshin K.N., Matrosov V.V. ....	170
<b>COMPLEX DYNAMICS OF RYDBERG ATOM CHAIN</b>	
Andreev A.V., Moskalenko O.I., Balanov A.G., Hramov A.E. ....	171
<b>INVESTIGATION SPATIOTEMPORAL DYNAMICS DEPENDENCE ON TEMPERATURE IN WIDE APERTURE VCSEL</b>	
Anchikov D.A., Krents A.A., Pakhomov A.V.....	171
<b>THE DYNAMICS OF A TWO-MODE OSCILLATOR DEPENDING ON THE METHOD OF THE ADDITIONAL CIRCUIT CONNECTION</b>	
Astakhov O.V., Astakhov S.V., Astakhov V.V. ....	171
<b>LOWER ATMOSPHERE ELECTRICITY OBSERVATIONS AND MODELLING RESULTS</b>	
Aphinogenov K.V., Anisimov S.V., Galichenko S.V.....	172
<b>FORMING A POPULATION-BASED RHYTHM IN RECURRENT NETWORKS OF SPIKING NEURONS WITH PLASTIC CONNECTIONS</b>	
Bazhanova M.V., Esir P.M., Simonov A.Y.....	172
<b>INFLUENCE OF PHOTON EMISSION ON RELATIVISTIC ELECTRON MOTION IN THE FIELD OF PLANE LINEARLY POLARIZED STANDING WAVE</b>	
Bashinov A.V., Kim A.V., Sergeev A.M.....	173
<b>ILL-POSED INVERSE PROBLEM OF THE RETRIEVAL OF ATMOSPHERE VERTICAL PROFILES FROM THE DATA OF GROUND-BASED SCANNING SPECTRORADIOMETER</b>	
Belikovich M.V., Mukhin D.N., Kulikov M.Yu., Feigin A.M. ....	173
<b>ON THE POSSIBILITY OF MORE INFORMATIVE METHODS OF DETERMINING THE PARAMETERS OF THE SIGNAL / NOISE RATIO AT THE EXAMPLE OF PROPAGATION OF RADIO SHORT-WAVE RADIO WAVES</b>	
Belova I.N. ....	174
<b>THE CALCIUM DYNAMICS FEATEARS IN ASTROCYTE MODEL</b>	
Boldyreva N. ....	174

<b>MARGINAL CHIMERA STATE AT CROSS-FREQUENCY LOCKING OF PULSE-COUPLED NEURAL NETWORKS</b> Bolotov M.I., Osipov G.V., Pikovsky A. ....	174
<b>COMPARISON OF METHODS FOR PHASE SYNCHRONIZATION DIAGNOSTICS FROM TEST DATA MODELING NONSTATIONARY SIGNALS OF BIOLOGICAL NATURE</b> Borovkova E.I., Karavaev A.S., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D. ....	175
<b>NIZHNY NOVGOROD REGIONAL LIGHTNING DETECTION SYSTEM</b> Bulatov A.A., Kuterin F.A., Shlyugaev Yu.V. ....	175
<b>PROTON ACCELERATION EXPERIMENTS AT PETAWATT-LEVEL PEARL FACILITY</b> Burdonov K.F., Soloviev A.A., Starodubtsev M.V. ....	175
<b>HELICITY ESTIMATIONS IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER</b> Vazaeva N.V., Chkhetiani O.G., Maksimenkov L.O., Kurgansky M.V. ....	176
<b>NONLINEAR REGIMES OF PLASMA CYCLOTRON MASER IN NONEQUILIBRIUM PLASMA</b> Viktorov M.E., Golubev S.V., Gospodchikov E.D., Mansfeld D.A., Shalashov A.G. ....	176
<b>CONSTRUCTION OF MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR DYNAMICAL MODES OF SPACE-DISTRIBUTED SYSTEMS</b> Gavrilov A., Mukhin D., Loskutov E., Feigin A. ....	177
<b>PECULIARITIES OF MAGNETIC FIELD GENERATION IN COLLISIONLESS SHOCK WAVES IN ASTROPHYSICAL PLASMA</b> Garasev M.A., Derishev E.V. ....	177
<b>NONLINEAR DYNAMICS OF THE FREE SURFACE OF DIELECTRIC LIQUID IN AN OBLIQUE ELECTRIC FIELD</b> Gashkov M.A., Zubarev N.M., Kochurin E.A. ....	178
<b>THE ROLE OF SUPERREGULAR BREATHERS IN THE DEVELOPMENT OF MODULATION INSTABILITY</b> Gelash A.A. ....	178
<b>BEAM LOADING OF A BUBBLE IN A DEEP PLASMA CHANNEL</b> Golovanov A.A., Kostyukov I.Yu., Thomas J., Pukhov A.M. ....	178
<b>VORTEX-SOLITON FORMATION IN SWIRLING FLOW UNDER THE INFLUENCE OF AN ACOUSTIC FIELD</b> Gorbunova A.O., Zavershinskii I.P. ....	179
<b>FREQUENCY SELECTIVE MULTIMODE COUPLER BASED ON LATERALLY COUPLED MULTIFERROIC WAVEGUIDES</b> Grachev A.A., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sheshukova S.E., Sharaevskii Yu.P. ....	179
<b>MODEL OF ELECTRIC DYNAMO IN BOUNDARY LAYER</b> Dementyeva S.O. ....	180
<b>THE PROCESS OF MASS TRANSFER BY AN ELECTRIC FIELD IN THE CASE OF QUASILINEAR EQUATIONS OF ELLIPTIC TYPE</b> Dolgikh T.F., Zhukov M.Yu., Shiryeva E.V. ....	180
<b>SUPERLUMINAL GENERATOR MICROWAVE PULSES GENERATION AND DETECTION</b> Dolmatov T.V., Garnov S.V., Brendel V.M., Bukin V.V. ....	180
<b>REACTIVE NITROGEN SOURCE BASED ON ECR DISCHARGE SUSTAINED BY GYROTRON RADIATION</b> Dubinov I.D. ....	181
<b>NUMERICAL MODELLING OF A VERTICAL TURBULENT JET IMPINGING ON A THERMOCLINE</b> Ezhova E.V. ....	181
<b>HIGH-ORDER HARMONIC GENERATION IN GASES DRIVEN BY MID-IR LASER SOURCES: THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD OF THE PULSE ON THE SHAPE OF HARMONIC SPECTRUM</b> Emelina A.S., Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu. ....	182
<b>HIGH HARMONICS GENERATION IN GASES WITH TWO-COLOR CROSSED LASER FIELDS</b> Emelina A.S., Emelin M.Yu., Strelkov V.V. ....	182

<b>MODELLING OF KURAMOTO ENSEMBLE WITH ACTIVE WIRELESS NETWORKS</b> Dmitriev A.S., Yemelyanov R.Yu., Chibisov V.V.....	183
<b>TRANSITIONS BETWEEN METASTABLE STATES IN ENSEMBLES OF BISTABLE NEURONS IN THE PRESENCE OF NOISE</b> Esir P.M., Simonov A. Yu., Gordleeva S.Yu. ....	183
<b>QED CASCADES AND <math>e^- e^+</math> PLASMA DYNAMICS IN A MULTYPETAWATT CONVERGING E-DIPOLE LASER WAVE</b> Efimenko E.S., Bashinov A.V., Gonoskov A.A., Muraviev A.A., Kim A.V., Sergeev A.M.....	183
<b>INVESTIGATION OF NONLINEAR MAGNETOACOUSTIC WAVE EVOLUTION IN HEAT-RELEASING PLASMA</b> Zavershinskiy D.I., Molevich N.E., Ryashchikov D.S.....	184
<b>NUMERICAL SIMULATION OF WHISTLER WAVES' PROPOGATION THROUGH PLASMA AREA WITH SMALL-SCALE DENSITY INHOMOGENITIES</b> Zudin I.Y., Aidakina N.A., Gushchin M.E., Korobkov S.V. ....	184
<b>GENERATION OF HIGH PEAK POWER LASER PULSES WITH 1.25 <math>\mu\text{m}</math> CENTRAL WAVELENGTH</b> Zuev A.S., Yakovlev I.V., Stepanov A.N., Shaykin A.A. .	184
<b>MODELING OF THE DYNAMICS OF A DISPLACEMENT FRONT IN A POROUS MEDIUM UNDER VIBRATIONS USING BUCKLEY-LEVERETT MODEL</b> Ivantsov A.O., Lyubimova T.P.....	185
<b>ABOUT METHODS OF REMOTE DETECTION OF DISCRETE INHOMOGENITIES ON THE OCEAN FLOOR</b> Ivashchenko E.N. ....	185
<b>NONLINEAR REGIME OF OPERATION ON POWER CONCENTRATOR BASED ON IRREGULAR FERRITE WAVEGUIDE WITH LINEARLY CHANGED WIDTH</b> Igangaliev A.N., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sharaevskii Yu.P., Nikitov S.A. ....	185
<b>COHERENT ELECTRO-OPTIC SAMPLING OF TERAHERTZ WAVES BY FEMTOSECOND LASER PULSES WITH NON-GAUSSIAN SPECTRUM</b> Ilyakov E., Kitaeva G.Kh., Shishkin B.V., Akhmedzhanov R.A. ....	186
<b>CHAOTIC DYNAMICS AND REVERSE IN NONHOLONOMIC SUSLOV TOP MODEL IN A GRAVITATIONAL FIELD</b> Kazakov A.O.....	186
<b>THE AXISYMMETRIC OSCILLATIONS OF A CYLINDRICAL BUBBLE WITH DYNAMICS OF A CONTACT LINE</b> Alabuzhev A.A., Kaysina M.I.....	186
<b>NONLINEAR EVOLUTION OF SYNCHRONOUS PERTURBATIONS IN ELECTROCONVECTIVE SYSTEMS</b> Kartavykh N.N.....	187
<b>NEW COMPACT EQUATION FOR SIMULATION OF SURFACE GRAVITY WAVES IN EXPERIMENTAL CONDITIONS</b> Kachulin D.I. ....	187
<b>THE FORCED OSCILLATIONS OF “SANDWICH” DROP UNDER THE INFLUENCE OF A NONUNIFORM ALTERNATING ELECTRIC FIELD</b> Alabuzhev A.A., Kashina M.A. ....	187
<b>SAW-TOOTH ACOUSTIC WAVES IN MEDIA WITH A SATURATION OF HYSTERETIC LOSSES</b> Kiyashko S.B., Nazarov V.E. ....	188
<b>MODELING OF THE IMMOBILIZATION PROCESS BY THE RANDOM WALKS METHOD</b> Klimenko L.S., Maryshev B.S. ....	188
<b>MULTISTABLE JITTERING IN OSCILLATORS WITH PULSE DELAYED FEEDBACK</b> Klinshov V.V. ....	188
<b>LASER ION ACCELERATION AS A UNIQUE TOOL FOR HIGH ENERGY DENSITY PHYSICS</b> Korzhimanov A.V.....	189

<b>EFFICIENCY OF GRANGER CAUSALITY METHOD WHEN USING POLYNOMIAL AND LOCAL LINEAR APPROXIMATING FUNCTIONS</b> Kornilov M.V., Sysoev I.V.....	190
<b>NEW METHOD OF SINGLE-MODE GENERATION CONTROL IN THE Q-SWITCH LASERS</b> Korobeynikova A., Burdonov K., Shaykin A., Khazanov E.....	190
<b>NUMERICAL SIMULATION OF DEVELOPMENT OF BURSIAIN INSTABUILLITY IN RELATIVISTIC ELECTRON FLOW IN EXTERNAL MAGNETIC FIELD WITH THE HELP OF CST PARTICLE STUDIO</b> Koronovskii A.A., Badarin A.A., Kurkin S.A., Hramov A.E. ....	190
<b>SEQUENTIAL AND CHAOTIC DYNAMICS IN THE MOTIF OF EXCITATORY COUPLED ELEMENTS</b> Korotkov A.G. ....	191
<b>STABILITY ANALYSIS OF RICH HYDROGEN-AIR LAMINAR FLAMES IN A MODEL WITH DETAILED KINETIC MECHANISM</b> Korsakova A.I., Gubernov V.V. ....	191
<b>COMPRESSION OF HIGH-POWER FEMTOSECOND LASER PULSES AFTER SPM IN PLASTIC (POLYETHELYNE TERAPHTHALATE)</b> Kochetkov A.A., Ginzburg V.N., Zuev A.S.....	191
<b>SPONTANEOUS FORMATION OF SQUARE OPTICAL VORTEX LATTICE IN THE BROAD-AREA LASER MODEL</b> Krents A.A., Anchikov D.A., Pakhomov A.V..	192
<b>X-RAY LOOPS IN THE CORONA OF THE RED DWARF AD LEO</b> Kronshtadtov P.V.....	192
<b>MODELS OF DISTRIBUTED SYSTEMS WITH ATTRACTOR OF SMALE-WILLIAMS TYPE</b> Kruglov V.P. ....	193
<b>INFLUENCE OF HIDDEN THIRD PROCESS ON QUANTITATIVE ESTIMATES OF DIRECTIONAL COUPLINGS BETWEEN OSCILLATORS</b> Krylov S.N., Smirnov D.A., Bezruchko B.P. ....	193
<b>INVESTIGATION OF MECHANISMS OF LOCALIZED STATIONARY AND OSCILLATING STRUCTURES FORMATION IN NONLINEAR DISSIPATIVE SYSTEMS</b> Kuznetsov M.B., Polezhaev A.A.....	193
<b>COUPLINGS IN ENSEMBLES OF TIME-DELAY SYSTEMS FROM EXPERIMENTAL DATA</b> Kulminskiy D.D., Sysoev I.V., Karavaev A.S., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D. ....	194
<b>INVESTIGATION OF INTERMITTENT BEHAVIOR CHARACTERISTICS OF KURAMOTO OSCILLATORS' NETWORK IN SYNCHRONOUS REGIME DESTRUCTION</b> Koronovskii A.A., Kurovskaya M.K., Hramov A.E.....	194
<b>ABOUT EFFICIENCY OF VERTICAL ANTENNA ARRAYS IN THE UNDERWATER SOUND CHANNEL</b> Labutina M.S.....	195
<b>RAMAN SELF-COMPRESSION OF LASER PULSES IN PLASMA</b> Levin D.S.....	195
<b>DEPENDENCE OF THE REGRESSION COEFFICIENT BETWEEN INTERPLANETARY AND MAGNETOSPHERIC FIELD BY SELECTION CRITERIA OF DATABASE</b> Lukin A.S., Petrukovich A.A.....	195
<b>NFUENCE OF THE WAVEFRONT SAG ON THE FILAMENTATION OF FOCUSED NEAR-IR FEMTOSECOND LASER PULSE IN CONDENSED MATTER</b> Mareev E.I., Potemkin F.V., Gordienko V.M.....	196
<b>PUMP NOISE INFLUENCE ON THE ENTANGLEMENT GENERATION PROCESS IN THE SYSTEM OF PARAMETRICALLY COUPLED QUANTUM OSCILLATORS</b> Martynov V.O. ....	196

<b>THE STABILITY OF VERTICAL MIXTURE PRESSURE FLOW INTO POROUS MEDIA WITH PORE BLOCKAGE</b> Maryshev B.S.....	197
<b>NONLINEAR DISPERSION CHARACTERISTICS OF HYBRID SPIN-ELECTROMAGNETIC WAVES IN BILAYERED MULTIFERROICS</b> Matveev O.V., Morozova M.A. ....	197
<b>ESTIMATION OF LARGEST LYAPUNOV EXPONENT FROM EEG OF RATS – GENETIC MODELS OF ABSENCE EPILEPSY</b> Medvedeva T.M., Luttjohann A., Luijtelaar G., Sysoev I.V.....	197
<b>CONTROL OF THE PHOTOELECTRON DYNAMICS FOR THE EFFICIENT CONVERSION OF SHORT-PULSE, TWO-COLOR OPTICAL RADIATION INTO X-RAYS</b> Meshkov O.V., Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu.....	198
<b>ADVANTAGES OF THE NONSPHERICAL-PARTICLE ARRAYS FOR LASER-PARTICLE LITHOGRAPHY</b> Mitin N.N., Pikulin A.V. ....	198
<b>THE DIFFERENCE IN THE NOISE CHARACTERISTICS OF THE SYSTEMS OF A SYNCHRONIZATION OF A SPIN-TRANSFER NANOOSCILLATOR</b> Mitrofanov A.A., Safin A.R., Udalov N.N.....	199
<b>GENERATOR OF NEURON-LIKE OSCILLATIONS</b> Bolshakov D.I., Mishchenko M.A.....	199
<b>GENERATION OF CURRENT SHEETS AND GIANT QUASISTATIC MAGNETIC FIELDS DURING IONIZATION OF VACUUM IN ULTRASHORT PULSE LASER FIELDS: EMISSION AND RELAXATION</b> Muraviev A.A., Bashinov A.V., Efimenko E.S., Kim A.V., Sergeev A.M. ....	199
<b>NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF NOVEL CHALCOGENIDE GLASSES OF Ge-S-I COMPOSITION</b> Murzanev A.A., Korytin A.I., Yashunin D.A., Malkov Yu.A., Mochalov L.A., Stepanov A.N.....	200
<b>INVESTIGATION OF NONLINEAR PROPERTIES OF MEDIA WITH KERR NONLINEARITY BY EXAMINATION OF TRANSVERSE LASER BEAM STRUCTURE DISTORTION AND THE CONTRAST OF AMPLITUDE OBJECT IMAGE</b> Murzanev A.A., Martynov V.O. ....	200
<b>DISK LASER WITH COMPOSITE ACTIVE ELEMENT</b> Mukhin I.B.....	200
<b>THE RISE AND EVOLUTION OF A DENSITY WAVE DURING THE EXPANSION OF A HOT PLASMA THROUGH A TENUOUS IONIZED MEDIUM</b> Nechaev A.A., Garasyov M.A., Kocharovskiy V.I.....	201
<b>PECULIARITIES OF OPTICALLY DETECTED MAGNETIC RESONANCE OF NV-CENTERS IN DIAMOND UNDER RESONANT EXCITATION AT CRYOGENIC TEMPERATURE</b> Akhmedzhanov R.A., Gushchin L.A., Zelensky I.V., Nizov V.A., Nizov N.A., Sobgayda D.A.....	201
<b>MOTIONS OF WATER LAYER IN TSUNAMI WAVES BY RECORDS OF DENSE NETWORK OF DEEPWATER SEA-LEVEL STATIONS</b> Nurislamova G.N., Nosov M.A. ....	202
<b>INTERCIRCUIT CONNECTION IN PLANAR MAGNONIC NETWORKS: 2D MAGNONIC CRYSTAL OF FINITE WIDTH</b> Odincov S.A., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Grishin S.V., Sheshukova S.E., Sharaevskii Yu.P.....	202
<b>OPTICALLY INDUCED TERAHERTZ GENERATION FROM METALS AS A METHOD OF ELECTRON SCATTERING INVESTIGATION</b> Oladyshkin I.V.....	202
<b>THE 2D TURBULENCE ON THE WATER SURFACE. OBTAINING OF THE INVERSE ENERGY CASCADE</b> Orlov A.V.....	203

<b>SPONTANEOUS FORMATION OF NONLINEAR AUTOWAVE PATTERNS IN TRANSVERSE SECTION OF BROAD-AREA LASERS EMISSION</b> Pakhomov A.V., Krents A.A., Anchikov D.A. ....	203
<b>THE ESTABLISHMENT OF GENERALIZED SYNCHRONIZATION IN A NETWORK OF NONLINEAR OSCILLATORS</b> Koronovskii A.A., Moskalenko O.I., Pivovarov A.A. ....	203
<b>COHERENCE OF NOISE-DRIVEN OSCILLATORS SUBJECT TO DELAY FEEDBACK CONTROL INDUCING MULTISTABILITY</b> Pimenova A.V., Goldobin D.S. ....	204
<b>DYNAMIC REGIMES OF TWO FREQUENCY DIFFERENT CHEMICAL OSCILLATORS COUPLED VIA PULSE COUPLING BY USING THE FOLLOWING TYPES OF LINK: INHIBITORY, ACTIVATOR AND "NEGATIVE" INHIBITORY</b> Proskurkin I.S. ....	204
<b>MEASUREMENT OF CHARACTERISTICS OF WAVE PACKETS ON WATER SURFACE BY OPTICAL METHODS</b> Razumov D., Salin M., Stulenkov A. ....	205
<b>SPIN WAVES CONTROL IN AN IRREGULAR MAGNETIC WAVEGUIDE</b> Romanenko D.V., Sadovnikov A.V., Davies C.S., Grishin S.V., Sharaevskii Yu.P., Nikitov S.A., Kruglyak V.V. ....	205
<b>QUANTUM-MECHANICAL CALCULATIONS OF THE RESIDUAL CURRENT DENSITY EXCITED BY GAS IONIZATION WITH AN ULTRASHORT LASER PULSE</b> Vvedenskii N.V., Romanov A.A., A.A. Silaev ....	206
<b>THREE-WAVE INTERACTIONS BETWEEN ALFVEN AND ACOUSTIC WAVES IN HEAT-RELEASING PLASMA</b> Zavershinskiy D.I., Molevich N.E., Ryashchikov D.S., Belov S.A. ....	206
<b>PLANAR TOPOLOGY OF MAGNONIC NETWORK BASED ON DISCRETE SYSTEM OF SIDE-COUPLED MAGNETIC MICROWAVEGUIDES</b> Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Grachev A.A., Sharaevskii Yu.P. ....	207
<b>THE LONGWAVE MARANGONI CONVECTION IN THE "LIQUID-GAS" SYSTEM HEATED FROM BELOW WITH A DEFORMABLE INTERFACE</b> Samoilova A.E.	207
<b>DYNAMICAL REGIMES OF A NETWORK OF FOUR CHEMICAL OSCILLATORS UNIDIRECTIONALLY COUPLED VIA PULSE EXCITATORY COUPLING WITH TIME DELAY</b> Safonov D.A. ....	207
<b>INVESTIGATION OF THE STABILITY OF OWN FUNCTIONS TRANSIENT THERMAL STRUCTURES ARISING IN THE RADIATION COOLING OF DISPERSE SYSTEMS OF ARBITRARY OPTICAL THICKNESS</b> Safronov A.A. ....	208
<b>PREDICTING ENSO VARIABILITY WITH COMPLEX-VALUED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS</b> Seleznev A. ....	208
<b>OCEAN GRAVITY WAVES EXCITED BY RAYLEIGH AND LOVE WAVES</b> Sementsov K.A., Nosov M.A., Kolesov S.V. ....	209
<b>INCREASE IN SYNCHROTRON GAMMA-RAY GENERATION EFFICIENCY IN OBLIQUE INCIDENCE OF INTENSE LASER PULSE ON A FLAT TARGET</b> Serebryakov D.A., Nerush E.N. ....	209
<b>NUMERICAL STUDY OF THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE DIRECT CASCADE IN TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC TURBULENCE</b> Sereshchenko E. ....	209

<b>MODELING OF THE DYNAMICS OF A DISPLACEMENT FRONT IN A POROUS MEDIUM UNDER VIBRATIONS USING BUCKLEY-LEVERETT MODEL</b>	
Sidak E.V., Smirnov D.A., Bezruchko B.P.....	210
<b>INVESTIGATION OF THE PLASMA ACTIVATION OF NITROGEN FOR THE GROWTH OF INDIUM NITRIDE BY ORGANOMETALLIC VAPOR PHASE EPITAXY</b>	
Sintsov S.V.....	210
<b>MAGNETIC CONTROL OF PLASMAS INDUCED BY HIGH-ENERGY NANOSECOND LASER PULSE</b>	
Sladkov A.D., Burdunov K.F., Yeremeyev A.A., Korzhimanov A.V., Safronova M.I., Solov'yev A.A., Starodubtsev M.V.....	211
<b>DYNAMICAL REGIMES OF FOUR ALMOST IDENTICAL CHEMICAL OSCILLATORS COUPLED “ALL-TO-ALL” VIA PULSE INHIBITORY COUPLING WITH TIME DELAY</b>	
Smelov P.S. ....	211
<b>THERMALLY INDUCED EFFECTS IN FARADAY DEVICES AND NEW MAGNETOACTIVE MATERIALS</b>	
Snetkov I.L. ....	211
<b>MICROMAGNETIC SIMULATION OF INFLUENCE OF DZYALOSHINSKII-MORIYA INTERACTION ON SPIN WAVE EXCITATION AND PROPAGATION IN THIN FILM MAGNETIC WAVEGUIDE</b>	
Stetsur-Mova G.I., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sharaevskii Yu.P.....	212
<b>MODELING OF NEGATIVE STEPPED LIGHTENING LEADER’S DEVELOPMENT</b>	
Syssoev A.A.....	212
<b>MODELLING RAT ELECTROENCEPHALOGRAMS AT ABSENCE EPILEPSY IN APPLICATION TO TASK OF COUPLING DETECTION</b>	
Sysoev I.V., Sysoeva M.V., Kuznetsova G.D. ....	212
<b>COUPLING ANALYSIS BETWEEN BRAIN STRUCTURES BY ADAPTED GRANGER CAUSALITY METHOD IN ABSENCE EPILEPSY</b>	
Sysoeva M.V.....	213
<b>CHERENKOV RADIATION OF TERAHERTZ WAVES BY TIGHTLY FOCUSED ULTRASHORT LASER PULSES</b>	
Sychugin S.A., Bakunov M.I.....	213
<b>INEQUIVALENCE OF THE CANONICAL AND GRAND CANONICAL ENSEMBLES: STATISTICS AND THERMODYNAMICS OF A BOSE-EINSTEIN CONDENSATE IN THE CRITICAL REGION</b>	
Tarasov S.V., Kocharovsky V.V., Kocharovsky V.V.....	213
<b>SELF-TRAPPING AND BREATHERS IN KLEIN-GORDON AND FRÖHLICH-SPENCER-WAYNE DISORDERED LATTICES</b>	
Tikhomirov A.A., Lapteva T.V., Savchenko M.V., Kononov O.I.....	214
<b>WAVES OF C-FOS AND ARC PROTEINS EXPRESSION IN NEURONAL POPULATIONS OF MOUSE HIPPOCAMPUS IN RESPONSE TO A SINGLE EPISODE OF NEW EXPERIENCE</b>	
Toropova K.A., Ivashkina O.I., Roshchina M.A., Anokhin K.V. ....	214
<b>DIAGNOSTICS OF THE LASER PLASMA UNDER THE FEMTOSECOND RADIATION FILAMENTATION UNDER THE HIGH PRESSURES BY THE PROBE INTERFEROMETRIC METHOD</b>	
Chizhov P.A., Ushakov A.A., Bukin V.V., Garnov S.V.....	215
<b>TRANSIENT CHAOS IN A SYSTEM WITH ARNOLD WEB IN THE PHASE SPACE</b>	
Felk E.V., Kuznetsov A.P., Savin A.V. ....	215
<b>FORMATION OF VORTEX FLOW WAVES ON THE LIQUID SURFACE</b>	
Filatov S.V. ....	215

<b>ANALYSIS OF PHASE SYNCHRONIZATION IN MULTILAYER ADAPTIVE NETWORKS OF KURAMOTO OSCILLATORS</b> Kharchenko A.A., Makarov V.V....	216
<b>PHASE PROPERTIES OF THE CUT-OFF HIGH HARMONICS</b> Khokhlova M.A...	216
<b>NONLINEAR REGIMES OF ADMIXTURE CAPTURING FROM THE SATURATED POROUS MEDIUM BY THE OVERLYING FLUID FLOW</b> Tsiberkin K.B. ....	216
<b>PLASMA WAVE EXCITATION AND ELECTRON ACCELERATION AT RELATIVISTIC LASER-PLASMA INTERACTION IN UNDER-CRITICAL PLASMA</b> Tsymbalov I.N., Shulyapov S.A., Ivanov K.A., Krestovskikh D.A.,.....	217
<b>FORMATION OF ATTRACTORS IN THE SYSTEM OF PHASE EQUATIONS WITH SYMMETRY VIOLATION</b> Chekmareva A.Zh., Kuznetsov A.P., Savin A.V.....	217
<b>INVESTIGATION OF POLARIZATION OF TERAHERTZ RADIATION GENERATED IN TOPOLOGICAL INSULATORS <math>\text{Bi}_2\text{Te}_3</math> AND <math>\text{Bi}_2\text{Se}_3</math></b> Chizhov P.A., Obraztsov P.A., Kanda N., Konishi K., Gonokami M., Garnov S.V., Tereshchenko O.E. ...	218
<b>ND:GLASS LASER AMPLIFIER ENERGY INCREASING BY ADDITIONAL PULSE INJECTION</b> Shaikin I., Kuzmin A., Burdonov K., Shaykin A., Khazanov E.....	218
<b>TRANSITION TO CHAOS IN THE ONE-DIMENSIONAL MODEL OF A WIDE-APERTURE LASER</b> Shakirov A.R., Chertovskikh R.A. , Krents A.A., Anchikov D.A...	218
<b>COMMON LOAD SUPPRESSED STOCHASTIZATION MEDIATED BY NOISE</b> Shamporov V.A., Pankratov A.L., Pankratova E.V., Shitov S.V. ....	219
<b>MANIPULATING OF BAND GAPS IN THE PERIODIC STRUCTURE OF THE TWO MAGNONIC CRYSTALS</b> Morozova M.A., Sharaevskaya A.Yu., Sadovnikov A.V.....	219
<b>THE RELEVANCE OF THE MAGNETIC FIELD SHEAR IN THE PLASMA KELVIN-HELMHOLTZ INSTABILITY DEVELOPMENT WITH THE ARBITRARY OSCILLATION PROPAGATION ANGLE</b> Shevelev M.M.....	220
<b>VARIATION OF WIND FLOW CHARACTERISTICS DUE TO MODULATION OF SURFACE ROUGHNESS</b> Shomina O.V., Ermakov S.A., Kapustin I.A., Lazareva T.N.	220
<b>MODELING OF PROPAGATION BROADBAND CHIRPED PULSE IN PICOSECOND BEAMLINE OF HIGH-ENERGY LASER</b> Shugurov A.I., Andrianov A.V., Sergeev A.M.....	220
<b>DYNAMICS OF SOLITONIC FIELDS IN THE FRAMEWORK OF MODIFIED KORTEWEG – DE VRIES EQUATION</b> Shurgalina E.G. ....	221
<b>TYPICAL GEOMETRY OF ROGUE WAVES</b> Yudin A.V. ....	221
<b>EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OPTICAL ANISOTROPY PARAMETERS OF THE <math>\text{CaF}_2</math>, <math>\text{BaF}_2</math> AND <math>\text{SrF}_2</math> CRYSTALS ON WAVELENGTH AND TEMPERATURE</b> Yakovlev A.I. ....	221

**АЛФАВИТНЫЙ СПИСОК АВТОРОВ,  
ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ РАБОТУ**

**—А—**

Aidakina N.A. .... 170  
Alabuzhev A.A. .... 186  
Aleshin K.N. .... 170  
Alexandrov L.N. .... 170  
Anchikov D.A. .... 171  
Andreev A.V. .... 171  
Aphinogenov K.V. .... 172  
Astakhov O.V. .... 171

**—В—**

Bashinov A.V. .... 173  
Bazhanova M.V. .... 172  
Belikov M.V. .... 173  
Belov S.Yu. .... 174  
Boldyreva N. .... 174  
Bolotov M.I. .... 174  
Borovkova E.I. .... 175  
Bulatov A.A. .... 175  
Burdonov K.F. .... 175

**—С—**

Chekmareva A.Zh. .... 217  
Chizhov P.A. .... 218

**—Д—**

Dementyeva S.O. .... 180  
Dolgikh T.F. .... 180  
Dolmatov T.V. .... 180  
Dubinov I.D. .... 181

**—Е—**

Efimenko E.S. .... 183  
Emelin M.Yu. .... 182  
Emelina A.S. .... 182  
Esir P.M. .... 183  
Ezhova E.V. .... 181

**—F—**

Felk E.V. .... 215  
Filatov S.V. .... 215

**—G—**

Garasev M.A. .... 177  
Gashkov M.A. .... 178  
Gavrilov A. .... 177  
Gelash A.A. .... 178  
Goldobin D.S. .... 204  
Golovanov A.A. .... 178  
Gorbunova A.O. .... 179  
Grachev A.A. .... 179, 207

**—I—**

Igangaliev A.N. .... 185

Ilyakov E. .... 186  
Ivantsov A.O. .... 185  
Ivashchenko E.N. .... 185

**—K—**

Kachulin D.I. .... 187  
Kartavykh N.N. .... 187  
Kashina M.A. .... 187  
Kazakov A.O. .... 186  
Kharchenko A.A. .... 216  
Khokhlova M.A. .... 216  
Kiyashko S.B. .... 188  
Klimenko L.S. .... 188  
Klinshov V.V. .... 189  
Kochetkov A.A. .... 191  
Kornilov M.V. .... 190  
Korobeynikova A. .... 190  
Koronovskii A.A. .... 190  
Korotkov A.G. .... 191  
Korsakova A.I. .... 191  
Korzhimanov A.V. .... 189  
Krents A.A. .... 192  
Kronshtadtov P.V. .... 192  
Kruglov V.P. .... 193  
Krylov S.N. .... 193  
Kulminskiy D.D. .... 194  
Kurovskaya M.K. .... 194  
Kuznetsov M.B. .... 193

**—L—**

Labutina M.S. .... 195  
Levin D.S. .... 195  
Lukin A.S. .... 196

**—M—**

Mareev E.I. .... 196  
Martynov V.O. .... 196  
Maryshev B.S. .... 197  
Matveev O.V. .... 197  
Medvedeva T.M. .... 197  
Meshkov O.V. .... 198  
Mishchenko M.A. .... 199  
Mitin N.N. .... 198  
Mitrofanov A.A. .... 199  
Mukhin I.B. .... 200  
Muraviev A.A. .... 199  
Murzanev A.A. .... 200

**—N—**

Nechaev A.A. .... 201  
Nizov V.A. .... 201

Nurislamova G.N. .... 202

**—O—**

Odincov S.A. .... 202  
Oladyshkin I.V. .... 202  
Orlov A.V. .... 203

**—P—**

Pakhomov A.V. .... 203  
Pivovarov A.A. .... 203  
Proskurkin I.S. .... 204

**—R—**

Razumov D. .... 205  
Romanenko D.V. .... 205  
Romanov A.A. .... 206  
Ryashchikov D.S. .... 206

**—S—**

Safonov D.A. .... 207  
Safronov A.A. .... 208  
Samoilova A.E. .... 207  
Seleznev A. .... 208  
Sementsov K.A. .... 209  
Serebryakov D.A. .... 209  
Sereshchenko E. .... 209  
Shaikin I. .... 218  
Shakirov A.R. .... 218  
Shamporov V.A. .... 219  
Sharaevskaya A.Yu. .... 219  
Sharaevskii Yu.P. .... 212  
Shevelev M.M. .... 220  
Shomina O.V. .... 220  
Shugurov A.I. .... 220  
Shurgalina E.G. .... 221  
Sidak E.V. .... 210  
Sintsov S.V. .... 210  
Sladkov A.D. .... 211  
Smelov P.S. .... 211  
Snetkov I.L. .... 212  
Sychugin S.A. .... 213  
Sysoev I.V. .... 212  
Sysoeva M.V. .... 213  
Sysoev A.A. .... 212

**—T—**

Tarasov S.V. .... 213  
Tikhomirov A.A. .... 214  
Toropova K.A. .... 214  
Tsiberkin K.B. .... 216  
Tsybalov I.N. .... 217

<b>—U—</b>	Емелин М.Ю..... 59	Митин Н.Н..... 105
Ushakov A.A..... 215	Емелина А.С..... 60	Митрофанов А.А. .... 106
<b>—V—</b>	Емельянов Р.Ю..... 61	Мищенко М.А..... 107
Vazaeva N.V. .... 176	Есир П.М..... 62	Муравьев А.А..... 108
Viktorov M.E. .... 176	Ефименко Е.С..... 63	Мурзанев А.А... 109, 110
<b>—Y—</b>	<b>—З—</b>	Мухин И.Б..... 111
Yakovlev A.I. .... 222	Завершинский Д.И. .... 64	<b>—Н—</b>
Yemelyanov R.Yu. .... 183	Зудин И.Ю. .... 65	Нечаев А.А. .... 112
Yudin A.V. .... 221	Зуев А.С. .... 66	Низов В.А. .... 113
<b>—Z—</b>	<b>—И—</b>	Нурисламова Г.Н. .... 114
Zavershinskiy D.I. .... 184	Иванцов А.О. .... 67	<b>—О—</b>
Zudin I.Y. .... 184	Иващенко Е.Н..... 68	Одинцов С.А. .... 115
Zuev A.S..... 184	Игангалиев А.Н. .... 69	Оладышкин И.В. .... 116
<b>—A—</b>	Иляков И.Е..... 70	Орлов А.В..... 117
Айдакина Н.А. .... 28	<b>—К—</b>	<b>—П—</b>
Алабужев А.А..... 72	Казаков А.О. .... 71	Пахомов А.В. .... 118
Александров Л.Н. .... 29	Картавых Н.Н. .... 73	Пивоваров А.А..... 119
Алешин К.Н. .... 30	Качулин Д.И. .... 74	Пименова А.В. .... 120
Андреев А.В..... 31	Кашина М.А. .... 75	Проскуркин И.С..... 121
Анчиков Д.А. .... 32	Кириллов С.Ю..... 76	<b>—Р—</b>
Астахов О.В. .... 33	Кияшко С.Б..... 77	Разумов Д.Д..... 122
Афиногенов К.В. .... 34	Клименко Л.С..... 78	Романенко Д.В. .... 123
<b>—Б—</b>	Клинышов В.В. .... 79	Романов А.А..... 124
Бажанова М.В. .... 35	Коржиманов А.В. .... 80	Рящиков Д.С..... 125
Башинов А.В..... 36	Корнилов М.В. .... 81	<b>—С—</b>
Беликович М.В. .... 37	Коробейникова А.П. .. 82	Самойлова А.Е. .... 127
Белов С.Ю. .... 38	Короновский А.А. .... 83	Сафонов Д.А. .... 128
Болдырева Н.В..... 39	Коротков А.Г. .... 84	Сафронов А.А. .... 129
Болотов М.И..... 40	Корсакова А.И. .... 85	Сафронова М.И..... 130
Боровкова Е.И..... 41	Кочетков А.А..... 86	Селезнев А.Ф. .... 131
Булатов А.А. .... 42	Кренц А.А. .... 87	Селезнев Е.П. .... 140
Бурдонов К.Ф..... 43	Кронштадтов П.В..... 88	Семенцов К.А..... 132
<b>—В—</b>	Круглов В.П..... 89	Серебряков Д.А..... 133
Вазаева Н.В. .... 44	Крылов С.Н..... 90	Серещенко Е.В..... 134
Викторов М.Е. .... 45	Кузнецов М.Б. .... 91	Сидак Е.В. .... 135
<b>—Г—</b>	Кульминский Д.Д..... 92	Синцов С.В..... 136
Гаврилов А.С. .... 47	Куровская М.К. .... 93	Сладков А.Д. .... 137
Гарасёв М.А. .... 48	<b>—Л—</b>	Смелов П.С..... 138
Гашков М.А. .... 49	Лабутина М.С..... 94	Снетков И.Л. .... 139
Гелаш А.А. .... 50	Левин Д.С. .... 95	Сугак С.С..... 142
Голованов А.А. .... 51	Лукин А.С..... 96	Сысоев А.А..... 143
Горбунова А.О. .... 52	<b>—М—</b>	Сысоев И.В..... 144
Грачев А.А. .... 53, 126	Малыхин А.Ю. .... 97	Сысоева М.В. .... 145
<b>—Д—</b>	Мареев Е.И. .... 98	Сычугин С.А. .... 146
Дементьева С.О. .... 54	Мартынов В.О. .... 99	<b>—Т—</b>
Долгих Т.Ф..... 55	Марышев Б.С..... 100	Тарасов С.В. .... 147
Долматов Т.В. .... 56	Масленников О.В..... 101	Тихомиров А.А. .... 148
Дубинов И.Д. .... 57	Матвеев О.В..... 102	Торопова К.А. .... 149
<b>—Е—</b>	Медведева Т.М..... 103	<b>—У—</b>
Ежова Е.В..... 58	Мешков О.В..... 104	Ушаков А.А..... 150

**—Ф—**

Фельк Е.В. .... 151  
Филатов С.В. .... 152

**—Х—**

Харченко А.А. .... 153  
Хохлова М.А. .... 154

**—Ц—**

Циберкин К.Б. .... 155  
Цымбалов И.Н. .... 156

**—Ч—**

Чекмарева А.Ж. .... 157  
Чижов П.А. .... 158

**—Ш—**

Шайкин И.А. .... 159  
Шакиров А.Р. .... 160  
Шампоров В.А. .... 161  
Шараевская А.Ю. .... 162  
Шараевский Ю.П. .... 141

Шевелёв М.М. .... 163  
Шомина О.В. .... 164  
Шугуров А.И. .... 165  
Шургалина Е.Г. .... 166  
Шустов П.И. .... 167

**—Ю—**

Юдин А.В. .... 168

**—Я—**

Яковлев А.И. .... 169

## ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДАКТОВ ПЛОТНОСТИ В МАГНИТОАКТИВНОЙ ПЛАЗМЕ

Айдакина Н.А., Гуцин М.Е., Зудин И.Ю., Костров А.В.

[aidakina@appl.sci-nnov.ru](mailto:aidakina@appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Мелкомасштабные неоднородности ионосферной плазмы, формирующиеся при проведении активных нагревных экспериментов, могут обеспечивать режимы волноводного распространения низкочастотных волн, возбуждаемых наземными передатчиками, и способствовать выводу излучения из волновода «Земля-ионосфера» в магнитосферу. Вопросы генерации искусственных неоднородностей плотности, как в околоземной, так и в лабораторной плазме [1] представляют значительный интерес.

На крупномасштабном плазменном стенде "Крот" (ИПФ РАН, г. Н. Новгород) проведены экспериментальные исследования процессов формирования и взаимодействия неоднородностей плотности плазмы, вытянутых вдоль внешнего магнитного поля (дактов). Тепловые дакты плотности формировались в результате локального нагрева плазмы электромагнитным излучением высокой интенсивности.

В работе детально исследована пространственная структура и динамика мелкомасштабных неоднородностей, как при образовании одиночной неоднородности, так и при одновременном формировании двух плазменных неоднородностей. Подробно исследованы случаи большого (порядка ширины одиночного дакта) и малого (порядка полуширины одиночного дакта) расстояния между дактами. В ходе лабораторных экспериментов установлены некоторые особенности процесса генерации неоднородностей при одновременном формировании двух плазменных дактов. Эффект взаимного влияния дактов проявляется в перераспределении плотности таким образом, что величины возмущений в дактах выравниваются независимо от начальных величин возмущений плотности плазмы. Динамика переноса плазмы вдоль внешнего магнитного поля при одновременном развитии нескольких неоднородностей имеет более сложный характер, чем в случае одиночной плазменной неоднородности. Кроме того, в лабораторных экспериментах продемонстрирована возможность использования полученной структуры плазменных неоднородностей для обеспечения волноводного распространения низкочастотных волн свистового диапазона частот.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-02-12241 офи\_м,) и Российского научного фонда (проект №14-12-00556).

1. В.Л. Фролов, и др. // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т.101, №5, с.342-346.

# ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ПРОБОЕ ГАЗОВ ДВУХЦВЕТНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ: РЕЗОНАНСНЫЕ, ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ И МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Александров Л.Н., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю.

[alekvlis@gmail.com](mailto:alekvlis@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Ионизационно-индуцируемое преобразование оптического излучения в терагерцовое является одним из актуальных направлений в физике взаимодействия интенсивного лазерного излучения с веществом. Осуществление оптико-терагерцовой конверсии в газах, облучаемых фемтосекундными лазерными импульсами, тесно связано с созданием макроскопических квазипостоянных токов, эффективность возбуждения которых в значительной степени определяет эффективность генерации терагерцового излучения.

В данной работе на основе численного решения как отдельного нестационарного уравнения Шредингера, так и связанной системы уравнений Шредингера и Максвелла исследовалось влияние формы двухцветного лазерного импульса на процесс генерации остаточного тока при оптическом пробое в газах. Для анализа влияния возможных резонансных эффектов, а также для исследования зависимости эффективности возбуждения остаточного тока от эллиптичности лазерного излучения использовалось одночастичное рассмотрение в рамках двумерной модели атома водорода. Для анализа макроскопических эффектов при численном решении связанной системы уравнений использовалась специально построенная одномерная модель атома водорода. Кроме популярной схемы генерации с использованием излучения на основной частоте и второй гармонике была исследована схема с добавлением четвертой гармоники к основному лазерному излучению.

В работе было продемонстрировано, что в задаче о генерации остаточных токов кулоновский потенциал родительского иона играет роль лишь в процессе отрыва электрона от атома и на начальном этапе его движения в свободном пространстве, а пересечение электрона на родительском ионе не играет существенной роли. Полученные результаты позволили также сильно снизить требования к вычислительным ресурсам, необходимым для решения макроскопической задачи, и промоделировать процесс генерации остаточных токов в макроскопическом объеме среды на основе решения связанной системы уравнений Максвелла и Шредингера. В работе проведено сравнение полученных численных результатов с результатами проведенных ранее экспериментов. Кроме этого в работе показано, что в схеме  $\omega+4\omega$  эффективность возбуждения направленного тока является сложной функцией частоты лазерного излучения. Максимумы и минимумы полученной зависимости могут быть интерпретированы как проявление многофотонных резонансных внутриатомных переходов, инициируемых лазерным полем и резко изменяющих условия ионизации атома.

## **ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ НА ДИНАМИКУ ЦЕПОЧКИ ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ**

Алешин К.Н., Матросов В.В.

[kirill\\_al@bk.ru](mailto:kirill_al@bk.ru)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Большое внимание фундаментальной науки сосредоточено на методах исследования и описания сложных колебательных систем со многими степенями свободы. Среди прикладных проблем, которые получают точное описание методами связанных систем синхронизации, следует отметить ансамбли атомных стандартов частоты и времени, ансамбли спиновых наногенераторов, фазированные антенные решётки и многие другие.

В докладе рассматриваются колебательные режимы модели ансамбля однонаправленно связанных систем фазовой автоподстройки частоты (ФАП) с фильтрами первого порядка в цепях управления. При этом основное внимание уделяется влиянию параметра инерционности. Исследования базируются на результатах изучения колебательных режимов модели ансамбля систем ФАП с идеализированными фильтрами [1]. Показано, что введение инерционности приводит к хаотизации колебаний, к пересечению областей существования колебаний различных типов, и как следствие, появлению зон мультистабильности. Рассмотрены сценарии эволюции колебаний при вариациях параметров.

Работа поддержана грантом между МОН РФ и ННГУ (соглашение от 27 августа 2013г. № 02.В.49.21.0003).

1. Алешин К.Н., Матросов В.В., Шалфеев В.Д. // Известия ВУЗов. Радиофизика (принята в печать).

## СЛОЖНАЯ ДИНАМИКА И ГИПЕРХАОС В ЦЕПОЧКЕ РИДБЕРГОВСКИХ АТОМОВ

Андреев А.В., Москаленко О.И., Баланов А.Г., Короновский А.А., Храмов А.Е.  
[andreevandv@gmail.com](mailto:andreevandv@gmail.com)

Саратовский государственный университет им Н.Г. Чернышевского  
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
Университет Лафборо

В работе проведено исследование нелинейной динамики и хаоса в цепочке связанных ридберговских атомов, построена карта режимов, на которую нанесены колебания различных периодов, обнаружено наличие хаотической динамики в этой системе. Предложен метод подавления хаоса в подобной системе с помощью внешнего параметрического воздействия.

В настоящие дни значительный интерес вызывают задачи управления квантовыми системами с ридберговскими атомами в связи с тем, что подобные задачи имеют тесную связь с проблемой создания квантовых компьютеров [1]. Ридберговские атомы - это водородоподобные атомы, внешний электрон в которых находится в высоковозбужденном состоянии, вплоть до уровней порядка 1000. Значительный интерес вызывает задача возникновения хаотической динамики в квантовой системе. Эта задача также имеет прикладное значение для решения проблемы квантовых вычислений в массиве атомов, включенных в твердое тело, принимающих ридберговское состояние [2].

Также системы с ридберговскими атомами являются перспективными для хранения и передачи информации. В связи с этим является перспективной задачей анализ методик подавления хаотической динамики в таких системах, т.к. хаос будет разрушать все хранимую или передаваемую через систему информацию.

В данной работе нами было проведено исследование системы двух связанных ридберговских атомов и замкнутых цепочек связанных ридберговских атомов. В системе из двух атомов были повторены результаты, полученные в [3], и впервые была обнаружена хаотическая динамика. В качестве метода для подавления хаоса в системе из двух атомов было использовано введение внешнего параметрического воздействия. В результате этого были обнаружены области управляющих параметров, при которых в системе наблюдалось подавление хаоса.

Для замкнутых цепочек из разного числа ридберговских атомов были обнаружены области гиперхаоса, характеризующегося разным числом положительных ляпуновских показателей. При увеличении числа атомов в цепочке был обнаружен линейный рост числа положительных показателей Ляпунова. Также для гиперхаоса были рассчитаны спектры мощности, которые, начиная с некоторого числа атома, перестают меняться, при увеличении числа атомов. В данной работе предложено объяснение этого явления. В качестве подавления хаотической динамики в замкнутых решетках ридберговских атомах так же, как и для двух атомов, было применено введение внешнего параметрического воздействия.

Работа поддержана РФФИ (грант 15-32-20299).

1. M.D. Lukin et al. // Rev. Lett. 2000. V. 85. P. 2208.
2. M. Saffman and T. G. Walker // Reviews of Modern Physics. 2010. V. 82. P. 2313.
3. T. E. Lee, H. Haffner and M. C. Cross // Phys. Rev. A. 2011. V. 84. P. 031402(R).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ВЕРТИКАЛЬНО-ИЗЛУЧАЮЩИХ ЛАЗЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Анчиков Д.А.<sup>1</sup>, Кренц А.А.<sup>1,2</sup>, Пахомов А.В.<sup>1,2</sup>

[swadimaz@mail.ru](mailto:swadimaz@mail.ru)

<sup>1</sup> Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия

<sup>2</sup> Самарский филиал Физического института имени П.Н. Лебедева РАН, Самара, Россия

Вертикально излучающие полупроводниковые лазеры (ВИЛ) широко применяются в беспроводных и оптоволоконных оптических системах связи, в оптических запоминающих устройствах, оптических сенсорах. Для применения полупроводниковых вертикально излучающих лазеров в таких областях, как обработка материалов, в медицинских приложениях и в качестве источников оптической накачки необходимо увеличение выходной мощности устройства. Важной конструктивной особенностью ВИЛ является небольшой продольный размер активной среды лазера – порядка оптической длины волны, в связи с этим наиболее эффективным методом увеличения мощности ВИЛ является увеличение его поперечных размеров. Другим способом получения высокой выходной мощности является использование высоких инжекционных токов, которые приводят к значительному разогреву активной среды лазера. Однако экспериментально установлено, что в обоих случаях помимо желаемого эффекта увеличения мощности происходит существенное изменение пространственно-временной динамики лазера и ухудшение когерентных свойств его излучения. В ближнем поле наблюдаются асимметричные распределения поля, которые не могут быть описаны как суперпозиция конечного числа мод пустого резонатора. Возможно появление нестационарных оптических структур (солитоны, оптические вихри, спиральные волны) и пространственно-временной хаос.

В работе численно исследован вопрос о влиянии температуры активной среды широкоапертурного полупроводникового лазера на динамику и пространственные характеристики выходного излучения. В качестве модели принята полная самосогласованная система уравнений Максвелла-Блоха в частных производных для двумерного пространственного приближения. Модель описывает динамику лазера, работающего на одной продольной моде, с плоскопараллельным резонатором с учетом дифракции. Рассмотрены отдельно случаи квадратной и круглой форм активных областей устройств. Численное решение задачи проводилось с использованием псевдоспектрального метода Фурье с расщеплением по физическим факторам. Для моделирования была выбрана область параметров близкая к параметрам полупроводниковых лазеров. В качестве управляющих параметров были выбраны параметры накачки и отстройки частоты, которая является функцией температуры. Остальные параметры были фиксированы. Параметр накачки нормирован на пороговое значение и варьировался в пределах от 1 до 4. Параметр отстройки, нормированный на полуширину линии усиления, варьировался в диапазоне от -5 до 5, что согласно экспериментальным работам, примерно соответствует температурам от 240 до 330 К.

Продемонстрировано, что с помощью принятой модели может быть качественно воспроизведена экспериментально наблюдаемая смена режимов генерации от приосевой к существенно внеосевой при изменении температуры лазерной среды в ВИЛ. Приведена зависимость поперечной составляющей волнового числа от частотной отстройки и параметра накачки.

## ДИНАМИКА ДВУХМОДОВОГО ГЕНЕРАТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ВКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Астахов О.В.<sup>1</sup>, Астахов С.В.<sup>2</sup>, Астахов В.В.<sup>2</sup>

[AstakhovOV@gmail.com](mailto:AstakhovOV@gmail.com)

<sup>1</sup>Саратовский Государственный Университет им. Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский Государственный Технический Университет им. Гагарина Ю.А.

Автоколебательные системы с большим количеством степеней свободы, так называемые многомодовые системы, имеют широкое распространение в природе и технике. К их числу относятся генераторы СВЧ, лазеры, ими моделируются парциальные системы в ансамблях нейронов, подсистемы в сердечно сосудистой системе человека. Известно, что для таких систем характерны такие явления, как синхронизация мод, мультистабильность и затягивание.

В данной работе рассматривается один из простейших примеров многомодовых систем – классический генератор Ван-дер-Поля с дополнительным контуром [1,2]. Для данной системы хорошо известен и подробно изучен эффект затягивания частоты колебаний. Однако, влиянию способа подключения дополнительного контура к генератору (ближний к усилителю контур – генератор с нагрузкой [3]; дальний от усилителя контур – генератор с перекрестной связью [3]) на динамику колебаний и бифуркационные переходы в данной системе не уделялось достаточное внимание.

Показано, что в генераторе с нагрузкой эффект затягивания частоты связан не с седло-узловыми бифуркациями предельных циклов, что является типичным сценарием формирования мультистабильности, а является следствием двух суперкритических бифуркаций Андронова-Хопфа для состояния равновесия и субкритической бифуркации Неймарка - Сакера для седлового предельного цикла. Установлено, что при ином способе включения обратной связи в данной системе (генератор с перекрестной связью), характер бифуркации Неймарка–Сакера меняется с субкритического на суперкритический, что исключает эффект затягивания частоты, но приводит к усложнению динамики колебаний в системе: появлению квазипериодических колебаний, а затем хаотических, механизм возникновения которых обусловлен разрушением тора.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-12-00291

1. Van der Pol B. // Philos. Mag., ser. 6, 1922, vol. 43, No. 256, pp. 700 – 719.
2. Скибарко А.П., Стрелков С.П. // ЖТФ, 1934, т. 4, вып. 1, с. 158.
3. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы. М.: Гостехиздат, 1952.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ

Афиногенов К.В., Анисимов С.В., Галиченко С.В.

[aphin@borok.yar.ru](mailto:aphin@borok.yar.ru)

Геофизическая обсерватория «Борок» - филиал ФГБУН Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук

В течение летних сезонов 2014-2015 годов на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводились натурные полевые наблюдения ряда величин, характеризующих электрическое, термодинамическое и турбулентное состояние приземного и пограничного слоев атмосферы. Цель работы заключалась в исследовании пространственно-временной variability и статистических свойств электродинамических переменных нижней атмосферы, исследовании турбулентных аэроэлектрических структур, формировании банка данных входных параметров для моделирования электрических процессов в атмосферном пограничном слое. Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксометры, ультразвуковые цифровые метеостанции, датчики полярных электрических проводимостей, кольцевой токовый коллектор, трёхкомпонентный акустический доплеровский локатор, пиранометр, радономер AlphaGuard RQ2000, датчик объемной активности радона и торона CPC-05. Частота дискретизации системы сбора информации - 10 Гц.

В ходе полевых натурных наблюдений получены данные, характеризующие суточную variability объемной активности радона, удельной электрической проводимости и плотности объемного заряда. По результатам измерений удельной электрической проводимости и напряженности электрического поля рассчитан суточный ход плотности атмосферного вертикального электрического тока проводимости. Рассчитан коэффициент корреляции плотностей тока проводимости и полного вертикального атмосферного электрического тока. Выполнены оценки коэффициентов корреляции напряженности атмосферного электрического поля, плотности вертикального атмосферного электрического тока, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости. Установлено наличие связи между объемной активностью радона в приземном слое атмосферы, удельной электрической проводимостью и плотностью объемного электрического заряда по результатам анализа суточного хода указанных величин. Исследовалось влияние типа земной поверхности на электрические величины приземного слоя атмосферы. Предпосылкой к проведению таких наблюдений стало обнаружение влияния направления ветра над физически неоднородной поверхностью на поведение приземных электрических параметров. В частности, было установлено, что среднесуточное значение удельной электрической проводимости для условий с преобладающим направлением ветра со стороны Рыбинского водохранилища равно 6.9 фСм/м. Этот ветровой режим определяет перенос атмосферных масс с меньшей концентрацией радона. Для противоположных направлений ветра со стороны суши, определяющих перенос атмосферных масс с большей концентрацией радона, среднесуточное значение удельной электрической проводимости оказалось равным 12 фСм/м.

Разработана нестационарная электродинамическая модель, учитывающая турбулентный транспорт радиоактивных, аэрозольных и электрически заряженных субстанций в неоднородно стратифицированной атмосфере, рассчитаны высотные профили электрической проводимости, напряженности атмосферного электрического поля и плотности вертикального тока проводимости в различных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-04960), а также гранта Правительства Российской Федерации (договор №14.B25.31.0023).

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННОГО РИТМА В РЕКУРРЕНТНЫХ СЕТЯХ СПАЙКОВЫХ НЕЙРОНОВ С ПЛАСТИЧНЫМИ СВЯЗЯМИ

Бажанова М.В., Есир П.М., Симонов А.Ю.

[arksinus-bmw@yandex.ru](mailto:arksinus-bmw@yandex.ru)

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.  
Н.И. Лобачевского

Последние годы в нелинейной динамике наблюдается растущий интерес к исследованию процессов генерации паттернов коллективной динамики в моделях нейронных сетей мозга. Одним из наиболее распространённых сигналов является колебательная активность с частотой 9-12 Гц, которая называется альфа-ритм, или мю-ритм, в зависимости от области мозга. Данная работа посвящена исследованию механизмов формирования популяционной колебательной активности в частотном диапазоне альфа-ритма в модели рекуррентной сети спайковых нейронов с пластичными связями. Разработанная модель состоит из сети нейронов Ижикевича, соединённых синаптическими связями, имитирующими явление кратковременной синаптической пластичности, то есть способности изменять эффективность передачи сигнала в зависимости от частоты генерации спайков на пресинаптическом нейроне. Связи между нейронами формировались случайно с вероятностью, зависящей от расстояния. Сигнал между нейронами распространялся с конечной скоростью, таким образом, задержки распространения сигнала были пропорциональны расстоянию между клетками. Сами нейроны находились в возбудимом режиме, то есть в отсутствие внешнего сигнала они не генерировали импульсы. Для возбуждения активности в сети был представлен внешний сигнал в виде некоррелированного пуассоновского процесса с различными средними частотами. Для изучения коллективной динамики в частотно-временном домене применялись вейвлет-преобразование и преобразование Фурье. С помощью численного моделирования были исследованы области существования ритмической активности в зависимости от параметров модели, а также в присутствии различных внешних сигналов.

Работа поддержана Российским Научным Фондом, проект № 14-11-00693

## ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ФОТОНОВ НА РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЛЕ СТОЯЧЕЙ ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ВОЛНЫ

Башинов А.В., Ким А.В., Сергеев А.М.

[abvk@inbox.ru](mailto:abvk@inbox.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Движение электрона в заданном электромагнитном поле определяется силой Лоренца и радиационными потерями. Для учета влияния отдачи от излучения используются различные подходы. В рамках классического подхода в уравнения движения вводится диссипативная сила, зависящая от полей и импульса частицы. Учет этой силы принципиально необходим, когда по величине она становится сравнимой с силой Лоренца. Однако при наличии даже малых диссипативных потерь происходит сжатие фазового объема, следовательно, учет слабого радиационного трения может качественно изменить движение электрона на больших временах [1]. На примере движения электрона в поле плоской волны показано, что сила радиационного трения ведет к образованию регулярных и хаотических аттракторов [2-4]. Однако сила, действующая непрерывно, не учитывает тот факт, что фотоны излучаются в случайные моменты времени. Как было показано [5], стохастичность излучения может приводить к увеличению фазового объема. Кроме того при классическом подходе частицы могут терять энергию на излучение больше их собственной. Другой подход, исправляющий вышеуказанные недостатки, – квазиклассический. В рамках этого подхода вероятность, а также спектр излучения фотонов определяются согласно квантовой теории, а движение ультррелятивистской частицы считается классическим [6].

В настоящей работе исследуется влияние излучения на движение электрона в поле плоской линейно-поляризованной стоячей волны с помощью классического и квазиклассического подходов с целью выявления важности квантовых эффектов. Рассматриваются различные режимы движения: релятивистский хаос, нормальный и аномальный радиационные захваты [7]. Показано, что регулярные аттракторы, которые возможны при классическом подходе за счет непрерывно действующей радиационной силы, не образуются, если учесть дискретность излучения, что ведет к стохастическому нагреву даже в случае малых радиационных потерь. При этом локализованное или дрейфовое движение трансформируется в диффузионное, которое можно представить в виде Марковской цепи. В режиме радиационных захватов классическое описание в основном преувеличивает радиационные потери и уменьшает порог по амплитуде режима аномального захвата. Однако отношение энергии, излученной за период волны, к амплитуде волны ограничивается  $\sim 3$  в обоих подходах, что свидетельствует о качественном сходстве траекторий в режиме аномального захвата при различном описании излучения. Показано, что стохастичность излучения ведет к существенному уширению углового распределения излучения фотонов в этом режиме. Кроме того, определен интервал амплитуд, соответствующих нормальному захвату, в котором радиационные потери могут быть больше при квазиклассическом подходе, ввиду трансформации движения за счет стохастичности испускания фотонов.

[1] M. Tamburini et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., A **653**, 181 (2011).

[2] А.В. Башинов и др. Квант. Электрон. **43**, 291 (2013).

[3] G. Lehmann and K.H. Spatschek, Phys. Rev. E. **85**, 056412 (2012).

[3] A.V. Bashinov, A.V. Kim, A.M. Sergeev Phys. Rev.E **92**, 043105 (2015).

[4] N. Neitz and A. Di Piazza, Phys. Rev. Lett. **111**, 054802 (2013).

[6] В.Н. Байер, В.М. Катков, В.С. Фадин, Излучение релятивистских электронов (Атомиздат, Москва, 1973).

[7] A. Gonoskov et al. Phys. Rev. Lett. **113**, 014801 (2014).

## НЕКОРРЕКТНАЯ ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО ДАННЫМ СКАНИРУЮЩЕГО СПЕКТРОРАДИОМЕТРА НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Беликович М.В., Мухин Д.Н., Куликов М.Ю., Фейгин А.М.

[belikovich@appl.sci-nnov.ru](mailto:belikovich@appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Сложно переоценить значение атмосферных процессов для человека: метеорология (погода) и фотохимия (поглощение ультрафиолета озоновым слоем) оказывает влияние на наши жизни ежедневно. Человечество развивает множество методов для исследования и мониторинга в том числе и дистанционные. Дистанционные методы в основном основаны на использовании электромагнитных волн (исключение составляют сонары использующие звуковые волны) различного диапазона. Одна разновидность подобных методик основана на обработке информации о принятом собственном излучении атмосферы в микроволновом диапазоне. Данный способ хорошо зарекомендовал себя в система как спутникового, так и наземного базирования. Спектр собственного излучения атмосферы на определенной высоте имеет нетривиальную форму (в нем содержатся линии, склоны), которая зависит от высоты, состояния и состава атмосферы. Анализируя форму спектра сигнала, порожденного некой областью атмосферы, можно получить информацию о ее характеристиках на различных участках пути распространения сигнала.

Данный доклад посвящен алгоритмам восстановления вертикального профиля характеристик атмосферы по радиометрическим данным сканирующего радиометра. Рассматриваются некорректные обратные задачи восстановления профилей температуры приземного слоя и тропосферы, а также стратосферного озона. В основе каждой задачи стоит разрабатываемый в ИПФ РАН радиометрический комплекс. Задачи температуры приземного слоя соответствует радиометр с полосой анализа 55-58ГГц, температуры тропосферы — 50-55ГГц, стратосферного озона — 110,3-111,3ГГц. Для каждой из них описан алгоритм решения, в основе которого лежит байесов (вероятностный) подход. Не смотря на схожую формулировку, каждая задача имеет свою специфику, обусловленную как физикой явления (линейность нелинейность «прямой» задачи), так и особенностями прибора (ширины и расположения спектральных каналов). Оценена точность и разрешение восстановления алгоритмов с учетом реальных значений шума в разрабатываемых приборах. Показаны результаты работы алгоритмов на сгенерированных данных.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014–2020 годы» (соглашение о предоставлении субсидии 14.607.21.0107 от 28 ноября 2014 года между Министерством образования и науки РФ и ИПФ РАН, уникальный идентификатор проекта RFMEFI60714X0107).

# О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА СИГНАЛ/ШУМ НА ПРИМЕРЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН

Белов С.Ю.<sup>1</sup>, Белова И.Н.<sup>1,2</sup>

[Belov\\_Sergej@Mail.Ru](mailto:Belov_Sergej@Mail.Ru), [Belova\\_Ija@Mail.Ru](mailto:Belova_Ija@Mail.Ru)

<sup>1</sup>Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет» имени М.В. Ломоносова,

<sup>1,2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук

В работе предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум  $\beta_k$ . Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения параметра  $\beta_k$  новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный и одного порядка с известной когерентной методикой.

В работе рассматривается задача дистанционной диагностики “шероховатой” земной поверхности и диэлектрических подповерхностных структур в КВ диапазоне. Выбор КВ диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой (толщины порядка длины волны падающего излучения). Интерпретация получаемых данных производится на основе статистической мультипликативной модели сигнала. Тестирование метода получения “параметра рассеяния” в указанной модели произведено на примере двукратного отражения зондирующего КВ сигнала от ионосферы при вертикальном зондировании.

При этом в качестве параметра, характеризующего рассеивающую способность радиоволн земной поверхности, используется соотношение сигнал/шум. Идея метода определения этого параметра заключается в том, что располагая синхронной информацией о волне, отражённой от ионосферы и о волне, отражённой от земли и ионосферы (или прошедшей ионосферу дважды при зондировании со спутника), возможно извлекать информацию о параметре рассеяния. Оперативная и надёжная оценка параметра  $\beta_k$  имеет общефизический интерес (радиофизика, геофизика, оптика и т. д.), конкретизация осуществлена для ионосферного случая.

Исследован вопрос об оптимизации методик измерения параметра  $\beta_k$  с точки зрения допускаемых аналитических (относительных) погрешностей. Индекс  $K=E, R_2, R_4$  – означает регистрируемый первичный параметр: квадратуру  $E$  или огибающую  $R$  и соответствующий метод ( $E$  – когерентный;  $R_2, R_4$  – некогерентные).

Широко используются: 1) стандартный  $R_2$ -метод, когда  $\beta_{R_2} = f_{R_2}(\alpha_{R_2})$ ; 2) когерентный  $E$ -метод,  $\beta_E = f_E(\alpha_E)$ . В работе развит новый  $R_4$ -метод (некогерентный),  $\beta_{R_4} = f_{R_4}(\alpha_{R_4})$ , где  $\alpha_k$  – измеряемые величины;  $f_k$  – известные функции [1].

В работе представлены графики поведения аналитических (относительных) погрешностей  $\varepsilon_k^* = (1/\beta_k) df_k/d\alpha_k$  для указанных методик (без учёта статистических ошибок) в диапазоне экспериментально наблюдаемых значений  $\beta_k$ . Показано, что  $\varepsilon_E^*$  и  $\varepsilon_{R_4}^*$  одного порядка ( $\varepsilon_{R_4}^* = 3/2 \varepsilon_E^*$ ) и существенно превосходят по точности измерения  $\beta_k$  по стандартной  $R_2$ -методике  $\varepsilon_{R_2}^*$ .

В итоге, установлено, что достаточная аналитическая точность измерения  $\beta_k$  может быть достигнута и при использовании некогерентной аппаратуры с помощью новой методики  $R_4$ .

Белов С. Ю., Белова И. Н. О параметре “возмущённости” неоднородного флуктуирующего дифракционного экрана. // Международный Симпозиум "Атмосферная Радиация и Динамика" (МСАРД–2015), Санкт–Петербург, 2015, с. 103.

## ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КАЛЬЦИЯ В МОДЕЛИ АСТРОЦИТА

Болдырева Н.В.

[BO-209@yandex.ru](mailto:BO-209@yandex.ru)

Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского

Наряду с уже традиционно изучаемыми в нелинейной динамике моделями нейронов и нейронных сетей, важную роль в современных нейронаучных задачах начинают играть глиальные клетки (в частности, астроциты), также образующие сети и взаимодействующие с основными сигнальными клетками – нейронами.

В данной работе рассматривается трехкомпонентная модель Маурицио де Пита. Уравнения этой модели представляют собой аналог уравнений Ходжкина-Хаксли для мембраны эндоплазматического ретикулама астроцита, определенных в терминах изменения концентрации ионов кальция во внутриклеточном пространстве. Модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений для описания динамики внутриклеточной концентрации кальция и изменения доли активированных кальциевых каналов, а так же изменения концентрации инизотол-1,4,5-трифосфата (ИТФ), регулирующей выпуск кальция из эндоплазматического ретикулама во внутриклеточное пространство. Внутриклеточная концентрация ИТФ определяется следующими параметрами: максимальной скоростью деградации ИТФ за счет 3-киназы, максимальной скоростью деградации ИТФ за счет дефосфорилирования и скоростью продуцирования ИТФ при активации фосфолипазы C  $\delta$ . Эти параметры были выбраны в качестве контрольных параметров при анализе динамики системы.

В результате проведенного бифуркационного анализа модифицированной трехкомпонентной модели астроцита получены разбиения пространства параметров на области с различным динамическим поведением. Проанализированы изменения концентрации кальция и ИТФ при вариациях параметров модели. Установлено, что существуют диапазоны параметров, где система демонстрирует гистерезисные явления: финальный результат установления высокой или низкой концентрации кальция и ИТФ определяется начальным состоянием (начальными условиями). Исследованы бифуркационные механизмы возникновения автоколебаний. Выявлены области существования сложных периодических и хаотических колебаний. Показано, что переход к хаосу осуществляется через каскад бифуркаций удвоения периода. Наличие сложных и хаотических колебаний даже в автономном кальциевом генераторе свидетельствует о том, что динамика модели существенно сложнее и разнообразнее динамики предшествующих аналогичных моделей.

## МАРГИНАЛЬНОЕ ХИМЕРНОЕ СОСТОЯНИЕ В СИНХРОННЫХ ИМПУЛЬСНО-СВЯЗАННЫХ НЕЙРОНОПОДОБНЫХ СЕТЯХ

Болотов М.И.<sup>1</sup>, Осипов Г.В.<sup>1</sup>, Пиковский А.С.<sup>1,2</sup>

[bolotov\\_maxim\\_lich@mail.ru](mailto:bolotov_maxim_lich@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт информационных технологий, математики и механики,  
Нижегородский Государственный Университет им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup>Институт физики и астрономии, Потсдамский университет

Изучение динамики глобально-связанных популяций осцилляторов в настоящее время привлекает интерес исследователей из-за многочисленных приложений в различных областях естествознания от физики до нейронауки, в моделях которых могут наблюдается синхронизация, коллективный хаос, а также химерные состояния. Последние представляют собой режимы, когда часть осцилляторов синхронна и формирует кластер, пока другие остаются асинхронными.

В данной работе рассматривается две связанные популяции нейроноподобных элементов. Связь внутри каждой популяции задается через общее поле, формируемое импульсами, поступающими от элементов популяции. В зависимости от силы связи, поля этих популяций имеют несоизмеримые частоты или становятся синхронными. В случае 2:1 синхронизации полей индивидуальные нейроны в одной из популяций асинхронны с полем, пока частоты нейронов другой популяции совпадают с частотой поля. Нейроны синхронной популяции находятся в химерном состоянии, когда часть из них формирует полностью синхронный кластер, при этом другие образуют асинхронную группу. Это новый вид химерного состояния, наблюдаемого в одной популяции, входящей в систему связанных популяций, где вторая остается асинхронной. Данный режим ранее не наблюдался в одном ансамбле глобально связанных элементов, задаваемого уравнениями первого порядка.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗОВАННОСТИ ПО НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕАЛИЗАЦИЯМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д.

[rubanei@mail.ru](mailto:rubanei@mail.ru)

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН

Проводится сопоставление методов диагностики фазовой синхронизованности по временным реализациям. Сопоставление осуществляется на примере анализа специальным образом подготовленных тестовых данных. Показано, что метод, основанный на кусочно-линейной аппроксимации мгновенной разности фаз в скользящем окне, демонстрирует лучшую среди сопоставляемых методов чувствительность.

Проведен статистический анализ фазовой динамики взаимодействия систем автономной регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС) человека, имеющих собственные частоты колебаний около 0.1 Гц. Анализ сигналов этих систем осложняется сложностью изучаемых систем, наличием динамических и измерительных шумов, нестационарностью временных реализаций. Сложность изучаемых систем требует выбора и разработки наиболее подходящих методов анализа, учитывающих индивидуальные особенности объектов исследования.

Зарегистрированы и проанализированы более 50 записей здоровых испытуемых и пациентов, перенесших инфаркт миокарда. В ходе обработки этих данных были оценены функции распределения длительностей синхронных и несинхронных участков, расстройек мгновенных частот колебаний, уровень фазовых шумов.

По результатам проведенного статистического анализа разработана методика приготовления искусственных данных, воспроизводящих статистику экспериментальных разностей фаз. Методика учитывает особенности экспериментальных данных: нестационарность, наличие и уровень измерительных шумов, искажения, вносимые измерительными преобразователями, артефакты применения методов, предназначенных для выделения сигналов исследуемых подсистем из экспериментальных реализаций, представляющих собой смесь сигналов нескольких подсистем.

Проведено сопоставление результатов применения известных и предложенных нами подходов диагностики синхронизованности при анализе подсистем нервной регуляции деятельности ССС системы для выявления возможностей и границ применимости для анализа сложных сигналов живых систем. В частности, сопоставлялись: развиваемый подход, основанный на аппроксимации мгновенной разности фаз в скользящем окне, метод, основанный на анализе распределения разности фаз – расчете коэффициента фазовой когерентности, метод, основанный на оценке дисперсии мгновенной разности фаз.

Сопоставление проведено на ансамблях искусственных временных реализаций мгновенных разностей фаз. В ходе анализа ансамблей таких записей выявлены преимущества, недостатки и границы применимости подходов анализа фазовой синхронизованности подсистем нервной регуляции деятельности ССС.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-12-00291.

## НИЖЕГОРОДСКАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Булатов А.А., Кутерин Ф.А., Шлюгаев Ю.В.

[AlexeyABulatov@yandex.ru](mailto:AlexeyABulatov@yandex.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В конце XX - начале XXI века, в связи с интенсивным развитием телекоммуникационных и навигационных сетей, появились возможности для разработки и реализации систем определения точного местоположения молниевых вспышек пассивной грозопеленгации. Как правило, подобным сетям ставится задача получения оперативных данных о координатах и времени вспышки, мощности, типе и полярности разрядов [1].

Информация грозопеленгационных сетей чрезвычайно важна для задач оперативного мониторинга молниевой активности, краткосрочного прогноза быстроразвивающихся конвективных явлений и др. Очень часто грозы являются предвестниками развития опасных событий, таких, как шквал и катастрофические ливневые осадки, смерчи, град [2]. С другой стороны, оперативные данные местоположения молний позволяют верифицировать прогнозные алгоритмы и реализовывать системы корректировки («nudging») решения численных моделей к наблюдаемым явлениям. Грозопеленгационные сети, совместно аэроэлектрическими наблюдениями, являются основой для задачи усвоения геоэлектрических метеоданных, исследований глобальной электрической цепи и климатологии молнии [3].

В данной работе описана многопунктовая грозопеленгационная система, развернутая в Нижегородской области в течение конвективного сезона 2014 г. [4-5]. На основе её показаний за период с конца июля по конец сентября 2014 г. проведена валидация данных и исследована точность сети. В качестве опорных данных использовались показания международной грозопеленгационной системы WWLLN и показания доплеровского метеорологического радиолокатора.

В работе описаны принципы, алгоритмы работы, а также организация разработанной грозопеленгационной сети и её технические характеристики. Представлены некоторые результаты её работы за 2014-2015 конвективные сезоны. В дальнейшем планируется расширение области покрытия системы, повышение точности грозопеленгации и разработка алгоритмов определения характеристик молниевых разрядов, включая тип, полярность и максимальный ток.

1. Rakov V.A. Electromagnetic Methods of Lightning Detection / V.A. Rakov // *Surveys in Geophysics*. – 2013. – Т. 34. – № 6. – С. 731-753.
2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. – Ленинград: Гидрометиздат, 1984. – 751 с.
3. Williams E. Recent progress on the global electrical circuit / E. Williams, E.A. Mareev // *Atmospheric Research*. – 2014. – Тт. 135-136. – № 1. – С. 208–227.
4. Kuterin F.A. The Development of the Lightning Detection Network based on Boltek StormTracker hardware / F.A. Kuterin, A.A. Bulatov, Y. V. Shlugaev // *International Conference on Atmospheric Electricity*. – Norman, OK, U.S.A., 2014. – С. P-12-17.
5. Булатов А.А. Региональная грозопеленгационная сеть в Нижегородской области / А.А. Булатов, Ю.В. Шлюгаев // XX Нижегородская сессия молодых ученых. Естественные, математические науки. – Княгинино, 2015. – С. 8-9.

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УСКОРЕНИЮ ПРОТОНОВ НА СУБПЕТАВАТТНОМ ЛАЗЕРНОМ КОМПЛЕКСЕ PEARL

Бурдонов К.Ф., Соловьев А.А., Стародубцев М.В.

[kfb.iap@gmail.com](mailto:kfb.iap@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В настоящее время одним из актуальных и востребованных приложений физики лазеров экстремальных пиковых мощностей, является исследование взаимодействия релятивистски-сильного оптического излучения с веществом. Особенный интерес представляет возможность создания на базе лазерных комплексов мультитераваттного и петаваттного уровней мощности компактных ускорителей заряженных частиц.

На субпетаваттном комплексе PEARL была проведена серия экспериментов по ускорению протонов в режиме TNSA (target normal sheath acceleration). Лазерный импульс на выходе из вакуумного оптического компрессора на центральной длине волны  $\lambda_0 = 910$  нм, длительностью  $\tau \sim 60$  фс, энергией до 10 Дж и диаметром  $\sim 100$  мм направлялся в мишенную камеру, где фокусировался внеосевым параболическим зеркалом с  $f/4.2$  на поверхность металлической фольги. В качестве мишеней использовались алюминиевые фольги толщинами 10, 5, 3 и 0.8 мкм, титановые фольги толщиной 5 мкм, а также алюминиевые фольги 0.17 и 0.5 мкм с напылением из нитрида кремния толщиной 30 и 50 нм. Фольги располагались под углом  $45^\circ$  к падающему излучению. В мишенной камере поддерживалось давление  $10^{-5}$  Тор.

Применялись два способа детектирования ускоренных протонных пучков. Диагностика радиохромными пленками (RCF), собранными в стек, позволила по радиационному затемнению пленок восстановить энергетические и угловые спектры протонов. Спектрометр томсоновская парабола, в котором ускоренные частицы под действием сонаправленных магнитного и электрического полей отклоняются от своей изначальной траектории в зависимости от скорости и заряд-массового соотношения, позволил также определить сорта и энергетические спектры ускоряемых вместе с протонами лёгких положительных ионов. Для одновременного использования обеих диагностик в RCF-стеке проделывалось отверстие.

Для установки мишеней в точку фокусировки мощного лазерного импульса с микронной точностью использовалась специально изготовленная вакуумная моторизованная многокоординатная система позиционирования, на которой закреплялась матрица из набора отдельных мишеней. Наличие матрицы позволило заменять полностью разрушавшиеся в момент выстрела фольги на новые без девакуумизации мишенной камеры, что позволило существенно сократить время между выстрелами. Итерационный метод наведения мишени при помощи данной системы позиционирования позволил устанавливать мишень в плоскость фокусировки лазерного излучения с точностью не хуже 5 мкм.

Максимальные значения энергий ускоренных протонов, измеренные стеком радиохромных пленок, находятся в диапазоне от 43.3 до 44.1 МэВ, что при используемых параметрах лазерного излучения является мировым рекордом. Спектрометром томсоновской параболой были также зарегистрированы следы ускоренных вместе с протонами ионов углерода  $C^{1+}$  -  $C^{6+}$  и ионов кислорода  $O^{1+}$  и  $O^{6+}$ .

## ОЦЕНКИ СПИРАЛЬНОСТИ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Вазаева Н.В.<sup>1,2</sup>, Чхетиани О.Г.<sup>1,3</sup>, Максименков Л.О.<sup>1</sup>, Курганский М.В.<sup>1</sup>  
[ifanataly@gmail.com](mailto:ifanataly@gmail.com)

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>3</sup>Институт космических исследований РАН

Спиральность характерна как для средних движений, так и для турбулентности в атмосферном пограничном слое (АПС). Она является полезной диагностической характеристикой целого спектра геофизических и астрофизических течений. Особый интерес вызывает возможный прогностический смысл спиральности и ее роль в генезисе и динамике интенсивных вихревых процессов в атмосфере и океане.

В настоящем исследовании проводится вычисление спиральности на основе экспериментальных данных, сравнение с теоретическими оценками, и исследование возможности использования спиральности как диагностического фактора.

В условиях отсутствия сильной конвекции обнаружена хорошая корреляция временного хода интегральной по слою спиральности, рассчитанной по данным экспериментов по акустическому зондированию АПС (Калмыкия (2007 г.), Цимлянск (2012 г.), Шпицберген (2009 г.)), с ходом квадрата скорости ветра на верхних уровнях зондирования (400-800 м). Это позволяет надеяться использовать данные о ветре в свободной атмосфере для построения оценочного регионального и глобального поля спиральности.

Для плотности спиральности крупномасштабных движений получены значения 0.3-0.4 м/с<sup>2</sup>. Спиральность заметно возрастает в ночных низкоуровневых струйных течениях – до 0.8 м/с<sup>2</sup>. Средняя по слою спиральность в АПС близка к оценкам для турбулентной спиральности в 0.02-0.12 м/с<sup>2</sup>.

По данным ре-анализа (ECMWF) для внетропических широт северного полушария за 2010 год анализируются глобальные поля спиральности в пограничном слое.

Исследования выполнены при поддержке РФФ (проекты № 14-17-00124, № 14-17-00806).

## НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖИМЫ ПЛАЗМЕННОГО ЦИКЛОТРОННОГО МАЗЕРА В НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЕ

Викторов М.Е., Голубев С.В., Господчиков Е.Д., Мансфельд Д.А., Шалашов А.Г.

[mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru](mailto:mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В работе представлены результаты исследования процессов генерации электромагнитных волн при циклотронной неустойчивости в плазме, создаваемой и поддерживаемой мощным миллиметровым излучением гиротрона в прямой аксиально-симметричной магнитной ловушке в условиях электронного циклотронного резонанса (ЭЦР разряд). При помощи современных средств диагностики были изучены динамические спектры электромагнитного излучения неравновесной плазмы в широком диапазоне частот. Обнаружено пять различных режимов функционирования плазменного циклотронного мазера, реализующиеся на разных стадиях разряда. В работе проведен анализ квазилинейной стадии развития неустойчивости для разных физических условий, реализуемых в эксперименте. Показано, что режимы, реализуемые на разных стадиях разряда, могут быть описаны с единых позиций на основе уравнений двухуровневого мазера. В докладе также обсуждается взаимосвязь наблюдаемых в лаборатории динамических режимов циклотронной неустойчивости с аналогичными явлениями, протекающими во внутренней магнитосфере Земли.

## РАСЧЁТ И ИЗМЕРЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИСКОВЫХ ЛАЗЕРАХ

Волков М.Р.

[bearuck@mail.ru](mailto:bearuck@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

При генерации и усилении мощного лазерного излучения в твердотельных лазерах возникает проблема отведения тепла из активной среды. Эту проблему можно решать путём увеличения отношения площади к объёму активного элемента. В дисковом лазере использована именно такая концепция [1], [2]. Он работает по схеме «активное зеркало», апертура которого значительно больше его толщины. Несмотря на эффективный отвод тепла, при высоких мощностях накачки и сигнала термонаведённые эффекты (фазовые аберрации) становятся существенными, в частности, из-за изгиба зеркальной поверхности активного элемента [3]. В данной работе исследуются такие эффекты и возможности их компенсации.

В работе были измерены фазовые профили пробного пучка, прошедшего через активный элемент, при помощи интерферометра Майкельсона. Температурные распределения наружного торца активного элемента были записаны с помощью тепловой камеры. Также были измерены мощности накачки и генерируемого лазерного излучения. Расчёт температуры и фазовых искажений проводился на основе уравнения теплопроводности и уравнений теории упругости. В качестве источников тепла в модели учитывались только дефект кванта при накачке. При расчёте деформаций были учтены упругие взаимодействия с металлическим радиатором, к которому припаян активный элемент. Фазовые искажения пробного пучка вычислены в приближении тонкой линзы. Рассчитанная температура поверхности и фазовый профиль сравниваются с измеренными величинами.

Анализ полученных данных показывает, что фактическое температурное поле поверхности отличается от расчётного. Неоднородное распределение температуры приводит к тепловому расширению, изгибу активного элемента и появлению неоднородности показателя преломления. В эксперименте температура на краю диска оказывается выше, чем в расчёте. Видимое отличие может быть вызвано нагревом среды за счёт люминесценции. Планируется правильно учесть этот источник тепла, т.е. измерить коэффициенты поглощения, рассчитать интенсивность люминесценции.

[1] - A. Giesen and J. Speiser, "Fifteen years of work on thin-disk lasers: results and scaling laws", IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 13 (3), 598 (2007)

[2] - Tadashi Kasamatsu and Hitoshi Sekita, "Laser-diode-pumped Nd:YAG active-mirror laser," Appl. Opt. 36, 1879-1881 (1997)

[3] - I. I. Kuznetsov, I. B. Mukhin, D. E. Silin, A. G. Vyatkin, O. L. Vadimova, and O. V. Palashov, "Thermal effects in end-pumped Yb:YAG thin-disk and Yb:YAG/YAG composite active element," IEEE J. Quantum Electron. 50(3), 133–140 (2014).

## ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОД ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ

Гаврилов А.С., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М.

[gavrilov@ipfran.ru](mailto:gavrilov@ipfran.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В настоящее время при исследовании сложных пространственно-распределенных систем, таких как климатическая система Земли или нейросистемы, является актуальным эмпирическое моделирование, которое, в свою очередь, требует развития эффективных способов построения фазовых переменных по наблюдаемым данным, учитывающих динамические свойства системы. Одно из последних исследований показало, что разложение на нелинейные динамические моды (НДМ) способно решать эту задачу и предоставлять адекватные фазовые переменные при анализе климата [1].

НДМ представляет собой логическое обобщение линейной пространственно-временной структуры: она строится в форме нелинейного (вместо линейного) отображения скрытого скалярного сигнала в пространство наблюдаемых переменных, т. е. является проекцией зависящего от времени многомерного вектора данных на нелинейную кривую (вместо прямой). Временной ряд скрытой переменной и параметры нелинейного отображения ищутся одновременно с помощью Байесового подхода, в который заложено динамическое априорное ограничение, фактически регулирующее характерный временной масштаб, представленный в скрытом сигнале. Оптимальная степень нелинейности отображения и оптимальный временной масштаб определяются с помощью Байесовой обоснованности.

В данной работе сделан следующий шаг в развитии описанного метода: искомый скрытый временной сигнал считается не скалярным, а векторным (многомерным). Геометрически это позволяет описывать наблюдаемые данные с использованием многомерных многообразий вместо разложения их в сумму одномерных кривых. Оптимальная размерность многообразия находится также с помощью Байесовой обоснованности. Демонстрируются и обсуждаются эффективность метода на простых модельных примерах и результаты применения к климатическим данным.

Работа выполняется при поддержке правительства Российской Федерации (соглашение #14.Z50.31.0033 с институтом прикладной физики РАН).

1. Mukhin, D., Gavrilov, A., Feigin, A., Loskutov, E., & Kurths, J. (2015). Principal nonlinear dynamical modes of climate variability. *Scientific Reports*, 5, 15510. <http://doi.org/10.1038/srep15510>

# **ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛНАХ В АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ**

Гарасёв М.А., Деришев Е.В.  
[garasyov@gmail.com](mailto:garasyov@gmail.com)

Институт Прикладной Физики РАН, Нижний Новгород

Представлены результаты численного моделирования развития вейбелевской неустойчивости в области перед фронтом ударной волны методом частиц в ячейках. Выявлена зависимость величины и пространственного масштаба поля насыщения от толщины ударной волны. Исследована зависимость скорости затухания магнитного поля от параметров ударной волны. Обсуждается связь полученных результатов с релятивистскими ударными волнами, возникающими на этапе послесвечения гамма-всплесков.

## НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В НАКЛОННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Гашков М.А., Зубарев Н.М., Кочурин Н.М.

[gashkov@iep.uran.ru](mailto:gashkov@iep.uran.ru)

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Известно [1], что достаточно сильное внешнее электрическое поле, направленное по нормали к невозмущенной границе непроводящей жидкости, приводит к развитию неустойчивости поверхности. Напротив, тангенциальное электрическое поле стабилизирует поверхность жидкости [2]. Внешнее поле, направленное под углом к поверхности, может как стабилизировать, так и дестабилизировать границу жидкости. Характер влияния наклонного поля зависит от угла наклона и величины диэлектрической проницаемости жидкости [3]. Интерес к исследованию динамики поверхности жидкости в наклонном электрическом или магнитном поле обусловлен возможностью управления ее поведением.

В настоящей работе показано, что нелинейная динамика свободной поверхности непроводящей жидкости в наклонном электрическом поле может быть эффективно описана аналитически в ситуации, когда электростатические силы доминируют над капиллярными и гравитационными. Для волн малой, но конечной амплитуды в рамках гамильтоновского формализма [4] получены интегро-дифференциальные уравнения, описывающие распространение волн в направлении горизонтальной составляющей поля. Эти уравнения могут быть решены аналитически в частном случае жидкости со значительной диэлектрической проницаемостью. Согласно найденным решениям, нелинейные волны произвольной геометрии способны распространяться без искажений [5], что, в целом, аналогично волнам в горизонтальном поле [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума УрО РАН (проект 15-8-2-8) и РФФИ (проекты 16-08-00228 и 16-38-00180). Работа одного из авторов (Е.А.К.) поддержана РФФИ (проект 16-38-60002 мол\_а\_дк).

1. J.R. Melcher // Phys. Fluids. 1961. Vol.4. P. 1348.
2. J.R. Melcher, W.J. Schwarz Jr. // Phys. Fluids. 1968. Vol.11. P. 260.
3. В.Г. Баштовой // ПМТФ, 1978. В. 1. С. 81.
4. В.Е. Захаров // ПМТФ, 1968. В. 2. С. 86.
5. М.А. Гашков, Н.М. Зубарев, Е.А. Кочурин // ЖЭТФ. 2015. Т. 148. С. 630.
6. Н.М. Зубарев // Письма в ЖЭТФ, 2009. Т. 89. С. 317.

## РОЛЬ СУПЕРРЕГУЛЯРНЫХ БРИЗЕРОВ В РАЗВИТИИ МОДУЛЯЦИОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Гелаш А.А.

[agelash@gmail.com](mailto:agelash@gmail.com)

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

Задача о нелинейной стадии модуляционной неустойчивости в рамках интегрируемого нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) является предметом исследований в течении долгого времени. В рамках данной задачи существенный прогресс недавно был достигнут в исследованиях формирования интегрируемой турбулентности [1], роли непрерывного спектра [2] и аналога возврата Ферми-Паста-Улама [3].

В 2013 году мы предложили солитонный сценарий развития модуляционной неустойчивости [4], который, вместе с рациональными решениями (такими как бризер Перегринна) и решениями близкими к рациональным (солитон Кузнецова с большим периодом) формируют полный класс солитонных решений, описывающих эволюцию малых локализованных возмущений конденсата. Суперрегулярные решения представляют собой пары бризеров которые возникают из возмущений конденсата и убегают в разные стороны.

В докладе представлены результаты работы [2], в которой подобный сценарий впервые подтвержден экспериментально. Эксперименты проводились одновременно в оптике и гидродинамике и продемонстрировали прекрасное согласие с теорией. Обсуждается роль суперрегулярных решений в эволюции произвольного начального возмущения. Кроме того представлены новые результаты моделирования многосолитонной динамики и новый сценарий формирования волн-убийц из суперрегулярных решений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (волновая турбулентность: теория, математическое моделирование, эксперимент) № 14-22-00174.

[1] D S Agafontsev and V E Zakharov. Integrable turbulence and formation of rogue waves, *Nonlinearity*. 28(8), 2791, 2015

[2] G. Biondini and D. Mantzavinos. Universal nature of the nonlinear stage of modulational instability, arXiv:1511.00951, 2015.

[3] E. A. Kuznetsov. Fermi-Pasta-Ulam Recurrence and Modulation Instability, PMNP 2015, book of abstracts, p. 39, 2015.

[4] V.E. Zakharov and A.A. Gelash. Nonlinear stage of modulation instability, *Physical review letters*, 111(5), 054101, 2013.

[5] B. Kibler, A. Chabchoub, A. Gelash, N. Akhmediev and V.E. Zakharov. Superregular Breathers in Optics and Hydrodynamics: Omnipresent Modulation Instability beyond Simple Periodicity, *Physical Review X*, 5(4), 041026, 2015.

## НАГРУЗКА ПЛАЗМЕННОЙ ПОЛОСТИ ЭЛЕКТРОННЫМ СГУСТКОМ В ГЛУБОКОМ ПЛАЗМЕННОМ КАНАЛЕ

Голованов А.А.<sup>1,2</sup>, Костюков И. Ю.<sup>1,2</sup>, Томас Й.<sup>3</sup>, Пухов А.М.<sup>2,3</sup>

[agolovanov@appl.sci-nnov.ru](mailto:agolovanov@appl.sci-nnov.ru)

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup>Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

В последнее время достаточно много внимания уделяется плазменным методам ускорения заряженных частиц, которые позволяют достичь на несколько порядков более высоких темпов ускорения по сравнению со стандартными методами [1]. Смысл этих методов заключается в том, что при прохождении через плазму мощного лазерного импульса или сгустка заряженных частиц в ней возбуждается кильватерная волна с большим продольным электрическим полем. Одним из наиболее перспективных режимов плазменного ускорения является сильно-нелинейный режим, при котором образуется структура волны в виде полости, в которой практически полностью отсутствуют электроны плазмы. Однако для этого режима существует сложность в получении сгустков с малым разбросом по энергии и малым эмиттансом.

В качестве одного из возможных вариантов улучшения качества ускоряемых сгустков предлагается использовать глубокий канал в плазме [2]. В связи с этим представляет интерес и теоретическое описание плазменной полости в плазме с глубоким каналом. Несмотря на принципиальную нелинейность процесса, с помощью достаточно простой модели удастся описать огибающую плазменной полости в однородной плазме [3]. Тем не менее, она не годится для случая плазмы с каналом.

В данной работе эта модель обобщена на случай поперечно-неоднородной плазмы [4]. С использованием полученной модели рассмотрено, каким образом наличие канала в плазме влияет на форму плазменной полости без электронного сгустка. В общем случае найдена эффективность передачи энергии от полей плазменной полости к ускоряемым электронам и рассмотрено влияние электронного сгустка с прямоугольным профилем на форму плазменной полости. Также показано, что можно подобрать такой профиль ускоряемого сгустка, что его ускорение будет происходить в однородном поле, что должно положительно сказаться на качестве ускоряемого сгустка. Полученные результаты применены к частным случаям степенного профиля плазмы и плазмы с вакуумным каналом, а также проверены при помощи 3D PIC моделирования, которое показывает хорошее согласие между предсказаниями модели и численным экспериментом.

Работа поддержана Правительством РФ (проект № 14.B25.31.0008) и РФФИ (гранты №№ 13-02-00886, 15-02-06079).

1. И.Ю. Костюков, А.М. Пухов, Успехи физических наук **185**, 89–96 (2015)
2. A. Pukhov et al., Phys. Rev. Lett. **113**, 245003 (2014)
3. W. Lu et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 165002 (2006)
4. J. Thomas et al., arXiv:1510.09012 (2015)

## ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО СОЛИТОНА В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Горбунова А.О., Завершинский И.П.

[anastasiia.gorbunova@s-5.ru](mailto:anastasiia.gorbunova@s-5.ru)

Самарский государственный аэрокосмический университет

Целью работы является исследование механизмов образования солитоноподобных структур импульсно-периодического высокочастотного емкостного разряда в закрученном газовом потоке. Форма разряда в газовом потоке зависит как от электромагнитного поля, так и от параметров течения газа. В эксперименте [1] показано, что при частотах модуляции разряда, близких к собственной частоте закрытого резонатора, происходит возбуждение акустической стоячей волны. При этом разряд принимает форму плазменного шнура, на котором возникает петлевая структура, движущаяся по направлению потока.

Петлевая форма плазменного шнура связана с развитием вторичного спирального течения, которое определяет тепловые потоки и образование разрядного канала. Спиральное течение, возмущающее основной поток на оси, происходит при усилении изгибных мод с азимутальными волновыми числами  $m = +1$  и  $m = -1$ . Наблюдаемый переход к разряду петлевой формы при возбуждении акустического поля указывает на резонансное взаимодействие основной акустической моды с изгибными модами возмущённого потока и перекачку энергии из акустического поля в спиральные моды. Показано, что дисперсионное соотношение для изгибных волн вихря Ренкина допускает существование резонансных триад для взаимодействий такого рода.

Получены уравнения для возмущений поля скоростей, описывающие трехволновое взаимодействие акустической моды с двумя изгибными. Полученная система уравнений имеет квазистационарное решение в виде бегущей уединённой волны. Анализ вектора отклонения вихревой линии в таком поле возмущений скоростей показал, что вихревая линия принимает форму спирали, ограниченной огибающей. При определённых параметрах, определяемых амплитудой акустической моды и длительностью уединённой волны возмущений, ширина огибающей сокращается, а величина её максимума растёт, и вихревая линия принимает вид петли, которая перемещается и вращается по направлению основного течения. Форма вихревой структуры и её зависимость от параметров подобны солитону Хасимото [2].

Зависимость формы вихревого солитона от амплитуды акустического поля и проведённые оценки характерных размеров солитона указывают на соответствие экспериментальным данным [1].

Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 102, 608.

[1] Klimov A.I. et. al. // ISTC Project No. 3794P. 2010. Quarterly Techn. Rep. Part 10. P. 1-29.

[2] Алексеенко С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 504 с.

## ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ЛАТЕРАЛЬНО СВЯЗАННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ СТРУКТУР

Грачев А.А., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шешукова С.Е., Шараевский Ю.П.  
[stig133@gmail.com](mailto:stig133@gmail.com)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

В последнее время большой интерес представляет исследование волноведущих слоистых структур типа феррит-сегнетоэлектрик (ФС), демонстрирующих электронную перестройку [1,2] вследствие наличия одновременно магнитоэлектрического и электродинамического эффектов. На основе связанных ФС-структур возможно создание перестраиваемых электрическим полем СВЧ фазовращателей и ответвителей [1]. Экспериментально показано, что связь между электрической и магнитной подсистемами дает возможность изменять диэлектрические свойства с помощью магнитного поля для слоистых ФС структур [2], однако связанные ФС структуры в настоящий момент исследованы недостаточно подробно.

В данной работе рассмотрено распространение электромагнитных спиновых волн (ЭМСВ) в латерально связанных мультиферроидных структурах конечной ширины [3], образованных из тонкопленочных магнитных волноводов с сегнетоэлектрической нагрузкой и рассчитаны характеристики ответвителя мощности на основе данной связанной структуры. Рассмотрены магнитные волноводы толщиной 10 мкм и шириной 200 мкм, зазор между волноводами составляет 40 мкм и располагающийся на волноводах сегнетоэлектрический (СЭ) слой, толщиной 200 мкм и шириной 840 мкм. Рассматривается распространение поверхностной волны в пленке в направлении оси  $z$ . Внешнее магнитное поле  $H_0$  направлено вдоль положительного направления оси  $x$ , и величина его составляет 1200 Э. Численное моделирование проводилось методом конечных элементов (МКЭ). Расчетная область для численного моделирования и распределение полей первых собственных мод для данной структуры показана на рис.1.

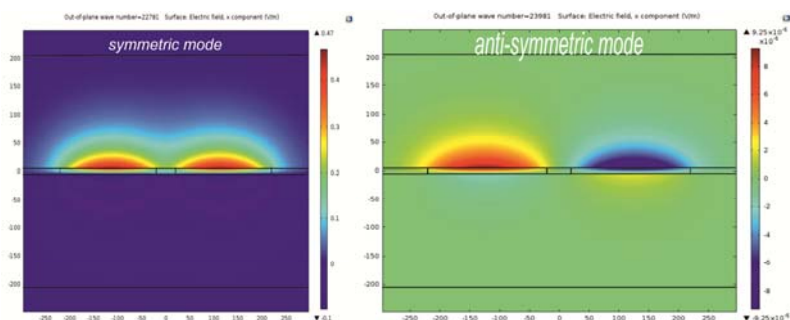


Рис. 1. Расчетная область (слева) и распределение компоненты поля  $E_x$  (справа) для собственных симметричных и антисимметричных мод данной структуры

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (16-37-60093 мол\_а\_дк, 14-02-00577, 14-02-00976) и стипендии Президента РФ (СП-313.2015.5).

1. Nan Ce-Wen et. al.// J. Appl. Phys. 103 (2008) 031101.
2. Semenov A.A., et al. // APL 88 (2006) 033503.
3. Beginin E.N., et al. // Solid State Phenomena 215 (2014) 389.

## МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИНАМО В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Дементьева С.О.

[svetadem91@mail.ru](mailto:svetadem91@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В настоящее время, несмотря на существование хорошо развитой теории магнитного динамо, проблема электрического динамо почти не изучена. Однако множество явлений (например, электрические разряды в грозах, пылевых и снежных бурях, возникновение сильных электрических полей на технологических установках) можно рассматривать как проявления электрического динамо.

В данной работе рассматривается теория крупномасштабного турбулентного электрического динамо, описывающая преобразование кинетической энергии в энергию электрического поля в слабопроводящей среде, содержащей два типа частиц с различными характеристиками. Крупномасштабное динамо возникает за счет разделения заряда на соударяющихся частицах, что заметно усиливается турбулентным перемешиванием частиц с различными массами. Для построения модели турбулентного электрического динамо выделены два основных типа механизмов разделения заряда – индукционный и безындукционный – в соответствии с зависимостью или независимостью электрического заряда, переносимого за соударение, от электрического поля. Детально исследованы условия возникновения крупномасштабного электрического динамо при индукционном механизме разделения заряда. Выявлено, что, если проводимость среды достаточно низка, а электрические процессы, определяемые интенсивностью турбулентного перемешивания и размерами частиц, достаточны сильны, электрическое поле растет экспоненциально. Для безындукционного механизма найдены условия, при которых наблюдается линейный рост электрического поля, что означает переход от мелкомасштабного к крупномасштабному электрическому динамо.

Одной из главных целей данного исследования было рассмотрение теории крупномасштабного турбулентного электрического динамо применительно к турбулентному пограничному слою. Результатом работы стало развитие упрощенной модели, которая демонстрирует условия генерации крупномасштабного электрического поля и его особенности при различных механизмах разделения заряда.

## ПРОЦЕСС МАССОПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ В СЛУЧАЕ КВАЗИЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА

Долгих Т.Ф. , Жуков М.Ю., Ширяева Е.В.

[dolgikh@sfedu.ru](mailto:dolgikh@sfedu.ru)

Южный федеральный университет

Процесс переноса вещества под действием электрического поля в бездиффузионном приближении, как правило, описывается системой квазилинейных гиперболических уравнений в частных производных первого порядка. В частности, такие уравнения описывают зональный электрофорез — метод разделения смеси на индивидуальные компоненты, который широко используется в медицине и биологии.

Оказалось, что при некоторых значениях параметров переноса тип уравнений становится эллиптическим. Рассматривается простейший случай системы, состоящей из двух уравнений. Такая система всегда приводится к инвариантам Римана. В случае эллиптических уравнений, инварианты Римана являются комплексно сопряженными.

Один из вариантов метода годографа, базирующийся на наличии законов сохранения, позволяет построить аналитическое решение задачи Коши в неявной форме в виде алгебраических соотношений. Обычно метод годографа используется для гиперболических уравнений. Однако, как оказалось, формально такой метод применим и в случае уравнений эллиптического типа. Для восстановления явной формы решения по его неявной форме предложен численно-аналитический метод, позволяющий преобразовать исходную задачу для системы уравнений в частных производных первого порядка с начальными данными в некоторую задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которая решается численно. Основная идея метода заключается в соответствующей параметризации линий уровня неявного решения, точнее, линий уровня, отвечающих заданным моментам времени. Указанный метод позволяет строить многозначные решения, если таковые имеются, и является более эффективным, чем метод решения алгебраических уравнений с целью построения явного решения задачи.

В качестве примера для задачи электрофореза рассмотрены пространственно-периодические начальные данные, соответствующие возмущению (не обязательно малому) постоянного решения. Результаты вычислений показывают, что с течением времени пространственно периодическое возмущение исчезает, превращаясь в солитоноподобный и кинкообразные профили соответственно для мнимой и вещественной частей инвариантов Римана. Для переменных исходной задачи (вещественных концентраций) с течением времени возникает структура, состоящая из кноидальных неподвижных волн с растущей во времени амплитудой. Такое поведение решений типично для неустойчивых квазигазовых сред (типа газа Чаплыгина).

Предлагаемый метод возможно использовать и для решения аналогичных задач, в частности, для уравнений опрокинутой мелкой воды, уравнений плотного солитонного газа, уравнений Борна—Инфельда.

Работа выполнена при финансовой поддержке базовой части технического задания 213.01-11/2014-1 Министерства образования и науки РФ, Южный федеральный университет, и в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности.

## ГЕНЕРАЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВЧ ИМПУЛЬСОВ СВЕРХСВЕТОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Долматов Т.В., Гарнов С.В., Брендель В.М., Букин В.В.  
[timohodik@gmail.com](mailto:timohodik@gmail.com)

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук

Реализован сверхсветовой генератор СВЧ импульсов на основе параболического вакуумного фотодиода, выполненного в виде фотокатода из иодида меди CuI и сетчатого анода. Фотодиод заряжался импульсами напряжения амплитудой до 80 кВ, после чего разряжался ультракоротким (менее 20 пс) оптическим импульсом с длиной волны 193 нм, равномерно распределяющимся по поверхности фотокатода посредством зеркала-рассеивателя. Слой электронов, эмитированных с фотокатода, ускорялся сеточным потенциалом, и в момент перехода через сетку образовал диполь,двигающийся по сетке со скоростью, большей скорости света, таким образом генерируя импульс сверхширокополосного СВЧ-излучения. Полученный СВЧ-импульс регистрировался полосковой антенной осциллографическими методами. Пиковое значение напряженности электрического поля полученных СВЧ-импульсов составило 50 кВ/м на расстоянии 3 метра от излучателя. Ширина спектра полученных в максимуме диаграммы направленности импульсов по уровню 90% энергии составила 5 ГГц (от 2 до 7 ГГц) с центральной частотой в районе 5 ГГц. Также в работе представлено пространственное спектральное распределение излучения реализованного генератора.

## ИСТОЧНИК АКТИВНОГО АТОМАРНОГО АЗОТА НА ОСНОВЕ ЭЦР РАЗРЯДА, ПОДДЕРЖИВАЕМОГО ИЗЛУЧЕНИЕМ ГИРОТРОНОВ

Дубинов И.Д.

[Goshadub@gmail.com](mailto:Goshadub@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Наиболее интересным соединением группы АЗВ5 является нитрид индия. Он имеет узкую ширину запрещенной зоны и высокую ожидаемую подвижность электронов, может быть использован для создания солнечных батарей и лазеров ИК диапазона. Единственным способом получить InN является эпитаксиальный рост. Хорошие гетероэпитаксиальные слои нитрида индия могут быть получены с помощью метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Для реализации этого метода необходим источник атомарного азота. Измерение параметров источника атомарного азота необходимо для получения наилучших условий для эпитаксиального роста. В данной работе, я привожу результаты измерения параметров источника атомарного азота на основе плазмы электронного циклотронного резонанса (ЭЦР) разряда, которое поддерживается с помощью микроволнового излучения на частоте 24 ГГц для роста InN и InGaN.

## О ВЛИЯНИИ ТОЛЩИНЫ ТЕРМОКЛИНА НА ДИНАМИКУ ТУРБУЛЕНТНОЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУИ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ

Ежова Е.В.

[eezhova@mech.kth.se](mailto:eezhova@mech.kth.se)

Linné FLOW Centre and SeRC (Swedish e-Science Research Centre),  
KTH Mechanics, Stockholm, Sweden

Выполнено численное моделирование вертикальной осесимметричной турбулентной струи кругового сечения в стратифицированной жидкости методом крупных вихрей с высоким разрешением (LES). Моделирование проведено на суперкомпьютере с использованием параллельного кода Nek5000, разработанного для решения уравнений гидродинамики несжимаемой жидкости методом спектральных элементов, преимуществами которого являются высокая точность решения и возможность моделирования сложных геометрических конфигураций.

Моделирование проведено при двух различных значениях толщины термоклина, одно из которых существенно меньше диаметра струи на входе в термоклон, а другое — приблизительно равно ему. Число Фруда струи на входе в термоклон меняется от 0.6 до 1.9, что соответствует режиму «слабых» фонтанов. В работе исследуются средняя высота фонтана в стратифицированной жидкости, турбулентное вовлечение жидкости струей в области термоклина, колебания струи в области термоклина и генерация внутренних волн.

Модель LES в Nek5000 верифицирована на модельной конфигурации вертикальной турбулентной струи в однородной жидкости: рассчитаны зависимость средней вертикальной скорости на оси струи от координаты, а также профили средней вертикальной скорости струи и турбулентных напряжений в автотельных координатах и показано, что они согласуются с результатами экспериментов и прямого численного моделирования (DNS).

Показано, что средняя высота фонтана может быть описана простой теоретической моделью, основанной на законе сохранения энергии источника и учитывающей особенности «слабых» фонтанов.

Турбулентное вовлечение жидкости в области термоклина характеризуется коэффициентом вовлечения, который выражает соотношение между количеством вовлекаемой жидкости и расходом жидкости в струе на входе в термоклон. Рассчитанные по данным LES коэффициенты согласуются с результатами теоретической модели для двухслойной стратификации с резкой границей раздела в случае тонкого термоклина, и превышают их при малых числах Фруда в случае широкого термоклина. Для стратификации с широким термоклином обнаружено горизонтальное течение в верхней его части, противоположно направленное с течением, возникающим в результате интрузии струи на горизонте нейтральной плавучести. При этом струя вовлекает жидкость из термоклина, а не из верхнего слоя стратификации, как в случае тонкого термоклина, даже когда фонтан проникает через термоклон.

Спектры колебаний струи в термоклине имеют 2 пика, на одних и тех же частотах при фиксированном числе Фруда и различной толщине термоклина. При этом в случае широкого термоклина внутренние волны распространяются лишь на нижней частоте, а верхняя превышает максимальную частоты плавучести. В случае тонкого термоклина обе частоты колебаний струи находятся в диапазоне распространения внутренних волн, но при наибольших числах Фруда, рассмотренных в данной работе, в спектре внутренних волн наблюдается один пик, близкий к нижней частоте колебаний струи.

## ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК В ГАЗАХ ЛАЗЕРНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА: ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ИМПУЛЬСА НА ФОРМУ СПЕКТРА ГАРМОНИК

Емелина А.С., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю.

[emelin@ufp.appl.sci-nnov.ru](mailto:emelin@ufp.appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Достигнутый в последнее время значительный прогресс в создании мощных фемтосекундных параметрических лазерных источников излучения ближнего и среднего ИК диапазонов (с длинами волн  $\lambda_0$  в диапазоне от 1.3 до 4 мкм) стимулировал активные исследования в области взаимодействия такого излучения с веществом, в том числе в области генерации высоких гармоник. Пропорциональность осцилляторной энергии электрона квадрату длины волны лазерного излучения позволяет, в частности, значительно расширить плато в спектре гармоник высокого порядка в высокочастотную область при использовании источников среднего ИК диапазона. При этом энергия эффективно генерируемых фотонов может достигать нескольких кэВ и даже десятков кэВ, что практически недостижимо при использовании лазерных источников с длинами волн менее 1 мкм. Кроме этого, интенсивность излучения высоких гармоник, генерируемых с помощью источников среднего ИК диапазона, резко нарастает на самом краю плато. Эта особенность спектров генерируемого излучения может быть использована для формирования аттосекундных биений при ионизации газа предельно коротким лазерным импульсом.

Однако с ростом длины волны лазерного излучения возрастает роль недипольных эффектов. Магнитная составляющая силы Лоренца приводит к искажению траектории электрона при его движении в свободном пространстве. В результате снижаются вероятность рекомбинации электрона с родительским ионом и, соответственно, эффективность преобразования лазерного излучения в рентгеновский диапазон. С ростом  $\lambda_0$ , из-за возрастания скорости движения электрона в свободном пространстве, влияние магнитной составляющей силы Лоренца возрастает. Поэтому при генерации высоких гармоник источниками среднего ИК диапазона роль недипольных эффектов обычно весьма существенна. При этом магнитный дрейф электрона может приводить не только к общему снижению эффективности генерации высоких гармоник.

В работе показано, что магнитное поле лазерного импульса среднего ИК диапазона влияет на форму спектра генерируемого излучения. Также продемонстрировано, что магнитный дрейф электрона не всегда играет отрицательную роль, а в ряде случаев дает положительный эффект.

## ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКИХ ГАРМОНИК В ГАЗОВЫХ СРЕДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЦВЕТНЫХ СКРЕЩЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Емелина А.С.<sup>1</sup>, Емелин М.Ю.<sup>1</sup>, Стрелков В.В.<sup>2</sup>

[ana\\_b@rambler.ru](mailto:ana_b@rambler.ru)

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

В последние несколько лет достигнут значительный прогресс в создании мощных фемтосекундных параметрических лазерных источников излучения ближнего и среднего ИК диапазонов. Квадратичная зависимость осцилляторной энергии электрона от длины волны лазерного излучения позволяет добиться значительного расширения плато в спектре высоких гармоник, генерируемых при ионизации газов с использованием таких источников, что позволит создавать компактные источники когерентного излучения с энергией квантов порядка нескольких кэВ. Однако существует ряд факторов, которые приводят к существенному снижению эффективности процесса генерации гармоник высокого порядка (ГГВП) с ростом длины волны лазерного излучения. Одним из таких факторов является увеличение времени, которое электрон проводит в свободном пространстве между моментом отрыва от атома и возвратом к родительскому иону. Из-за квантовомеханического расплывания пакета данный фактор приводит к снижению эффективности процесса генерации высокочастотного излучения на отдельно взятом атоме или молекуле пропорционально пятой степени длины волны. Другим существенным фактором, который может сильно ограничивать эффективность конверсии лазерного излучения в высокочастотный диапазон при переходе к источникам среднего ИК, является влияние магнитного поля лазерного излучения. Это влияние выражается в отклонении («магнитном дрейфе») траекторий электронов, движущихся с субрелятивистскими скоростями, от прямолинейных и, как следствие, в уменьшении эффективности механизма ГГВП, в основе которого лежат столкновения электронов с родительскими ионами. Таким образом, повышение эффективности процесса ГГВП при переходе к источникам среднего ИК диапазона является очень острой и актуальной проблемой.

В работе показано, что использование двухцветных лазерных полей скрещенной конфигурации позволяет существенно повысить эффективность процесса ГГВП. В случае скрещенных полей второе поле (вторая гармоника основного поля) позволяет сдвинуть максимум скорости ионизации во времени таким образом, чтобы этот максимум соответствовал определенной электронной траектории. Динамика же электрона в свободном пространстве определяется, главным образом, первым полем; второе поле мало его ускоряет. При этом, для оптимального фазового сдвига между компонентами лазерного поля поперечное смещение электрона за счет второго поля оказывается невелико для заметной части коротких траекторий. Таким образом, подавление генерации за счет поперечного смещения электрона в поле при оптимальном фазовом сдвиге незначительно для большей части коротких траекторий, а усиление генерации за счет большего веса этих коротких траекторий (в силу большего значения поля в "нужные" моменты времени) может быть очень велико при туннельной ионизации. Совокупность вышеупомянутых факторов позволяет значительно усилить выход высоких гармоник при использовании двухцветных лазерных полей со скрещенными поляризациями компонент.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АНСАМБЛЕЙ КУРАМОТО С ПОМОЩЬЮ АКТИВНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Дмитриев А.С., Емельянов Р.Ю., Чибисов В.В.

[chaos@cplire.ru](mailto:chaos@cplire.ru)

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН,  
Московский физико-технический институт

Беспроводная сенсорная сеть в классическом исполнении состоит из набора узлов с датчиками, объединенными в ансамбль посредством радиоканалов. В докладе описываются беспроводные сенсорные сети, узлы в которой способны не только выполнять сбор и передачу данных с сенсоров, но и совершать «активные» действия: управление, обработку и визуальное отображение информации. Назовём такие обобщенные сенсорные сети активными беспроводными сетями.

Каждый узел в активной беспроводной сети (активный узел) реализован в виде пары беспроводной приёмопередатчик — актуатор. Актуаторы — специальные управляющие устройства, способные влиять каким-либо образом на окружающую среду. В данном случае это платы, оснащенные микроконтроллерами, как вычислительным средством, и многоцветными светодиодами, как средством визуализации. Актуаторы способны взаимодействовать с приёмопередатчиками посредством специального интерфейса.

Связь между динамическими системами на разных узлах активной беспроводной сети осуществляется посредством радиоканала. Передача данных пакетная, при этом данный подход позволяет обеспечить произвольную заданную топологию ансамбля. Это важное свойство достигается за счёт соответствующей адресации передаваемых пакетов. В качестве приёмопередатчиков в эксперименте используются сверхширокополосные беспроводные приёмопередатчики на хаотических радиоимпульсах в СВЧ диапазоне.

Наличие светодиодов на актуаторах позволяет визуально наблюдать динамическую картину ансамбля. Для этого значение одной из переменных, моделируемой на актуаторе, динамической системы отображается на цветовую шкалу (например на тон цвета при фиксированной яркости и насыщенности) и светодиод зажигается согласно проекции этого значения.

В качестве исследуемой динамической системы выбрана модель ансамбля связанных фазовых осцилляторов Курамото. Модель Курамото позволяет наблюдать широкий спектр динамических явлений, таких как синхронизацию, десинхронизацию, динамический хаос — эти явления были реализованы и продемонстрированы с помощью активной беспроводной сети.

В докладе рассматривается методика моделирования при помощи активной беспроводной сети динамических систем и связей между ними, экспериментальные результаты и их анализ.

## ДИНАМИКА ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ СОСТОЯНИЯ В АНСАМБЛЯХ БИСТАБИЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ШУМА

Есир П.М., Симонов А.Ю., Гордлеева С.Ю.

[esirpavel@gmail.com](mailto:esirpavel@gmail.com)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

Во многих моделях нейронов найден режим бистабильности, в котором нейрон обладает двумя устойчивыми состояниями и в зависимости от начальных условий может либо генерировать спайки с постоянной частотой, либо находиться в состоянии равновесия. Сети таких нейронов могут иметь множество устойчивых аттракторов, а соответствующие им паттерны сетевой активности являются основой для формирования рабочей памяти в мозге. В данной работе мы исследуем сеть из нейронов Ходжкина-Хаксли, расположенных в единичном объёме и соединённых синаптическими связями. В качестве входного сигнала был выбран пуассоновский процесс, независимые реализации которого подавались на все нейроны сети. Задержки распространения сигнала были пропорциональны физическому расстоянию между нейронами.

Результаты численных расчётов показали, что сетевая динамика характеризуется тремя режимами. В одном режиме почти все нейроны сети находятся в состоянии генерации спайков (верхнее состояние), при этом некоторые из них переходят в состояние покоя, возвращаясь в активное состояние. В другом режиме почти все нейроны находятся в состоянии равновесия (нижнее состояние), при этом некоторые из них под влиянием шума время от времени переходят в верхнее состояние, возвращаясь снова в нижнее. Наконец, промежуточный режим характеризуется резкими переходами всей сети из одного состояния в другое. При этом длительности пребывания в каждом из состояний значительно превосходят длительности самих переходов. Обнаружено, что времена пребывания в верхнем и нижнем состояниях, начиная с некоторого значения длительности 1-2 с, имеют отчётливое экспоненциальное распределение, характерное для телеграфного процесса. Эффект повторялся и при возбуждении нейронов белым и розовым шумом вместо пуассоновского, что говорит о его связи с внутренней структурой нейрона и архитектурой сети, а не с природой шума.

Также нами было обнаружено что на эффект большое воздействие оказывают задержки между нейронами, при определённых задержках даже при сильном воздействии шума не происходило переключений из одного состояния в другое. На малых же временах статистика переключений хорошо аппроксимируется степенной функцией. В промежутке между этими пределами функция распределения может быть аппроксимирована взвешенной суммой степенного и экспоненциального распределения, с пороговой функцией в качестве веса. Наличие 2-х распределений на разных масштабах может быть вызвано наличием процессов установления при переходе из одного стабильного состояния в другое, однако этот вопрос требует дальнейшего исследования. Интересным является, то что при выключении шума в различные моменты нахождения сети в верхнем состоянии происходит переход в одно из стабильных колебательных состояний в котором наблюдается частичная синхронизация элементов сети.

Работа поддержана Российским Научным Фондом (соглашение № 14-11-00693). Вычисления производились с использованием СК «Лобачевский» ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

## QED КАСКАДЫ И ДИНАМИКА $e^- e^+$ ПЛАЗМЫ В СХОДЯЩЕЙСЯ ДИПОЛЬНОЙ ВОЛНЕ МУЛЬТИПЕТАВАТТНОГО УРОВНЯ

Ефименко Е.С., Башинов А.В., Гоносков А.А., Муравьев А.А., Ким А.В., Сергеев А.М.  
[evgeny.efimenko@gmail.com](mailto:evgeny.efimenko@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Для получения экстремальных световых полей, проект XCELS предлагает использовать 12 сфокусированных мультипетаваттных лазерных пучков, которые могут быть смоделированы с помощью сходящейся электрической дипольной волны. Известно, что QED каскады, инициированные в области сильного поля, могут сильно повлиять на структуру электромагнитного поля, тем самым ограничивая достижимые интенсивности лазерного излучения. В этом докладе обсуждаются два режима QED каскадов и динамики электрон-позитронной плазмы в сходящейся дипольной волне.

Во-первых, анализируется линейная стадия, на которой QED каскады развиваются в поле заданной структуры. Эта стадия реализуется, когда обратной реакцией создаваемой электрон-позитронной плазмы можно пренебречь. На этом этапе, число пар и гамма фотонов растет экспоненциально. Определяется порог пробоя вакуума, обусловленного балансом двух процессов: созданием электрон-позитронных пар, с одной стороны, и конвективных потерь частиц в неоднородных электромагнитных полях, с другой стороны. Проводится детальное исследование семейства траекторий частиц и спектра излучаемых жестких фотонов. Например, для мощности лазера 100 ПВт и длины волны 0,9 мкм, в конус с половиной угла раскрытия 0,1 рад излучается до  $10^{24}$  фотонов в секунду с максимальной энергией до 6 ГэВ. Этот результат позволяет предложить уникальный источник гамма фотонов.

Во-вторых, с помощью суперкомпьютерного моделирования детально изучаются плазменно-полевые структуры, формируются в процессе взаимодействия сходящейся дипольной волны, фокусируясь, в частности, на их эволюции на переходной стадии к квазистационарному режиму. Следует отметить, что на данном этапе эффективность преобразования энергии в гамма фотоны может достигать 50%. Демонстрируется, что существуют два различных квазистационарных режима. Первый связан с достаточно низкой интенсивности поля, когда структура поля в центральной области меняется незначительно. Этот режим характеризуется докритическими плотностями плазмы в центральной области. Второй режим возникает, когда создаваемая в процессе каскада электрон-позитронная плазма становится слишком плотной, при этом электрическое поле выталкивается из центра области взаимодействия. В этом режиме плотность плазмы может достигать  $10^{27}$  см<sup>-3</sup>. Переход между двумя этими режимами происходит вблизи мощности 20 ПВт.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕННЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СРЕДАХ

Завершинский Д.И.<sup>1,2</sup>, Молевич Н.Е.<sup>1,2</sup>, Рящиков Д.С.<sup>1,2</sup>

[dimanzav@mail.ru](mailto:dimanzav@mail.ru)

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.

Королева (национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Самарский филиал Учреждения Российской академии наук Физического института им.

П.Н. Лебедева РАН

В данной работе исследовалась нелинейная динамика волн в активной плазменной среде, в которой протекают неадиабатические процессы охлаждения и нагрева, зависящие от температуры и плотности. Наиболее наглядным примером среды подобного типа является солнечная атмосфера, в которой охлаждение происходит за счет излучения, а нагрев происходит в результате различных экзотермических реакций. Наличие зависимости неадиабатических процессов от термодинамических параметров может способствовать выводу среды из равновесия и появлению так называемых тепловых неустойчивостей. В ходе нашего исследования мы исследовали влияние изоэнтропической (акустической) тепловой неустойчивости на динамику акустических и магнитоакустических мод. В условиях данной неустойчивости реализуется положительная обратная связь между возмущением и активной средой в результате акустические моды усиливаются, и происходит существенная перестройка структуры распространяющихся волн.

Исследование одномерной динамики волн проводилось в декартовой системе координат с помощью полной системы уравнений магнитной гидродинамики, модифицированной для учета влияния неадиабатических процессов. Считалось, что волны распространяются вдоль оси  $z$ , а вектор магнитного поля направлен под произвольным углом в плоскости  $x$ - $z$ . Кроме того, была учтена диссипация вызванная теплопроводностью и конечной проводимостью среды.

С помощью теории возмущений было получено нелинейное эволюционное уравнение для быстрых и медленных магнитоакустических волн, с точностью величин вплоть до второго порядка малости. Существенным отличием полученного уравнения от существующих аналогов является возможность описать весь спектр возмущения, а не отдельную спектральную область. Полученное нелинейное уравнение способно описать ряд стационарных нелинейных структур, существование которых невозможно в равновесных средах. Форма, параметры и условия реализации возможных структур описаны аналитически. Наиболее интересным является решение в виде автоволнового ударного импульса. Слабые ударные волн ниже порогового значения в процессе распространения распадаются на последовательность подобных импульсов. Данный результат был показан, как на основе численного решения нелинейного уравнения, так и на основе решения исходной системы уравнений. Также численно показано, что подобные автоволновые импульсы обладают свойством восстановления формы поле взаимодействия.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 102, 608 и 1451, ГР 114091840046, грантами РФФИ 13-01-97001, 14-02-97030 p\_поволжье\_a, и стипендией Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики 2013-2015 год, СП-3664.2013.2.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВИСТОВЫХ ВОЛН В ПЛАЗМЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ

Зудин И.Ю., Айдакина Н.А., Гушин М.Е., Коробков С.В.

[zudiniy@appl.sci-nnov.ru](mailto:zudiniy@appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Известно, что радиочастотный нагрев ионосферы мощными наземными радиопередатчиками сопровождается возникновением вытянутых вдоль внешнего магнитного поля возмущений концентрации, которые, при определенных условиях, могут продолжаться в плазмосфере. Результаты натурных экспериментов и лабораторного моделирования свидетельствуют, что данные неоднородности оказывают значительное влияние на распространение свистовых волн. Во-первых, в возмущенных областях регистрируется усиление естественных амплитуд низкочастотных волн, возбуждаемых молниевыми разрядами и наземными низкочастотными передатчиками. Во-вторых, регистрируются эффекты уширения спектров когерентных сигналов [1].

Целью данной работы является численное моделирование распространения свистовых волн в области плазмы, занятой мелкомасштабными возмущениями плотности, вытянутыми вдоль внешнего магнитного поля. Исходя из результатов расчетов, было установлено, что свистовые волны могут распространяться в волноводном режиме вдоль возмущенной области. Существенно, что в этом случае излучение не локализовано в каждой неоднородности по отдельности: волноведущую структуру образует возмущенная область в целом.

Волноводные свойства возмущенных областей оказываются схожими со свойствами крупномасштабных каналов с измененной плотностью: неоднородности с повышенной концентрацией плазмы захватывают квазипродольные свистовые волны, при условии, что частота излучения не превосходит половины гирочастоты электронов. Возмущенные области, содержащие неоднородности с пониженной концентрацией, обеспечивают возможность волноводного распространения волн конической рефракции.

Работа выполнена при поддержке фондов РФФИ (грант №13-02-12241 офи\_м) и РНФ (грант № 14-12-00556)

1. В.Л. Фролов, и др. Тонкая структура дактов плотности, формирующихся при активном радиочастотном воздействии на лабораторную и космическую плазмы. Письма в ЖЭТФ, Т.101, №5, с.342-346 (2015).

## ГЕНЕРАЦИЯ СВЕРХМОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1.25 МКМ

Зуев А.С., Яковлев И.В., Степанов А.Н., Шайкин А.А.

[Alan.zuev@yandex.ru](mailto:Alan.zuev@yandex.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В ИПФ РАН создан лазерный комплекс PEARL, использующий метод параметрического усиления чирпированных импульсов (optical parametric chirped pulse amplification, ОРСПА) с преобразованием частоты. Лазерный комплекс включает в себя фемтосекундный задающий генератор на кристалле хром-форстерита с центральной длиной волны генерации  $\lambda_0=1.25$  мкм, призмочно-решеточный стретчер, три каскада параметрического усиления на кристалле DKDP со степенью дейтерирования 96% и классический четырехрешеточный компрессор. Условия сверхширокополосного синхронизма требуют, чтобы инжектируемое в нелинейный кристалл излучение с  $\lambda_0=1.25$  мкм, имело разброс волновых векторов - угловой чирп. Для создания необходимого углового чирпа в схеме используется стеклянная призма, через которую проходят растянутые в стретчере импульсы задающего генератора, инжектируемые затем в первый каскад параметрического усилителя. В процессе трехволнового взаимодействия в поле излучения накачки с  $\lambda=0.527$  мкм рождается сигнальное коллимированное излучение с  $\lambda_0=0.91$  мкм, которое и усиливается в следующих каскадах. В последнем параметрическом каскаде наряду с усилением сигнального излучения (0.91 мкм) происходит генерация сопряженного по длине волны излучения (1.25 мкм), которое чирпировано по углу. После компенсации углового чирпа и сжатия в компрессоре этот лазерный импульс может быть использован для генерации мощного излучения терагерцового диапазона, имеющего большое количество применений: спектральное исследование состава вещества, ускорение электронов, исследование взаимодействия мощного излучения с веществом и т.д.

С целью получения мощного коллимированного излучения с центральной длиной волны 1.25 мкм предлагается два варианта модификации схемы PEARL.

1) Схема ОРСПА с задающим генератором на Cr:forsterite с центральной длиной волны 1.25 мкм. Рассматривается возможность компенсации углового чирпа излучения с помощью призмы или дифракционных решеток. Коллимированный пучок необходимо сжать в компрессоре до фемтосекундной длительности. При этом для выполнения условия фазового согласования необходимо заменить призмочно-решеточный стретчер на стретчер с триплетом Оффнера.

2) Схема ОРСПА с задающим генератором на Ti:Sa с  $\lambda_0=0.91$  мкм и призмочно-решеточным стретчером. Также как и в предыдущей схеме здесь необходимо компенсировать угловой чирп излучения с  $\lambda_0=1.25$  мкм после последнего каскада усиления.

Основной проблемой в реализации рассматриваемых модификаций является необходимость компенсации углового чирпа широкоапертурного излучения. Поэтому рассмотрена схема ОРСПА с усилением широкополосного коллимированного излучения с центральной длиной волны 1.25 мкм. Проведено сравнение спектральных ширин полос усиления импульсов в нелинейных кристаллах KDP, DKDP, BBO и LBO. Показано, что для эффективного усиления коллимированного излучения с  $\lambda_0=1.25$  мкм в поле накачки с  $\lambda=0.527$  мкм оптимально использовать кристалл DKDP со степенью дейтерирования 70%.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФРОНТА ВЫТЕСНЕНИЯ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИЙ В РАМКАХ МОДЕЛИ БАКЛЕЯ-ЛЕВЕРЕТТА

Иванцов А.О., Любимова Т.П.

[aivantsov@icmm.ru](mailto:aivantsov@icmm.ru)

Институт механики сплошных сред УрО РАН

Проведено численное моделирование динамики фронта вытеснения в пористой среде под действием вибраций в рамках модели Баклея-Левретта. Для описания многофазной среды вводятся функции насыщенности и в каждой точке пространства объемные доли фаз определяются значением этих функций. Движение фаз описывается в соответствии с законом Дарси и законами сохранения массы. При этом предполагается, что скорость течения жидкости в порах линейно зависит от значения функции насыщенности данной фазы. Разработанный численный алгоритм позволяет проводить параллельные вычисления с использованием адаптивной сетки. В ходе расчета исходная сетка делится на блоки одинакового размера. Затем проводится процедура адаптации сетки под решение: в областях, где необходимо проводить вычисления с более мелкой сеткой, создаются новые блоки сетки. Коммуникации между расчетными узлами осуществлялись с помощью библиотеки MPICH2. Уравнение для давления решалось неявно методом сопряженных градиентов с использованием процедуры предобуславливания. Пространственная дискретизация уравнений проводилась методом конечных объемов.

Моделирование динамики фронта вытеснения в пористой среде подтвердило наличие абсолютной неустойчивости фронта вытеснения в случае, если вытесняющая жидкость менее вязкая. В ходе моделирования осаждения изолированного включения (капли другой жидкости) в гравитационном поле показано, что горизонтальный фронт вытеснения устойчив при любом соотношении вязкостей в случае, если вытесняющая жидкость менее плотная. Если плотность вытесняющей жидкости больше, чем вытесняемой, то горизонтальный фронт вытеснения неустойчив, при этом динамика системы зависит от соотношения вязкостей жидкостей. В случае, когда вытесняющая жидкость более вязкая, развивается неустойчивость, аналогичная наблюдаемой ранее при моделировании движения тонкого фронта вытеснения. Если вязкость вытесняющей жидкости меньше, чем вытесняемой, то неустойчивость связана с быстрым ростом толщина фронта вытеснения. Однако, при этом формируется вторичный тонкий фронт вытеснения с меньшим скачком насыщенности сред. Величина скачка насыщенности зависит от соотношения вязкостей. Динамика вторичного фронта аналогична наблюдаемой в случае, когда вытесняющая жидкость более вязкая.

Как показали расчеты, вибрации, перпендикулярные фронту вытеснения, оказывают на него стабилизирующее действие. В результате, на переднем фронте движущейся в гравитационном поле капли, т.е. на тех участках ее поверхности, где вибрации перпендикулярны к фронту вытеснения, возмущения полностью подавляются. На тех участках поверхности капли, где вибрации действуют под углом к фронту вытеснения, неустойчивость полностью не подавляется.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-21-00090).

## О МЕТОДАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ДНЕ ОКЕАНА

Иващенко Е.Н.

[en.ivashchenko@gmail.com](mailto:en.ivashchenko@gmail.com)

Нижегородский государственный университет им Н.И. Лобачевского

Изучение эффектов, возникающих при обратном рассеянии акустических волн на дискретных неоднородностях, имеет большое практическое значение, поскольку по измерениям интенсивности рассеянной на них волны могут быть сделаны определенные выводы о характеристиках озвучиваемых объектов. Важную роль в поведении функции интенсивности этой волны могут играть эффекты, возникающие при наличии некоторого распределения неоднородностей по размерам. Кроме того, в задачах дистанционного обнаружения океанических донных неоднородностей важно влияние статистики расположения дискретных рассеивателей на плоскости, поскольку их расположение на дне можно считать равномерным и статистически независимым лишь в первом приближении. Целью данной работы являлось изучение изменений поведения средней интенсивности поля обратного рассеяния, к которым могут привести наличие некоторого распределения неоднородностей по размерам и корреляция их взаимного расположения. Рассматривалась задача дистанционного акустического зондирования дискретных неоднородностей, расположенных случайным образом на слабо отражающем плоском дне. Получены зависимости для компонент средней интенсивности обратного рассеяния акустических волн на дискретных случайных донных неоднородностях. Показано, что наличие рассеивателей разных размеров приводит к увеличению средней интенсивности обратного рассеяния при «звукопрозрачном» дне. Показано, что вклад интерференционного слагаемого, возникающего при учёте влияния подстилающей рассеиватели подложки, в среднюю интенсивность при обратном рассеянии на неоднородностях разных размеров становится незначительным с увеличением среднего размера рассеивателей. Качественно этот эффект может быть объяснен тем, что наличие неоднородностей разных размеров, располагающихся на одной плоскости, приводит к «размыванию» фазовых соотношений рассеянных сигналов, в результате не происходит эффективного сложения с отраженным от подложки сигналом. Предложено описание возможной корреляции взаимного расположения рассеивателей и показано, что наличие такой корреляции приводит к существенному изменению средней интенсивности обратного рассеяния. Проведено сравнение рассматриваемых эффектов.

# НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ КОНЦЕНТРАТОРА МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ НЕРЕГУЛЯРНОГО ФЕРРИТОВОГО СУЖАЮЩЕГОСЯ ВОЛНОВОДА

Игангалиев А.Н., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шараевский Ю.П., Никитов С.А.  
[igangaliev@mail.ru](mailto:igangaliev@mail.ru)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Исследование нерегулярных планарных ферритовых волноводов представляет большой интерес в настоящее время, поскольку такая топология волноведущих структур обеспечивает как управление фазовыми характеристиками спиновых волн, так и локализацию энергии волны по мере ее распространения. Последняя особенность представляет интерес для нелинейных приложений на основе нерегулярных структур, изготовленных из тонких пленок железо-иттриевого граната (ЖИГ). Такие структуры могут быть использованы как базовые элементы для создания различных функциональных устройств для магنونных сетей: волноведущих систем, фазовращателей, мультиплексоров, фильтров и ответвителей [1,2].

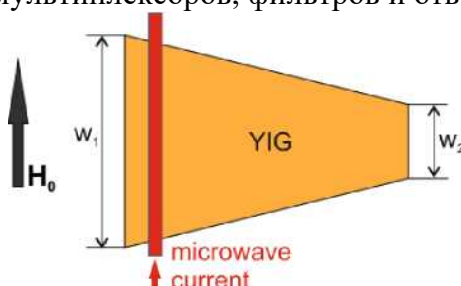


Рис. 1: Схема исследуемой структуры

В данной работе исследована динамика распространения спиновых волн (СВ) в нерегулярном сужающемся ЖИГ волноводе микронных размеров (рис. 1). Рассмотрено влияние анизотропии формы на направление распространения СВ при различных направлениях внешнего магнитного поля. Проведено численное моделирование методом конечных разностей во временной области [3]. Продемонстрирована возможность трансформации модового состава МСВ, распространяющейся в волноводе. Проведено экспериментальное исследование распространения МСВ в нерегулярном сужающемся ЖИГ волноводе методом Манделштам-Бриллюэновской спектроскопии [4]. Результаты численного моделирования находятся в хорошем соответствии с данными экспериментального исследования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (14-02-00976, 13-07-12409).

- [1] Lenk B., Ulrichs H., Garbs F., Munzenberg M. Phys. Rep. **507** (2011) 107.
- [2] Kruglyak V.V., Demokritov S.O., Grundler D. J. Phys. D: Appl. Phys. (2010) **43** 264001.
- [3] Vansteenkiste A., Leliaert J., Dvornik M., Helsen M., Garcia-Sanchez F., Van Waeyenberge B. AIP Advances (2014) **4** 107133.
- [4] Demokritov S.O., Hillebrands B., Slavin A.N. Phys. Rep. **348** (2001) 441.

## КОГЕРЕНТНОЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С НЕГАУССОВЫМ СПЕКТРОМ

Иляков И.Е.<sup>1</sup>, Китаева Г.Х.<sup>2</sup>, Шишкин Б.В.<sup>1</sup>, Ахмеджанов Р.А.<sup>1</sup>

[igor\\_ilyakov@mail.ru](mailto:igor_ilyakov@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва

Интерес к исследованию взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов и терагерцового излучения (ТИ), совместно распространяющихся в электрооптических кристаллах, обусловлен различными практическими приложениями. Наиболее широкое распространение получило направление, связанное с регистрацией временных форм напряженности поля ТИ [1] для проведения спектроскопических исследований в целях медицины, безопасности, технического контроля и др. Напряженность поля ТИ традиционно измеряется по наведенному им двулучепреломлению в кристалле [2]. Относительно недавно, было показано, что в тех же условиях полная энергия лазерного импульса также изменяется [3], и эти изменения могут быть использованы для измерения временной формы напряженности поля терагерцового излучения. К достоинствам этого нового способа измерения напряженности поля ТИ можно отнести его простоту (меньшее количество оптических элементов), более широкий выбор кристаллов-детекторов. Однако в одном и том же кристалле его чувствительность уступает чувствительности стандартного способа [4].

В докладе показывается, что изменения энергии и фазы оптических волн, составляющих фемтосекундный лазерный импульс, под действием терагерцового поля в кристалле отличаются на различных оптических частотах и зависят от формы спектра исходного лазерного импульса. Использование фемтосекундных импульсов со специальной формой спектра позволяет существенно увеличить относительные изменения энергии [5] и фазы на определенных оптических частотах, что позволяет применить эти эффекты для повышения чувствительности когерентных измерений ТИ. В докладе представлены результаты теоретического анализа, численных расчетов и экспериментальной апробации способов измерений ТИ, основанных на изменениях энергии и фазы спектральных компонент фемтосекундных импульсов с негауссовой формой спектра. Теоретически и экспериментально показано, что чувствительность новых схем детектирования может существенно превосходить чувствительность стандартной схемы. При этом в новых схемах имеется возможность более широкого выбора кристаллов-детекторов в сравнении со стандартной схемой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 15-32-21049, 14-22-02034, 14-22-02091.

[1] Kiyomi Sakai (Ed.), Terahertz Optoelectronics, Topics in Applied Physics, 97, (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005)

[2] G. Gallot and D. Grischkowsky, J. Opt. Soc. Am. B, 16, 1204 (1999)

[3] G. Kh. Kitaeva, S. P. Kovalev, I.I. Naumova, R. A. Akhmedzhanov, I. E. Ilyakov, B. V. Shishkin, and E. V. Suvorov, Appl. Phys. Lett., 96, 071106 (2010)

[4] I. E. Ilyakov, G. Kh. Kitaeva, B. V. Shishkin, and R. A. Akhmedzhanov, Applied Physics Letters, 104, 151107 (2014)

[5] I. E. Ilyakov, G. Kh. Kitaeva, B. V. Shishkin, and R. A. Akhmedzhanov, Appl. Phys. Lett., 106, 121101 (2015).

## ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА И РЕВЕРС В НЕГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛИ ВОЛЧКА СУСЛОВА В ПОЛЕ ТЯЖЕСТИ

Казаков А.О.

[kazakovdz@yandex.ru](mailto:kazakovdz@yandex.ru)

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики,  
Нижний Новгород

Рассматривается задача о движении волчка Суслова в поле тяжести, являющаяся обобщением классической неголономной модели Суслова. С помощью анализа карт показателей Ляпунова приводятся исследования хаотической динамики. В зависимости от параметров динамической асимметрии, и начальной энергии «закрутки» волчка, хаотическая динамика в модели может существенно различаться. В случае динамически симметричного волчка, динамика в системе является консервативной, при ярко выраженной динамической асимметрии динамика в системе ассоциируется со странными аттракторами. Здесь удалось обнаружить странный аттрактор типа Фейгенбаума. Отдельный интерес представляет промежуточный случай слабой асимметрии, в котором удалось обнаружить промежуточный тип хаоса, называемый смешанной динамикой.

Помимо исследования хаотической динамики, приводятся результаты анализа регулярной динамики, связанной с существованием в системе состояний равновесия. Система, описывающая движение волчка Суслова является обратимой, а значит для каждого аттрактора есть симметричный «двойник» - репеллер. Таким образом, в динамике волчка Суслова удалось обнаружить явление реверса, ранее наблюдаемое в моделях кельтских камней и волчка Чаплыгина. Помимо явления реверса, волчок Суслова (при некоторых параметрах) может при закрутке совершать переворот, ранее наблюдаемый и исследованный для волчка Томпсона и суперкельтского камня.

## ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПУЗЫРЬКА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ЛИНИИ КОНТАКТА

Алабужев А.А.<sup>1,2</sup>, Кайсина М.И.<sup>2</sup>

[alabuzhev@icmm.ru](mailto:alabuzhev@icmm.ru)

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь)

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь)

При исследовании поведения динамической линии контакта трех сред наиболее часто используется эффективное граничное условие, предложенное в работе [1]: скорость движения контактной линии прямо пропорциональна углу отклонения. Коэффициент пропорциональности, так называемый параметр смачивания (параметр Хокинга), характеризует свойства жидкости и материала подложки.

В представленной работе исследуются собственные и вынужденные осесимметричные колебания газового пузырька, окруженного несжимаемой жидкостью конечного объема. В отсутствие внешних сил, пузырек имеет форму цилиндра и ограничен в осевом направлении двумя параллельными твердыми плоскостями. Внешняя поверхность жидкости свободная и деформируемая. Случаи с недеформируемой свободной и твердой поверхностью были рассмотрены в [2, 3]. Равновесные краевые углы прямые. Движение контактных линий учитывается с помощью эффективного граничного условия [1]. На систему действует однородное пульсационное поле давления.

Показано, что частота объемной моды может обращаться в нуль на некотором интервале значений параметра Хокинга. Длина этого интервала растет с увеличением относительно радиуса пузырька. Частота первой поверхностной моды может также обращаться в нуль на некотором интервале значений параметра Хокинга, однако длина этого интервала уменьшается с увеличением относительного радиуса пузырька. Существует довольно интересное явление пересечения частот соседних мод собственных колебаний: ветка частоты радиальной моды пересекает ветвь частоты поверхностной моды.

При исследовании вынужденных колебаний было обнаружено существование антирезонансных частот, т.е. таких значений частот внешнего воздействия, при которых поверхность пузырька не отклоняется от равновесного значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-01-96017-р-урал-а.

1. Hocking L.M. // J. Fluid Mech. – 1987. – V. 179. – P. 253-266.
2. Алабужев А.А. // Вычислительная механика сплошных сред. 2014. Т.7, № 2. С. 151-161.
3. Алабужев А.А., Кайсина М.И. // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. 2015. Вып. 2(30). С. 56–68.

## НЕЛИНЕЙНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИНХРОННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЭЛЕКТРОКОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Картавых Н.Н.

[kartavykh@psu.ru](mailto:kartavykh@psu.ru)

Пермский государственный национальный исследовательский университет

На основе обобщенной маломодовой модели Лоренца [1] исследована нелинейная динамика слабопроводящей жидкости, находящейся в гармоническом переменном электрическом поле горизонтального конденсатора. Рассматривается электрокондуктивный механизм неустойчивости, связанный с зависимостью электропроводности среды от температуры. При этом учитывается конечное время релаксации заряда. Численное моделирование проводилось для параметров, свойственных таким слабопроводящим жидкостям как конденсаторные и трансформаторные масла.

Отклик электроконвективной системы на внешнее гармоническое воздействие на границе области неустойчивости может принадлежать к двум различным классам синхронных возмущений, отличающихся по отношению к трансляции на половину периода внешнего воздействия [2]. В случае слабопроводящей жидкости возмущениям первого класса соответствуют нулевая средняя скорость, нулевой средний локальный теплоток и ненулевой средний заряд (средние значения вычислялись за период внешнего поля). Возмущения второго класса характеризуются ненулевой средней скоростью, ненулевым средним локальным теплотокотом и нулевым средним зарядом.

В работе изучена нелинейная эволюция синхронных возмущений слоя слабопроводящей жидкости. Показано, что с увеличением надкритичности характеристики колебаний меняются. Спектральный состав отклика динамической системы находился при использовании быстрого преобразования Фурье. Свойства режимов проанализированы с помощью временных зависимостей функции тока, температуры, заряда. Построена карта режимов электроконвекции для слабопроводящей жидкости в переменном гармоническом поле. Показано, что субгармонический отклик системы на границе области неустойчивости отсутствует.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-01-00700-а).

1. Ильин В. А., Смородин Б. Л. Нелинейные режимы конвекции слабопроводящей жидкости // Письма в Журнал технической физики. 2007. Т. 33, вып. 8. С. 81–87.
2. Smorodin B. L., Velarde M. G. Electrothermoconvective instability of an ohmic liquid layer in an unsteady electric field // Journal of Electrostatics. – 2000. – Vol. 48, N. 3-4. – P. 261-277.

## **НОВОЕ КОМПАКТНОЕ УРАВНЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Качулин Д.И.

[d.kachulin@gmail.com](mailto:d.kachulin@gmail.com)

ФГАОУВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Рассматривая гравитационные поверхностные волны, распространяющиеся в одном направлении, с помощью канонического преобразования от естественных гамильтоновых переменных (профиль поверхности и потенциал скорости) к новым нормальным переменным были существенно упрощены гамильтониан для волн на глубокой воде и соответствующее уравнение движения. Полученное новое уравнение применимо как для аналитических исследований, так и для численного моделирования динамики гравитационных поверхностных волн, генерируемых с помощью волнопродуктора в экспериментальных условиях. Разработан эффективный численный алгоритм решения нового уравнения. Проведены численные эксперименты с образованием на поверхности волн-убийц.

## ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СЖАТОЙ КАПЛИ В НЕОДНОРОДНОМ ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Алабужев А.А.<sup>1,2</sup>, Кашина М.А.<sup>2</sup>

[ya.kashina-marina@yandex.ru](mailto:ya.kashina-marina@yandex.ru)

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН (Пермь)

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь)

В данной работе исследуются вынужденные колебания сжатой капли в переменном неоднородном электрическом поле. В равновесном состоянии капля имеет форму кругового цилиндра, ограниченного в осевом направлении параллельными твердыми плоскостями. Равновесный краевой угол между боковой и твердой поверхностью прямой. Капля окружена несжимаемой жидкостью другой плотности. Внешнее электрическое поле играет роль внешней силы, которая заставляет двигаться контактную линию. Электрическое поле периодически по времени с некоторой частотой. Для описания движения контактной линии используется модифицированное условие Хокинга [1]: скорость движения контактной линии пропорциональна сумме отклонения краевого угла и скорости быстрых релаксационных процессов, частоты которых пропорциональная удвоенной частоте электрического поля.

Получены данные об отклонении поверхности и частотных характеристиках в зависимости от постоянной Хокинга, частоты и амплитуды внешнего электрического поля и геометрических параметров системы.

Показано, что в случае неоднородного электрического поля, может возбуждаться весь спектр азимутальных мод, тогда как в случае однородного поля возбуждаются только осесимметричные моды. В этом случае средняя форма капли может либо сжиматься вдоль направления неоднородности, либо вытягиваться в зависимости от соотношения плотностей капли и окружающей жидкости.

Найдено, что рассматриваемая слабая неоднородность поля приводит к возбуждению трансляционных колебаний капли. Обнаружено, что в случае сильно неоднородного электрического поля по боковой поверхности капли распространяется бегущая волна.

Показано, что с увеличением постоянной Хокинга, влияние электрического поля становится более существенным, чем диссипативные механические эффекты при движении контактной линии. Это приводит к увеличению амплитуды колебания и возникновению резонанса. В отсутствие электрического поля, эффективное граничное условие приводит к диссипации и амплитуда всегда ограничена. При переменном электрическом поле также существуют «антирезонансные» частоты, как и при обычных механических колебаниях капли.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-21-00090 (несжимаемая капля) и РФФИ № 14-01-96017 (сжимаемая капля – газовый пузырек).

1. Hocking L.M. // J. Fluid Mech. – 1987. – V. 179. – P. 253-266.

## ПЕРЕХОДНАЯ ДИНАМИКА В НЕАВТОНОМНОЙ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ ВОЗБУДИМОСТИ

Кириллов С.Ю.

[skirillov@neuron.appl.sci-nnov.ru](mailto:skirillov@neuron.appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Моделирование переходной динамики в моделях нейронной активности является актуальной проблемой современной нелинейной физики. Формирование разнообразных пространственно-временных структур и переключения между ними составляют основу процессов восприятия, анализа и передачи информации в мозге. Изучение явлений, обнаруженных в процессе моделирования переходной динамики, имеет важное значение как для объяснения существующих экспериментальных данных об активности нервных клеток, так и для предсказания их новых динамических свойств.

Настоящая работа посвящена выявлению динамических механизмов генерации и подавления спайковых последовательностей в модели нейронной активности при адиабатическом изменении тока инъекции и лежащих в их основе динамических бифуркаций и сложных динамических порогов возбудимости. В качестве модели нейрона рассмотрена модель ФитцХью-Нагумо с нелинейным поведением восстанавливающей переменной. Установлено, что в основе механизма генерации спайковых последовательностей лежит динамическая субкритическая бифуркация Андронова-Хопфа и нелокальные колебательные свойства модели, в формировании которых важную роль играет поведение в фазовом пространстве устойчивых сепаратрисных поверхностей седлового многообразия. Изучено явление задержки возникновения спайковых колебаний и связанный с ним эффект памяти. Обнаружено, что динамическая седло-узловая бифуркация предельных циклов лежит в основе явления задержки подавления спайковых колебаний. Показано, что время задержки исчезновения колебаний в зависимости от скорости изменения контрольного параметра может быть очень большим и пренебрегать им нельзя. Установлено, что нейрон обладает способностью к формированию сложного динамического порога возбудимости под действием медленного синаптического тока. Изучен новый механизм преобразования информационных сигналов в нейронах со сложным динамическим порогом возбуждения. Показано, что нейрон демонстрирует различные типы отклика в ответ на импульсное воздействие одной и той же интенсивности и обеспечивает нетривиальные режимы временного кодирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-42-02353, 15-02-04245).

## **ПИЛООБРАЗНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СРЕДАХ С НАСЫЩЕНИЕМ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ПОТЕРЬ**

Кияшко С.Б., Назаров В.Е.

[sergei-kiyashko@mail.ru](mailto:sergei-kiyashko@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

На основе анализа результатов экспериментальных исследований эффектов амплитудно-зависимого внутреннего трения в поликристаллических твердых телах предложено гистерезисное (неупругого вида) уравнение состояния с насыщением нелинейных потерь. Проведено теоретическое исследование распространения периодических пилообразных акустических волн в таких средах. Получено точное аналитическое решение нелинейного волнового уравнения, описывающего распространение и эволюцию пилообразных волн. Определены закономерности для характеристик нелинейной волны: амплитудно-зависимых потерь и изменения скорости распространения волны, а также для амплитуд ее высших гармоник. Проведен графический анализ эволюции формы волны и ее спектральных составляющих.

Работа поддержана РФФИ грант №16-32-00546 мол\_а.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИММОБИЛИЗАЦИИ ПРИМЕСИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СЛУЧАЙНЫХ БЛУЖДАНИЙ

Клименко Л.С.<sup>1</sup>, Марышев Б.С.<sup>1,2</sup>

[lyudmilaklimenko@gmail.com](mailto:lyudmilaklimenko@gmail.com), [bmaryshev@mail.ru](mailto:bmaryshev@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Работа посвящена разработке макроскопической модели, описывающей процессы осаждения примеси и закупорку пор для произвольных значений концентрации примеси. Исследуется задача о дрейфе твердых взаимодействующих частиц в капилляре. Между входом и выходом из капилляра задан постоянный перепад давления. В начальный момент времени внутри канала возникает течение Пуазейля [1]. Расположение частиц на входе в капилляр задается случайным образом по времени и пространству. Задача решена в плоском случае, в предположении, что капилляр имеет прямоугольную форму с характерными размерами для ширины порядка 10 мкм и длины 50 мкм. Частицы имеют размер порядка 100 нм.

Для описания взаимодействия частиц со стенками рассмотрим механизм Ван-дер-Ваальса. Оценки для сил межчастичного взаимодействия, сделанные в работе [2], показывают, что эти силы могут быть сравнимы с силой Стокса только на расстоянии 10-5 радиуса частицы. Это позволяет считать, что в изучаемом капилляре частицы переносятся вместе с потоком, не взаимодействуя друг с другом. Учет взаимодействия частиц с потоком производится в приближении Стокса. Кроме этого, в модели учтены случайные столкновения, вызванные диффузией. Учет диффузии является необходимым, так как для рассматриваемого размера частиц число Пекле имеет порядок единицы.

Задача решена в рамках модели случайных блужданий, согласно которой положение частицы в каждый момент времени не зависит от ее положения в предыдущий момент. Если частицы приближаются к стенке на расстоянии меньше своего размера, то при столкновении со стенкой происходит слипание под действием сил Ван-дер-Ваальса (оценки показывают, что при сближении частиц на расстояние 10-6 от их размера силы притяжения на три порядка превосходят как силу Стокса, так и силу отталкивания). Слипание частиц со стенкой приводит к изменению формы стенок капилляра, что в свою очередь приведет к изменению течения в капилляре. Для расчета течения на каждом шаге решается система уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости.

В результате, получена эволюция течения жидкости в поре при ее закупорке. Проанализирована зависимость концентрации осевших частиц от времени, а также зависимость расхода через поперечное сечение поры от концентрации осевших частиц для различных начальных концентрациях. Это позволило оценить границы применимости линейного закона адсорбции и формулы Козени-Кармана.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ (МК-6851.2015.1).

М. Маскет Течение однородных жидкостей в пористой среде // НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, Ижевск, 2004, 628 с.

М. Elimelech, J. Gregory, X. Jia, R. A. Williams, em Particle Deposition and Aggregation. Measurement, Modelling and Simulation // Butterworth-Heinemann, Woburn, 1995. 434 p.

## МУЛЬТИСТАБИЛЬНОЕ «ДРОЖАНИЕ» В АВТОГЕНЕРАТОРАХ С ИМПУЛЬСНОЙ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Клиньшов В.В.

[vladimir.klinshov@ipfran.ru](mailto:vladimir.klinshov@ipfran.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Исследована динамика автогенератора с петлей запаздывающей обратной связи импульсного типа. При превышении выходным сигналом генератора определенного порога на линию задержки подается импульс, который через некоторое время поступает на вход генератора. Базовым режимом системы является периодическая генерация импульсов с периодом, близким к собственному периоду автоколебаний. Обнаружен новый механизм дестабилизации такого регулярного режима, сопровождающейся возникновением сложных нерегулярных колебаний. Возникающие режимы характеризуются неравными межимпульсными интервалами, что обусловило применение по отношению к ним термина «дрожание». Наблюдались устойчивые дрожащие режимы, состоящих из длинных и коротких интервалов, чередование которых формирует периодическую бинарную последовательность. Теоретически и экспериментально показано, что для любой такой последовательности произвольного периода существует область параметров, в которой устойчив соответствующий дрожащий режим. Построенная теория позволяет находить область устойчивости любого такого режима, а экспериментальные результаты на электронных аналогово-цифровых схемах подтверждают адекватность теории. Продемонстрирована высокая мультистабильность дрожащих режимов, число которых возрастает экспоненциально с ростом величины запаздывания. Такие свойства позволили назвать открытый сценарий «бифуркацией мультидрожаания». Полученные результаты применимы к автогенераторам любой природы и дают простой критерий возникновения и развития в них неустойчивости типа мультидрожаания.

1. Klishov, V. et al // Physical Review Letters. 2015. 114(17). P. 178103.
2. Klishov, V. et al // Physical Review E. 2015. 92(4). P. 042914.

## ЛАЗЕРНОЕ УСКОРЕНИЕ ИОННЫХ ПУЧКОВ КАК УНИКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ

Коржиманов А.В.

[kav@ufp.appl.sci-nnov.ru](mailto:kav@ufp.appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики Российской академии наук

Физика высоких плотностей энергии, активно развивающаяся в последние несколько десятилетий, изучает поведение вещества в необычных состояниях, не доступных для изучения в естественных условиях, однако реализуемых во многих важных объектах Вселенной, в частности, в недрах планет и звёзд. Под высокими плотностями энергии обычно понимается плотность на уровне выше  $10^{11}$  Дж/см<sup>2</sup>, что соответствует давлениям выше 1 Мбар. Существует несколько методов достижения таких давлений в различных областях диаграммы температура-плотность. Одним из них является нагрев образцов твердотельной плотности ионными пучками. Преимуществом этого метода является высокая однородность нагрева и его быстрота, позволяющая проводить измерения образующегося вещества с высокой точностью.

Однако традиционные ускорители ионов ограничены по достижимой плотности пучка и поэтому не могут обеспечить температуры нагрева выше нескольких десятков эВ. В то же время в последние 15 лет активно развивается технология ускорения ионов сверхмощными лазерными импульсами. Были продемонстрированы пучки ионов с энергиями на уровне в десятки МэВ/нуклон и суммарной энергией в несколько джоулей. Их преимуществом по сравнению с традиционными ускорителями является на несколько порядков меньшие размеры генерируемого пучка, что позволяет достигать в импульсе плотностей токов величиной выше  $10^{10}$  А/см<sup>2</sup>.

В рамках данной работы показано, что уже существующий уровень развития лазерных систем позволяет теоретически генерировать ионные пучки, способные нагреть металлические образцы до температур в сотни эВ, недоступную для существующих и проектируемых традиционных ускорителей ионов. Эта область параметров (твердотельная плотность, и температура от 100 эВ до 1 кэВ) недоступна также и для других методов создания вещества с высокой плотностью энергии, в частности, для нагрева лазерным излучением, который генерирует более высокие температуры при более низкой плотности, а также для установок инерциального термоядерного синтеза.

Изучение процесса энерговыделения ускоренных лазерным излучением ионных пучков при их торможении в образцах является также фундаментально важной задачей, поскольку представляет собой сильно-нелинейный процесс, в котором ионный пучок при взаимодействии с атомами ионизирует их и начинает взаимодействовать с образовавшейся плазмой, испытывая дополнительные потери на нагрев свободных электронов, возбуждение электронной турбулентности, а также на нелинейное самовоздействие, наблюдаемое при плотностях ионного тока пучка выше  $10^{11}$  А/см<sup>2</sup>.

Для описания этого процесса была создана самосогласованная модель, учитывающая как элементарные акты взаимодействия ионов с атомами и электронами вещества, так и их коллективную динамику, вызванную генерацией полей в образующейся плазме.

# РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МЕТОДА ПРИЧИННОСТИ ПО ГРЕЙНДЖЕРУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛИ ОТОБРАЖЕНИЙ ПОСЛЕДОВАНИЯ В ВИДЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ И КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИЙ

Корнилов М.В., Сысоев И.В.

[kornilovmv@gmail.com](mailto:kornilovmv@gmail.com)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова РАН

Аннотация. В работе на тестовых динамических системах проводится сравнение эффективности метода причинности по Грейнджеру для выявления однонаправленной связи при использовании в моделях полиномиальных и кусочно-линейных функций.

Поиск наличия и направления связи между системами на основе анализа временных рядов их подсистем является актуальной задачей во многих предметных областях: эконометрике, климатологии, нейронауке. Одним из наиболее востребованных подходов к её решению является метод причинности по Грейнджеру [1], интересный в том числе тем, что для выявления направленной связи, от прогностической модели не требуется качественно воспроизводить динамику исследуемого объекта [2].

В работе сравнивается работоспособность метода причинности по Грейнджеру в зависимости от выбора аппроксимирующих функций: полиномиальных или кусочно-линейных модели для однонаправленно связанных систем, обладающих ярко выраженными характерными временными масштабами. В качестве моделей рассматривались отображений последования. Для оценки работоспособности метода использовались разработанные на основе оценки чувствительности (способности выявлять направленную связь при минимальных значениях коэффициента связи) и специфичности (способности избегать ложноположительных результатов) критерии. В численном эксперименте рассматривались связанные однонаправленной связью эталонные системы нелинейной динамики и радиофизики: системы Рёсслера, уравнения генераторов Анищенко-Астахова, Кияшко-Пиковского-Рабиновича.

В ходе работы было показано, что полиномиальная модель в целом демонстрирует лучшую специфичность и чувствительность чем кусочно-линейная. Были сформулированы рекомендации по выбору параметров модели (лага и дальности прогноза) для наилучшей с точки зрения предложенных критериев работоспособности метода причинности по Грейнджеру.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-12-00291).

[1] Granger CWJ. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods // *Econometrica* 1969. V. 37(3). P. 424–38.

[2] М.В. Корнилов, И.В. Сысоев. Влияние выбора структуры модели на работоспособность метода нелинейной причинности по Грейнджеру // *Известия вузов "ПНД"*. 2013. Т. 21. №2. С.74-88.

## НОВЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОДНОМОДОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЛАЗЕРАХ С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ

Коробейникова А.П., Бурдонов К.Ф., Шайкин А.А., Хазанов Е.А.  
[nastya.k2594@gmail.com](mailto:nastya.k2594@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В данной работе исследуется твердотельный импульсно-периодический лазерный генератор с модуляцией добротности, являющийся одним из ключевых элементов субпетаваттного лазерного комплекса PEARL, основанного на принципе параметрического усиления чирпированных импульсов (ОПСРА). Подробно описан принцип построения и настройки генератора с модуляцией добротности. Продемонстрирован способ селекции продольных и поперечных мод резонатора для получения одномодовой генерации.

Исследуемый генератор служит источником наносекундного импульса, который, пройдя через каскады лазерного усиления комплекса PEARL, используется в качестве накачки параметрического усилителя. При этом обычно стараются получить максимально возможную мощность, следовательно, на выходе генератора необходима одномодовая генерация. Так как иначе при одновременной генерации двух лазерных импульсов на близких частотах возникает интерференция, приводящая к модуляции и возрастанию пиковой интенсивности излучения в несколько раз, что может стать причиной разрушения оптических элементов лазера. Следовательно, актуальной и важной задачей является подавление двухчастотной генерации. Для обеспечения одномодового режима генерации существует много способов, каждый со своими преимуществами и недостатками. Существуют схемы с движущимся зеркалом, иногда для селекции мод используют дополнительный кольцевой резонатор. Существуют схемы, в которых в резонатор инжектируется вспомогательное непрерывное излучение. Тем не менее, из-за нестабильности внешних параметров, например температуры, приводящих к изменению оптической длины, моды резонатора смещаются, тем самым могут возникнуть одинаковые условия для генерации импульсов на соседних частотах.

Обычно в лазерах с модуляцией добротности наблюдается генерация одного гигантского импульса. Мы обнаружили генерацию импульса на другой частоте через некоторое время после генерации основного импульса и предположили, что эффект генерации пост-импульса возможен за счет выжигания дыр в Nd:YLF. Соседние продольные моды имеют пучности стоячей волны в разных местах, из-за чего после генерации гигантского импульса в Nd:YLF коэффициент усиления основной моды значительно ниже порога генерации, а для соседней моды все еще превышает пороговое значение.

Мы экспериментально продемонстрировали возможность обнаружения паразитной генерации на ранней стадии, когда пост-импульс существенно отстаёт по времени генерации от основного импульса и ещё не может негативно влиять на работу генератора, но является сигналом неоптимальности его настройки. Мы исследовали условия возникновения данного пост-импульса, показали, что данный эффект связан с генерацией импульса на соседней продольной моде генератора, совместив гигантский импульс с пост-импульсом с помощью дополнительной линии задержки. А также предложили способ подстройки резонатора для подавления двухчастотной генерации, путем изменения длины оптического резонатора с помощью подвижного элемента, управляемого в автоматическом режиме.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ БУРСИАНОВСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЭЛЕКТРОННОМ ПОТОКЕ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ CST PARTICLE STUDIO

Короновский А.А., Бадарин А.А., Куркин С.А., Храмов А.Е.

[alexander.koronovskiy@gmail.com](mailto:alexander.koronovskiy@gmail.com)

Саратовский государственный университет им Н.Г. Чернышевского  
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Известно, что интенсивные релятивистские электронные потоки (РЭП) часто демонстрируют сложные режимы динамики [1]. В частности, для них характерно развитие различных неустойчивостей, например, пирсовской, бурсиановской, тококонвективной, диокотронной, слипинг-неустойчивости и др. С одной стороны, развитие данных неустойчивостей может играть положительную роль, например, пирсовская и бурсиановская неустойчивости приводят к образованию нестационарного виртуального катода (ВК), на использовании колебаний которого основан целый класс мощных СВЧ приборов – генераторы (усилители) на виртуальном катоде или виркаторы [2,3]. С другой стороны, данные неустойчивости могут оказывать и негативное влияние на функционирование мощных СВЧ устройств и накладывают определенные ограничения на режимы их работы. Так, например, развитие тех же пирсовской и бурсиановской неустойчивостей ограничивает максимальный ток электронного потока, который может быть транспортирован без отражений через эквипотенциальное вакуумное дрейфовое пространство. Важным является вопрос о взаимодействии и сосуществовании различных неустойчивостей интенсивного электронного потока, т.к. при определенных параметрах системы выполняются условия для одновременного развития нескольких неустойчивостей [1]. Таким образом, исследование нелинейной динамики РЭП и возникающих в них неустойчивостей представляет собой важную задачу мощной вакуумной и плазменной электроники как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения.

В настоящей работе было исследовано взаимодействие бурсиановской и диокотронной неустойчивостей. Взаимодействие данных неустойчивостей приводит к образованию виртуального катода (ВК) сложной структуры с несколькими областями отражения (электронными сгустками) в азимутальном направлении, вращающимися вокруг оси пространства дрейфа и формирующих вихревую структуру в пролётном промежутке. Управляющие параметры системы (ток пучка, индукция внешнего магнитного поля) определяют количество вращающихся в азимутальном направлении электронных сгустков в РЭП, причем с ростом тока их количество возрастает.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-12-00222).

1. Кузелев, М. В., “Плазменная релятивистская СВЧ-электроника” / М. В. Кузелев, А. А. Рухадзе, П. С. Стрелков // М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002.
2. Dubinov, A. E., Selemir, V. D. Electronic Devices with Virtual Cathodes (Review). Journal of Communications Technology and Electronics, 2002, No. 6, p. 575.
3. Benford J., High Power Microwaves. / J. Benford, J.A. Swegle, E. Schamiloglu.//CRC Press, Taylor and Francis, 2007.

## **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА В АНСАМБЛЕ ВОЗБУЖДАЮЩЕ СВЯЗАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Коротков А.Г.

[koral81@bk.ru](mailto:koral81@bk.ru)

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

В нашей работе предложена новая модель ансамбля нейроноподобных элементов, для моделирования которой используется обобщённая модель Лотки-Вольтерра с возбуждающими связями. Работа мотивирована тем, что возбуждающие связи составляют преобладающий тип взаимодействия между нейронами головного мозга. В работе показано, что в таком ансамбле в зависимости от связей между элементами существуют 2 режима последовательной активности: режим с устойчивым гетероклиническим циклом и режим с устойчивым предельным циклом. Также была обнаружена хаотическая динамика.

# АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БОГАТЫХ ВОДОРОД-ВОЗДУШНЫХ ЛАМИНАРНЫХ ПЛАМЁН В МОДЕЛИ С ДЕТАЛЬНЫМ КИНЕТИЧЕСКИМ МЕХАНИЗМОМ

Корсакова А.И.<sup>1,2</sup>, Губернов В.В.<sup>1</sup>

[korsakova@lpi.ru](mailto:korsakova@lpi.ru)

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Исследуется диффузионно-тепловая устойчивость волн горения в богатых водород-воздушных смесях в модели с детальным кинетическим механизмом и детальным транспортом в изобарическом приближении. Математически задача формулируется как система нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных для температуры газа и массовых долей реагентов, которая решается численно с помощью конечно-разностных алгоритмов. Показано, что при увеличении давления в этой системе возникает бифуркация Андронова-Хопфа. В пространстве параметров найдена частота Хопфа и критическое значение давления для возникновения диффузионно-тепловых неустойчивостей. Используются различные известные кинетические механизмы окисления водорода, показано, что граница устойчивости и частота пульсаций значительно отличаются в зависимости от выбранного кинетического механизма. Чувствительность данных параметров к выбору кинетической схемы означает, что их экспериментальное измерение может служить альтернативным методом верификации кинетических механизмов. Показано, что бифуркация Андронова-Хопфа является надкритической, в результате неё возникают пульсирующие волны горения. Исследованы свойства данных решений, установлено, что пульсирующие волны горения в среднем распространяются с постоянной скоростью, однако профили массовых долей реагентов и температуры являются периодическими функциями времени. Амплитуда осцилляций температуры зависит от параметра закритичности корневым образом. Пиковые значения температуры в пульсирующей волне горения могут существенно превышать адиабатическую температуру пламени. Исследовано влияние кросс-диффузии на возникновение диффузионно-тепловой неустойчивости. Обсуждаются перспективы дальнейшей работы.

## КОМПРЕССИЯ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ПОСЛЕ SPM В ПЛАСТИКЕ (ПОЛИЭТИЛЕНТЕРАФТАЛАТЕ)

Кочетков А.А., Гинзбург В.Н., Зуев А.С.

[antkoch2012@gmail.com](mailto:antkoch2012@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород.

В настоящее время одним из передовых направлений лазерной физики является создание сверхмощных лазеров. Основным параметром таких лазеров является пиковая мощность, которая на данный момент составляет единицы петаватт. Энергия ограничена стойкостью оптических элементов и дифракционных решеток, а длительность импульса – спектральной полосой пропускания компрессора. Продвижение в область более высоких мощностей возможно с помощью уменьшения длительности выходного излучения. Добиться этого можно с помощью эффекта, известного как фазовая самомодуляция (SPM): проходя через оптическую среду с кубической нелинейности, мощное лазерное излучение уширяет свой спектр, набирая спектральную фазу. В последствии компенсация этой фазы приводит к уменьшению длительности лазерного импульса. Ранее данная методика не применялась к лазерам петаваттного уровня мощности из-за сложностей изготовления элементов миллиметровой толщины с апертурой порядка десятков сантиметров.

Недавно была предложена идея использовать пластины пластика (Полиэтилентерефталат) в качестве нелинейного элемента. Исследованные нелинейные свойства и однородность оптической толщины свидетельствовали о пригодности данного промышленно-производимого материала для SPM. Для проведения эксперимента по укорочению лазерного импульса были измерены дисперсия материала полиэтилентерафталат и отрицательная дисперсия чирпирующих зеркал. Измерения проводились с использованием излучения фемтосекундного задающего генератора Ti:sapphire с центральной длиной волны 910 нм. Данная величина была измерена по зависимости длительности автокорреляционной функции от количества пластин пластика и отражений от чирпирующих зеркал, так же был проведен сравнительный анализ с значением дисперсии для известного материала оптического стекла K8.

На основе всех собранных экспериментальных данных была определена величина оптимальной фазовой коррекции. Проведен эксперимент по уменьшению длительности лазерного импульса на выходе петаваттной лазерной системы. В ходе исследования было достигнуто почти двукратное уменьшение длительности импульса после прохождения пластины пластика и нескольких отражений от чирпирующих зеркал.

## СПОНТАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КВАДРАТНОЙ РЕШЕТКИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В МОДЕЛИ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА

Кренц А.А.<sup>1,2</sup>, Анчиков Д.А.<sup>1</sup>, Пахомов А.В.<sup>1,2</sup>

[krenz86mailu.ru](mailto:krenz86mailu.ru)

<sup>1</sup>Самарский Государственный Аэрокосмический Университет, Самара, Россия

<sup>2</sup>Самарский филиал Физического института РАН, Самара, Россия

В работе проведено теоретическое исследование спонтанного формирования квадратной решетки оптических вихрей (КРВ) в модели широкоапертурного лазера. Изучалось формирование КРВ в широкоапертурном двухуровневом лазере с однородно уширенной линией, работающем на единственной продольной моде. Такой лазер описывается системой уравнений Максвелла-Блоха (МБ), в которую включен двумерный лапласиан, описывающий дифракцию излучения в поперечной плоскости, что позволяет описывать формирование двумерных пространственно-временных оптических структур. В случае исключения пространственных производных модель МБ изоморфна хорошо известной в гидродинамике модели Лоренца, поэтому такой лазер часто называют лазером Лоренца-Хакена.

Простейшим решением уравнений МБ является решение вида бегущей волны. Физически такое решение соответствует генерации излучения под некоторым углом к оси резонатора. Кроме того такая бегущая волна по своему виду и механизму формирования близка к валам, являющимся решением уравнения Свифта-Хохенберга в гидродинамике.

Поперечная плоскость широкоапертурного лазера изоморфна, поэтому бегущие волны могут распространяться в произвольном направлении. Хорошо известно, что КРВ формируется в результате нелинейного взаимодействия четырех бегущих волн, волновые вектора которых направлены взаимно перпендикулярно и образуют квадрат. В случае если параметр лазерной накачки близок к пороговому значению, можно считать амплитуды взаимодействующих мод малым параметром. Тогда при рассмотрении взаимодействия четырех волн можно ограничиться слабо нелинейным приближением, и отбросить слагаемые высших порядков малости. Такой подход позволил показать, что в модели МБ при накачке близкой к пороговому значению существует решение вида стационарной КРВ, устойчивое по отношению к малым возмущениям. Удалось определить расстояние между соседними вихрями, также показано, что образуются оптические вихри первого порядка.

При накачках далеких от порогового значения, описанный выше метод оказывается неприменим. В работе удалось получить аналитическое решение вида стационарной КРВ в случае сильной нелинейности. С помощью численного моделирования полной распределенной системы уравнений МБ, показано хорошее соответствие аналитического решения и численных результатов.

Указана область лазерных параметров, в которой стационарная КРВ теряет устойчивость. В таком случае оптические вихри начинают двигаться вокруг своих положений равновесия по траекториям, близким к окружностям. Определена частота таких колебаний.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ по Программе повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственному заданию вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект 1451, НИР №ГР 114091840046, грантом РФФИ 16-32-60151 мол\_а\_дк.

## РЕНТГЕНОВСКИЕ ПЕТЛИ В КОРОНЕ КРАСНОГО КАРЛИКА AD LEO

Кронштадтов П.В.

[KronshtadtovPavel@yandex.ru](mailto:KronshtadtovPavel@yandex.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Исследуется возможное происхождение длительных вспышек мягкого рентгеновского излучения на звезде AD Leo, наблюдавшихся спутником Extreme Ultraviolet Explorer (EUVE) в период 1993-2000 гг. [Mullan et al., 2006]. Вспышки характеризовались относительно большим временем нарастания и временем затухания интенсивности (и, соответственно), а также относительно большой величиной меры эмиссии, которая на 1-3 порядка превышает меру эмиссии для вспышек мягкого рентгеновского излучения на Солнце. В работе рассматривается нагрев плазмы в корональных магнитных петлях звезды в результате диссипации электрических токов, генерируемых фотосферной конвекцией. Большая индуктивность петель как эквивалентных электрических контуров определяет значительное время нарастания тока в источнике и объясняет наблюдаемое время нагрева плазмы и время нарастания интенсивности рентгеновского излучения. Показано, что параметры рентгеновских источников в атмосфере AD Leo можно объяснить в предположении одновременной «работы» большого количества петель ( $\Sigma$ ) с электрическими токами, которые на 1-3 порядка превышают электрические токи в корональных магнитных петлях на Солнце. Такое превышение может быть связано с повышенными значениями скорости фотосферной конвекции на звёздах поздних спектральных классов по сравнению с Солнцем.

Работа поддержана грантом РФФИ №14-02-00133.

## МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С АТТРАКТОРОМ ТИПА СМЕЙЛА-ВИЛЬЯМСА

Круглов В.П.

[kruglovyacheslav@gmail.com](mailto:kruglovyacheslav@gmail.com)

Саратовский государственный университет,  
Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН

Модели физически реализуемых систем с аттрактором Смейла-Вильямса были предложены недавно в работах С.П. Кузнецова и соавторов [1,2]. Генераторы хаоса, основанные на этих системах, могут найти применение в области информационных технологий, так как в силу структурной устойчивости аттрактора не чувствительны к параметрам, техническим флуктуациям и шумам. Большинство предложенных к настоящему времени моделей с гиперболическим хаосом описываются системами обыкновенных дифференциальных уравнений, поэтому теоретический интерес представляют распределенные системы с аттрактором Смейла-Вильямса.

Чтобы сконструировать модель распределенной системы с аттрактором Смейла-Вильямса, нужно добиться, чтобы в среде возникали и затухали волновые структуры, пространственные фазы которых подвергаются растягивающему отображению окружности.

В докладе предложены три модели распределенных систем с аттрактором Смейла-Вильямса. Модели описываются уравнениями в частных производных с периодическими граничными условиями. Первая из них автономная и основана на модифицированном уравнении Свифта-Хохенберга. Вторая система неавтономная и представляет собой модифицированную модель Брюсселятор. Третья система – это модель струны, в которой параметрически возбуждаются стоячие волны. На основе распределенных систем были получены конечномерные модели, описывающие динамику нескольких наиболее важных пространственных гармоник волновых структур. Для распределенных систем и их конечномерных приближений были численно построены портреты аттракторов в сечении Пуанкаре и итерационные диаграммы для фаз, вычислены показатели Ляпунова. Для конечномерных моделей были построены распределения углов между устойчивыми и неустойчивыми многообразиями аттракторов [3].

Полученные результаты позволяют предположить существование аттрактора типа Смейла-Вильямса в предложенных системах. Итерационные диаграммы для пространственных фаз топологически совпадают с диаграммой для растягивающего отображения окружности. Старший показатель Ляпунова аттрактора каждой предложенной системы близок к показателю Ляпунова растягивающего отображения окружности. Распределения углов между устойчивыми и неустойчивыми многообразиями аттракторов для всех предложенных систем дистанцированы от нуля, нулевые углы отсутствуют. Отсутствие касаний между многообразиями позволяет предполагать, что аттракторы систем однородно гиперболические.

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос и гиперболические аттракторы: от математики к физике. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. - 2013.
2. Кузнецов С.П. // Успехи физических наук. – 2011. - Т. 181. - № 2. - С. 121.
3. Круглов В.П. // Известия вузов. ПНД. – 2014. – Т. 22. - № 6. – С. 79.

# ВЛИЯНИЕ СКРЫТОГО ТРЕТЬЕГО ПРОЦЕССА НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ НАПРАВЛЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ОСЦИЛЛЯТОРАМИ

Крылов С.Н.<sup>1,2</sup>, Смирнов Д.А.<sup>2</sup>, Безручко Б.П.<sup>1,2</sup>

[krylov.sn@nxt.ru](mailto:krylov.sn@nxt.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский филиал ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

Количественная оценка направленных связей (воздействий) между колебательными системами по временным рядам важна на практике, например в задачах геофизики и нейрофизиологии. Наиболее часто для этого используется идея «причинности по Грейнджеру» [1]: система X влияет на систему Y (по Грейнджеру), если прогноз будущего поведения Y с учетом данных X точнее, чем прогноз, основанный только на данных о системе Y. Нормированное улучшение прогноза (УП) рассматривают как оценку силы воздействия, причем значения УП в несколько процентов могут означать значительное долгосрочное влияние связи на динамику [2]. Ненулевые УП в обе стороны часто считают признаком двунаправленной связи, хотя возможны и ложные выводы, например, в случае, когда на наблюдаемые процессы влияет скрытый третий процесс. Чтобы избежать такой ситуации, важно учитывать априорную информацию о наличии и динамике третьей системы, что редко возможно. В работе мы предлагаем в качестве практически полезного подхода выяснить зависимость численных значений УП в ложную сторону от параметров систем (времен релаксации, периодов колебаний, силы однонаправленной связи) и скрытого процесса для достаточно простого и широкого класса колебательных систем. Зная области в пространствах параметров для больших значений УП в ложную сторону (эффект ложных связей) и имея хотя бы приближенную априорную информацию о параметрах систем, можно судить в каждом случае на практике, достаточно ли использовать традиционные оценки УП или нужны специальные подходы. В работе проведен поиск условий проявления этого эффекта на примере эталонной колебательной системы – линейных стохастических диссипативных осцилляторов с однонаправленной связью под действием скрытого третьего процесса, заданных стохастическими разностными уравнениями:

$$\begin{aligned}x_n &= a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} + \zeta_{x,n} + c_1 z_{n-1} \\y_n &= b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2} + kx_{n-1} + \zeta_{y,n} + c_2 z_{n-1}, \\z_n &= a_3 z_{n-1} + \zeta_{z,n}\end{aligned}\quad (1)$$

где коэффициенты  $a_1, b_1 = 2 \cos(2\pi/T_{x,y}) \exp(-1/\tau_{x,y})$ ,  $a_2, b_2 = -\exp(-2/\tau_{x,y})$ ,  $T$  – период колебаний,  $\tau$  – время релаксации,  $\zeta$  – гауссовские взаимно некоррелированные белые шумы с нулевым средним и единичной дисперсией. Значения УП вычислялись через определители матричной ковариационной функции многомерного процесса (1) решением линейных дифференциальных уравнений для моментов второго порядка [3]. Показано, что эффект ложных связей может быть достаточно силен (УП более 1% и 5%) и при умеренной взаимной корреляции наблюдаемых сигналов (менее 0.5). Соответствующие области в пространстве параметров оказались достаточно широки. Эффект ложных связей имеет место в некотором диапазоне значений силы воздействия третьей системы, ширина которого растет с ростом времени релаксации скрытого процесса. Полученные результаты полезны как критерий необходимости учета скрытого третьего процесса при оценке направленных связей на практике.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-12-00291).

1. Granger C.W.J.// *Econometrica*, v. 37 (1969) 424.
2. Smirnov D.A.// *Phys. Rev. E*, v. 87 (2013) 042917.
3. Smirnov D.A., Mokhov I.I. // *Phys. Rev. E*, v. 92 (2015) 042138.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ, СТАЦИОНАРНЫХ И ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ, СТРУКТУР В НЕЛИНЕЙНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Кузнецов М.Б., Полежаев А.А.

[kuznetsovmb@mail.ru](mailto:kuznetsovmb@mail.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Российской академии наук

Пространственно-временные структуры, образующиеся в системах, далеких от состояния термодинамического равновесия, широко распространены в природе. Большинство встречающихся структур распространяются на весь объем системы, исключение составляют локализованные структуры, среди которых встречаются стационарные, колеблющиеся – осциллоны, а также уединенные волны – солитоны. Локализованные структуры встречаются во множестве физических систем, а также в химической реакции Белоусова-Жаботинского, протекающей в обращенной масляной микроэмульсии аэрозоля ОТ [1].

Мы показываем, что в реакционно-диффузионной системе, которая находится близко к субкритической бифуркации Тьюринга, под действием жесткого локального возбуждения возможно образование уединенных стационарных структур, несмотря на то, что малые возмущения такой системы затухают со временем. При этом при приближении параметров к бифуркационным значениям возникающие структуры перестают быть уединенными, достраиваясь со временем до диссипативных структур, занимающих всю область моделирования. При варьировании параметров наблюдаются различные типы структур – как точечные агрегаты, так и квазиодномерные лабиринтные структуры, а также различные переходные режимы.

Мы предлагаем новое формальное модельное описание возникновения осциллонов через параметрическое влияние уединенных стационарных структур, возникающих в первой системе, на вторую систему, находящуюся в потенциально колебательном состоянии.

1. Vanag V.K., Epstein I.R. Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 92 (12). 128301.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И АРХИТЕКТУРЫ СВЯЗЕЙ В АНСАМБЛЯХ СИСТЕМ С ЗАДЕРЖКОЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАНЫМ

Кульминский Д.Д.<sup>1,2</sup>, Сысоев И.В.<sup>2</sup>, Караваев А.С.<sup>1,2</sup>, Пономаренко В.И.<sup>1,2</sup>,  
Прохоров М.Д.<sup>1</sup>

[kulminskydd@gmail.com](mailto:kulminskydd@gmail.com)

<sup>1</sup>Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
РАН

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Предложен новый эффективный метод, позволяющий определить значения параметров элементов и архитектуру связей в ансамблях систем с задержкой, описываемых дифференциальными уравнениями с запаздыванием, по временным рядам их колебаний. Метод основан на минимизации методом наименьших квадратов целевой функции, характеризующей расстояние между точками реконструируемой нелинейной функции, отсортированными по величине абсциссы. В отличие от других методов, разрабатываемый нами подход позволяет одновременно, а не поэтапно, восстанавливать времена запаздывания, параметры инерционности, нелинейные функции и коэффициенты связи всех элементов ансамбля. Отказ от использованного нами ранее итерационного алгоритма для реконструкции архитектуры связей [1] позволил на порядок увеличить скорость работы метода. Для разделения восстановленных коэффициентов связи на два кластера (значимых и незначимых коэффициентов) нами использован метод *K*-средних. Так как в общем случае значимые коэффициенты по абсолютной величине много больше незначимых, кластеризация восстановленных коэффициентов связи проведена в логарифмическом масштабе. Показано, что метод можно применять к ансамблям, состоящим из неидентичных систем с запаздыванием с произвольным числом однонаправленных и взаимных связей между ними.

Создана экспериментальная установка, в которой можно исследовать 10 радиотехнических генераторов с запаздывающей обратной связью при различной архитектуре связей между ними. Генераторы реализованы на базе программируемых микроконтроллеров с ARM ядром. Разработанный метод успешно применен к экспериментальным временным рядам этой установки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-02-00091.

1. I.V. Sysoev et al. // Physical Review. E 2014. V. 89. 062911.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМЕЖАЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ СЕТИ СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ КУРАМОТО ПРИ РАЗРУШЕНИИ СИНХРОННОГО РЕЖИМА

Короновский А.А.<sup>1,2</sup>, Куровская М.К.<sup>1</sup>, Храмов А.Е.<sup>1,2</sup>

[mariakurovskaya@gmail.com](mailto:mariakurovskaya@gmail.com)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

В настоящей работе проведено численное исследование поведения сети фазовых осцилляторов Курамото со сложной топологией связей, обеспечивающей наличие синхронных кластеров в этом ансамбле. Собственные частоты осцилляторов были равномерно распределены случайным образом в диапазоне от 0.5 до 1.5. Была разработана процедура выделения синхронных кластеров, позволяющая точно указать номера осцилляторов, находящихся в синхронизме друг с другом, а также выделить осцилляторы, которые демонстрируют асинхронную динамику. С помощью данной процедуры были получены зависимости, иллюстрирующие изменение размера наибольшего синхронного кластера с уменьшением значения параметра, отвечающего за интенсивность связи между взаимодействующими осцилляторами Курамото. Необходимо отметить, что указанные зависимости были получены для различных типов топологии сети (случайная сеть, малый мир и свободно масштабируемая сеть), а также для различных по размеру ансамблей осцилляторов.

Кроме того, было изучено влияние характера и интенсивности флуктуаций связей между элементами ансамбля на размер и структурную устойчивость синхронных кластеров. На каждом шаге по времени к некоторому опорному значению параметра связи прибавлялось значение случайной величины, распределенной по стандартному нормальному закону, умноженное на фиксированную величину  $D$ , представляющую собой интенсивность флуктуаций. Необходимо отметить, что чем больше влияние флуктуаций на динамику ансамбля, точнее, на интенсивность связи между осцилляторами, тем раньше начинает разрушаться синхронный режим с образованием кластеров, размер которых постепенно уменьшается с уменьшением опорного параметра связи.

Во временных реализациях, описывающих динамику взаимодействующих элементов рассматриваемой сети и соответствующих разностям фаз между двумя выбранными осцилляторами, были выделены участки, соответствующие синхронной динамике (так называемые ламинарные фазы). Была получена зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности, где в качестве критического значения параметра связи было принято такое значение, при котором выходит из синхронизма один осциллятор, а все остальные осцилляторы в ансамбле остаются синхронными. Данная зависимость была получена как в отсутствие флуктуаций, так и при их наличии. Полученные зависимости представляют собой степенной закон с показателем степени  $-1,5$  в отсутствие флуктуаций и  $-3,5$  при их наличии с интенсивностью  $D=0.01$ . Существование такой зависимости, не характерной ни для одного из известных типов перемежающегося поведения, может быть предположительно связано с взаимным влиянием осцилляторов ансамбля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в части изучения влияния флуктуаций на характеристики поведения ансамбля осцилляторов (проект 14-12-00224), а также Российского фонда фундаментальных исследований в части изучения влияния типа топологии связей (проект 15-52-45003).

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ПОДВОДНЫХ ЗВУКОВЫХ КАНАЛАХ

Лабутина М.С.

[labutya@mail.ru](mailto:labutya@mail.ru)

Нижегородский госуниверситет им. Н.И.Лобачевского

Исследовано поведение функции пространственной когерентности многомодового акустического сигнала в вертикальной плоскости случайно-неоднородного подводного звукового канала в модовом приближении и показана ее зависимость от числа энергонесущих мод и характерных для заданной дистанции величин взаимных корреляций модовых амплитуд.

Показано, что выигрыш антенны зависит как от входных параметров – шума и сигнала, так и от характеристик самой решетки.

Для демонстрации относительного усиления многомодового сигнала вертикальной антенной решеткой в случайно-неоднородном канале с учетом модового шума, обусловленного наличием шумовых источников в приповерхностном слое канала, были использованы известные модели функции пространственной когерентности шума, полученные в работах Крона-Шермана и Купермана-Ингенито.

Доказано, что по мере увеличения когерентности многомодового сигнала, а также при разделении сигнала и шума в пространстве волновых чисел, возрастает коэффициент усиления приемной вертикальной антенны.

Моделирование показало, что функция когерентности сигнала в вертикальной плоскости подводного звукового канала и отвечающий ей отклик антенной решетки существенным образом зависят от ключевых физических факторов распространения: характера спектра поперечных волновых чисел, спектра интенсивностей сигнальных мод и характерного (для данной дистанции) масштаба межмодовых корреляций. Следовательно, априорные оценки соответствующих параметров являются основой для оценки эффективности антенных решеток в реальных условиях дальнего распространения сигнала в океане.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности (№2014/134, проект 1822).

## РАМАНОВСКАЯ САМОКОМПРЕССИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ПЛАЗМЕ

Левин Д.С.»

[levdmit@gmail.com](mailto:levdmit@gmail.com)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)

Традиционно компрессия лазерных импульсов при обратном рамановском рассеянии описывается трехволновыми уравнениями для амплитуд лазерных импульсов и плазменных колебаний. При этом не учитываются эффекты, приводящие к опрокидыванию плазменной волны.

Между тем, опрокидывание плазменной волны при компрессии лазерных импульсов может приводить к эффективному укорочению выходного импульса за счет нелинейного «выключения» рамановского распада в задней части импульса, что позволяет увеличить его мощность.

В данной работе рассматривается рамановская компрессия с учетом плазменной дисперсии и опрокидывания плазменной волны в рамках гидродинамического описания. Как и в классическом описании, используется квазимонохроматическое приближение для волн лазерных импульсов и плазменных колебаний, а также нерелятивистский предел.

Плазменные колебания в данной работе описываются с помощью двух волн: плотности и скорости. В вид решения были введены также аналогичные волны с удвоенной частотой. Благодаря этому были получены уравнения на амплитуды плазменных колебаний с кубичной нелинейностью, которая может приводить к набегу фазы, приводящему к опрокидыванию плазменной волны.

В данной работе предположения о нелинейном отклике среды, приводящем к эффективному нарушению условий трехволнового синхронизма и укорочению выходного лазерного импульса, были проверены с помощью численного моделирования.

В результате был получен вид импульсов при различных значениях параметров задачи. Также была изучена зависимость максимальной мощности выходного импульса и эффективности его генерации от плазменной частоты.

Данная работа может быть полезна для определения оптимальных параметров плазмы при генерации мощных и коротких лазерных импульсов.

## **ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГРЕССИИ МЕЖДУ МЕЖПЛАНЕТНЫМ И МАГНИТОСФЕРНЫМ ПОЛЕМ ВУ ОТ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА БАЗЫ ДАННЫХ**

Лукин А.С., Петрукович А.А.

[apetruko@iki.rssi.ru](mailto:apetruko@iki.rssi.ru)

ИКИ РАН, Москва

Азимутальная компонента магнитного поля в хвосте магнитосферы Ву (в направлении запад-восток) определяется, в основном, аналогичной компонентой межпланетного магнитного поля и динамикой магнитосферы. По наблюдениям проекта Geotail 1995-2005 гг сформирована база данных, позволяющая анализировать влияние различных факторов на зависимость магнитосферного поля Вум и межпланетного Вуі. Показано, что коэффициент регрессии между Вум и Вуі зависит от условий выбора набора данных для анализа. Набор, составленный только по пересечениям спутником экваториальной плоскости по магнитным наблюдениям, включает больше измерений, сделанных в магнитоактивный период (при южном межпланетном поле), когда конфигурация хвоста постоянно меняется. Набор, составленный из длительных пересечений спутником плазменного слоя (приэкваториальной зоны), включает больше измерений, сделанных в магнитоспокойный период. В результате рассматриваемый коэффициент регрессии значительно отличается для двух наборов данных, что связано с наличием некоторого усиления Вум в магнитоактивное время.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ДИНАМИКЕ ИОНОВ В ЗАМКНУТЫХ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ С ШИРОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Малыхин А.Ю.<sup>1,2</sup>, Григоренко Е.Е.<sup>1</sup>, Малова Х.В.<sup>1,3</sup>

[anmaurdreg@gmail.com](mailto:anmaurdreg@gmail.com)

ИКИ РАН, г. Москва

МФТИ (ГУ) г. Долгопрудный, МО

НИИЯФ (МГУ) им. Скобелева г. Москва

Многочисленные спутниковые наблюдения показали, что в хвосте магнитосферы Земли довольно часто наблюдаются замкнутые магнитоплазменные конфигурации типа плазмоидов и магнитных островов с ненулевой компонентой  $V_y$ . Целью данной работы является изучение кинетических особенностей динамики неадиабатических ионов в токовом слое (ТС) внутри плазмоида(ов) и эффектов пространственного распределения частиц в таких конфигурациях. Для этого были исследованы траектории тестовых ионов различных масс ( $H^+$  и  $O^+$ ) в заданной магнитной конфигурации с единичным стационарным плазмоидом, находящимся с хвостовой стороны от ближней магнитной X-линии. В работе использовалась модель обращённого магнитного поля, на невозмущённую конфигурацию которого ( $B_x(z)$ ,  $B_y=0$ ,  $B_z=\text{const}$ ) накладывалась  $B_z(x)$ -вариация, обеспечивающая нам плазмоидо-подобную конфигурацию, в которой  $B_y=\text{const}$ . Также везде в системе присутствовало постоянное и однородное электрическое поле утро-вечер ( $E_y=0.1$  мВ/м). Считалось, что ионы приходят в ТС из высокоширотных долей хвоста с начальными энергиями 200эВ. Было показано что в плазмоиде, размер которого превышает ларморовский радиус ионов в ТС, характер движения ионов зависит от начальных параметров (масса, энергия, питч-угол, фаза) и от X-координаты точки влёта в ТС. В зависимости от перечисленных параметров ионы могут либо затягиваться в плазмоид, либо огигать его. Ионы, попавшие внутрь плазмоида, захватываются в нём, и в результате неадиабатического взаимодействия с ТС, движутся вдоль электрического поля утро-вечер, набирая энергию. Ограничение плазмоида в направлении утро-вечер накладывает ограничение на величину энергии набираемой ионами. Однако, наш анализ показал что существует группа ионов, которая выходя через вечерний фланг плазмоида, может вновь затянуться в него. Введение в модель магнитной конфигурации плазмоида сдвиговой компоненты магнитного поля ( $B_y$ ) приводит к значительному изменению динамики ионов, и появлению асимметрии “север-юг” в распределении частиц взаимодействующих с токовым слоем плазмоида, которая зависит от амплитуды  $B_y$ . Получены пространственные распределения плотности частиц для различных амплитуд  $B_y$ .

# ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ПРОЦЕСС ФИЛАМЕНТАЦИИ СФОКУСИРОВАННОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИМПУЛЬСА БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА В КОНДЕНСИРОВАННОЙ СРЕДЕ

Мареев Е.И., Потемкин Ф.В., Гордиенко В.М.

[mareev.evgeniy@physics.msu.ru](mailto:mareev.evgeniy@physics.msu.ru)

МЛЦ и физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

Филаментация ультракоротких лазерных импульсов – одно из наиболее бурно развивающихся направлений в нелинейной оптике. Но из-за многообразия и сложности многочисленных процессов, задающих распространение филамента в среде многие аспекты этого явления до сих пор остаются неясными [1]. Особенно явно это выражается при высоких мощностях лазерного импульса и филаментации в конденсированных средах, когда  $P \gg P_{cr}$ . В этих условиях могут реализовываться специфические режимы филаментации, такие как суперфиламентация [2]. В данной работе мы рассмотрим влияние расходимости лазерного излучения на процессы распространения филамента в конденсированной среде. Изменяя положения фокуса линзы, мы меняли кривизну волнового фронта и интенсивность на входе в среду, тем самым меняя соотношение между керровской самофокусировкой, плазменной дефокусировкой и дифракцией. Это значительным образом влияет на спектр конической эмиссии. Кроме того, когда большая часть перетяжки лазерного излучения находится в воздухе, а не в образце (так называемый режим двухкомпонентной среды), эффективность генерации суперконтинуума возрастает. Филаментация в режиме «двухкомпонентной среды» приводит к увеличению эффективной длины взаимодействия и, как следствие, увеличению эффективности преобразования основного излучения в излучения суперконтинуума. Особенно ярко это выражается при малых (<5мкДж) и очень больших (>50мкДж) энергиях лазерного импульса. При малых энергиях в случае, когда фокус линзы находится в среде генерации суперконтинуума (СК) еще не происходит, а при больших энергиях начинает повреждаться среда. Кроме того, в режиме двухкомпонентной среды спектр суперконтинуума существенным образом отличается от спектров суперконтинуума, полученных, когда фокус линзы расположен в среде. А именно: он имеет более высокоэнергетичное «синее крыло», однако в области 700-900 нм его спектральная яркость меньше.

- [1] Lim K, Durand M, Baudalet M and Richardson M 2014 Transition from linear- to nonlinear-focusing regime in filamentation *Sci. Rep.* **4** 7217
- [2] Potemkin F V, Mareev E I, Podshivalov A A and Gordienko V M 2015 Highly extended high density filaments in tight focusing geometry in water: from femtoseconds to microseconds *New J. Phys.* **17** 053010

# ВЛИЯНИЕ ШУМОВ НАКАЧКИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ КВАНТОВЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Мартынов В.О.

[votolm@gmail.com](mailto:votolm@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В последнее время активно обсуждается использование активных систем для формирования долгоживущих запутанных состояний [1-4]. В данной работе рассматривается процесс формирования запутанных состояний в системе параметрически связанных квантовых осцилляторов, помещенных в тепловой резервуар с конечной температурой  $T$ . Эта система уже рассматривалась в контексте генерации запутанных состояний в работах [2-4]. Отличием предложенной работы является использование формализма Гейзенберга-Ланжевена [5], а также учет конечной спектральной ширины шума в параметрической накачке. В качестве меры запутанности использовалась логарифмическая отрицательность  $E_N$  [6].

При исследовании частного случая нулевой спектральной ширины шума (абсолютно когерентная накачка) результаты совпадают с представленными в работе [2]. В частности демонстрируется наличие стационарного запутанного состояния в системе, с бесконечным временем жизни. Это состояние формируется, если амплитуда параметрической накачки  $\varepsilon$  превышает некоторое критическое значение, определяемое температурой резервуара  $\varepsilon_{кр} = 4kT/h\omega_0^2$ ,  $\omega_0$  - частота осцилляторов. При наличии шума в накачке, время жизни описанных выше состояний становится конечным. При этом существует некоторое пороговое значение спектральной ширины шума, при которой время жизни обращается в ноль, то есть запутанность в системе не появляется. Тут надо отметить, что по мере уменьшения амплитуды накачки до критической, происходит уменьшение пороговой спектральной ширины шума. Одновременно с этим при фиксированной температуре и ширине линии излучения накачки максимальное время жизни запутанного состояния будет при  $\varepsilon$  вблизи критического значения, а при увеличении этого параметра время жизни будет убывать, в пределе до нуля. Также здесь надо учитывать, что с точки зрения приложений важен не только факт наличия запутанности в системе, но и ее качество, определяемое значением  $E_N$ . Отметим, что при увеличении силы накачки от критического значения,  $E_N$  непрерывно растет от нулевого значения, соответствующего  $\varepsilon_{кр}$ .

1. V. Vedral // Nature, 2010, Vol. 468, 769.
2. F. Galve, L. A. Pachon and D. Zueco // Phys. Rev. Lett., 2010, Vol. 105(18), 180501.
3. R. Schmidt, J. T. Stockburger, J. Ankerhold // Phys. Rev. A, 88, 052321, 2013
4. T. F. Roque, J. A. Roversi // Phys. Rev. A, 88, 032114, 2013
5. Скалли М. О., Зубайри М. С. Квантовая оптика // М.: Физматлит, 2003.
6. Vidal G., Werner R. F. // Phys. Rev. A 65, 032314 (2002).

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НАПОРНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СМЕСИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С УЧЕТОМ ЗАКУПОРКИ

Марышев Б.С.

[bmaryshev@mail.ru](mailto:bmaryshev@mail.ru)

Пермский государственный университет,  
Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

При медленной фильтрации смеси состоящей из несущей жидкости и тяжелой примеси в вертикальном фильтре благодаря диффузионному переносу возникает переходный слой между чистой жидкостью и смесью. Со временем толщина переходного слоя растет. При прошествии критического времени в этом слое развивается неустойчивость Релея-Тейлора [1] в результате чего концентрационное поле приобретает характерный вид "пальцев". Перенос любой нерастворимой примеси в пористой среде сопровождается процессом ее осаждения на стенки пор - иммобилизацией. Иммобилизация замедляет перенос, тем самым увеличивая критическое время необходимое для формирования неустойчивой стратификации. Осажденная примесь занимает часть объема пор, тем самым уменьшая пористость и проницаемость среды. Последнее обстоятельство дополнительно увеличивает устойчивость системы.

В настоящей работе рассмотрена устойчивость напорной фильтрации. На границе замкнутой пористой полости задается вертикальный перепад давления. Из-за чего, возникает напорное течение. Задача решается в двумерной постановке, форма полости, для простоты, выбрана прямоугольной. Осаждение примеси учитывается в рамках нелинейной МММ модели с кинетикой иммобилизации второго порядка [2]. Зависимость проницаемости от пористости в рамках модели Козени-Кармана [3].

Получено основное решение для распределения примеси, соответствующее режиму вертикального просачивания. Когда скорость фильтрации зависит только от вертикальной координаты и времени, но по причине закупорки координатная зависимость нелинейна. Концентрации свободной и осевшей примеси тоже сложным образом зависят от вертикальной координаты и времени. Такое решение описывает проникновение диффузионного фронта вглубь фильтра, с течением времени оно становится неустойчивым. Задача решается в квазистатическом приближении, то есть предполагается, что характерное время формирования неустойчивой стратификации много больше характерного времени развития неустойчивости Релея-Тейлора. Это предположение позволяет отделить задачу о формировании режима вертикального просачивания, от задачи об устойчивости такого решения.

При таком подходе, медленное время формирования неустойчивого состояния – критическое время, становится одним из параметров системы. Получены зависимости критического времени и формы наиболее опасных возмущений от параметров иммобилизации и числа Релея-Дарси. Получены карты устойчивости в пространстве параметров системы. Изучена ситуация при которой критическое время настолько велико, что критическая толщина переходного слоя больше чем длина фильтра, в этом случае неустойчивость не успевает возникнуть.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации (код проекта МК-6851.2015.1).

1. Riaz A., Hesse M., Tchelepi H. A., Orr F. M. Onset of convection in a gravitationally unstable diffusive boundary layer in porous media, *J. Fluid Mech.* 2006. V. 548.
2. Selim, H. M. and M. C. Amacher. 1997. *Reactivity and Transport of Heavy Metals in Soils.* CRC/Lewis, Boca Raton, FL (240 p).
3. Kozeny J. Ueber kapillare Leitung des Wassers im Boden, *Sitzungsber Akad. Wiss.* 1927. V. 136. № 2a.

# СИНХРОНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ «МАЛЫЙ МИР» БЫСТРО-МЕДЛЕННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ В ТЕРМИНАХ БАСЕЙНОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Масленников О.В.

[olmaov@ipfran.com](mailto:olmaov@ipfran.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Коллективные явления в нейронных сетях, демонстрирующих быстро-медленные хаотические – так называемые бёрстовые – колебания, имеют большое значение для понимания ряда ключевых процессов в мозге и клеточных культурах. Один из важных коллективных эффектов в нейронных ансамблях с указанной динамикой – это бёрстовая синхронизация. Установлено, что такие свойства сети, как топология и сила связей оказывают существенное влияние на бёрстовую синхронизацию, в частности, в таком классе сложных систем, как сети «малый мир». Целый ряд структурных и функциональных сетей различных отделов головного мозга обладают свойством «малого мира», однако причина распространения этого свойства в реальных сетях оставалась долгое время неясной. Недавно было установлено, что именно сети, занимающие промежуточное положение между случайными и регулярными – сети «малый мир» – обладают наибольшей возможной бассейновой устойчивостью режима синхронизации. Бассейновая устойчивость характеризует относительный объем фазового пространства, содержащий начальные условия, стартуя с которых, траектории притягиваются к аттрактору, отвечающему режиму синхронизации. В настоящем докладе рассматриваются сети «малый мир», в которых узлы-осцилляторы демонстрируют хаотические спайк-бёрстовые колебания, т.е. являются быстро-медленными системами с хаосом. Изучена бассейновая устойчивость режимов бёрстовой синхронизации в зависимости от топологических свойств сети, силы связей и динамики осцилляторов.

1. O.V. Maslennikov, V.I. Nekorkin, J. Kurths //Phys. Rev. E. 2015. Vol. 92, Issue 4, 042803.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНЫХ МУЛЬТИФЕРРОИКАХ

Матвеев О.В., Морозова М.А.

[olymatveev@gmail.com](mailto:olymatveev@gmail.com)

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Первые работы по изучению слоистых мультиферроиков (материалов, одновременно обладающих ферромагнитными и сегнетоэлектрическими свойствами) были посвящены теоретическому и экспериментальному исследованию двухслойных структур ферромагнитная пленка – сегнетоэлектрик (ФП-СЭ) [1]. Электромагнитные волны, распространяющиеся в СЭ, оказываются сильно замедленными, в этом случае в структуре ФП-СЭ на частотах, близких к частоте фазового синхронизма между ЭМВ и МСВ, возникают гибридные электромагнитно-спиновые волны (ГЭМСВ). Интерес к таким структурам был возобновлен в последние годы в связи с появлением новых сегнетоэлектрических материалов (керамические пластины титаната бария и стронция (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub>) с широким диапазоном перестраиваемой диэлектрической проницаемости [2].

При использовании периодических структур на основе ферромагнитных пленок – магнитных кристаллах (МК) - в спектре магнитостатических волн (МСВ) возникают запрещенные зоны, характеристики которых (ширина, положение в спектре) зависят от внешнего магнитного поля. Использование слоя сегнетоэлектрика совместно со слоем МК (МК-СЭ) позволяет осуществлять электрическое управление положением и шириной запрещенных зон. В последние несколько лет опубликовано несколько работ об экспериментальном и теоретическом исследовании таких структур [3,4].

В настоящей работе построена модель для исследования дисперсионных характеристик ГЭМСВ в структурах ФП-СЭ и МК-СЭ, в которой учтены нелинейные зависимости дисперсионных свойств ГЭМСВ от амплитуды входного сигнала. Учитывалась магнитная нелинейность в виде нелинейной зависимости магнитного момента от величины намагниченности, электрическая нелинейность представлялась в виде нелинейной зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности электрического поля. Показано, что при учете нелинейности дисперсионные характеристики ГЭМСВ существенно изменяются: запрещенные зоны в спектре ГЭМСВ сдвигаются, их положение меняется. Исследуемые структуры МК-СЭ и ФП-СЭ могут представлять интерес при разработке перестраиваемых СВЧ-фильтров с двойным электрическим и магнитным управлением, а учет нелинейных эффектов позволит уточнить характеристики таких устройств в случае распространения в них сигналов с большими амплитудами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-07-05901 - а).

1. Анфиногенов В.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. №8. С. 454.
2. Демидов В.Е., Калиникос Б.А., Эденхофер П. // ЖТФ. 2002. Т. 72. № 61.
3. Морозова М.А. и др. // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59, № 5. С. 510
4. Устинов А.Б., Калиникос Б.А. Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40, №13. С. 58.

## ОЦЕНКА СТАРШЕГО ЛЯПУНОВСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПО ЭЭГ КРЫС – МОДЕЛЕЙ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ

Медведева Т.М.<sup>1</sup>, Люттйоханн А.<sup>2</sup>, Луйтелаар Ж.<sup>3</sup>, Сысоев И.В.<sup>1</sup>

[golovatanya@rambler.ru](mailto:golovatanya@rambler.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Вестфальский университет имени Вильгельма, Мюнстер, Германия

<sup>3</sup>Университет Неймегена имени святого Радбода Утрехского, Неймеген, Нидерланды

Рассматривается расчёт старшего ляпуновского показателя по временным рядам электроэнцефалограмм крыс линии WAG/Rij – генетических моделей абсансной эпилепсии. Анализируются участки ЭЭГ, соответствующие как фоновой, так и абсансной активности.

Абсансные разряды известны как нелинейные колебания большой амплитуды с хорошо выраженным временным масштабом. Поскольку появление основной частоты обычно рассматривается как переход от сложной динамики ЭЭГ в фоне к более регулярной абсансной активности, динамические свойства этого типа эпилептиформной активности в настоящее время мало изучены. В данной работе в качестве меры сложности и регулярности экспериментальных сигналов использовался старший ляпуновский показатель  $\Lambda$ .

Экспериментальные временные ряды представляли собой внутричерепные ЭЭГ десяти крыс линии WAG/Rij – генетических моделей абсансной эпилепсии [1]. Старший ляпуновский показатель оценивался по четырёмсекундным участкам пяти отведений ЭЭГ (трёх отведений коры и двух отведений таламуса) как в фоне, так и во время эпилептического разряда. Расчёт  $\Lambda$  осуществлялся по скалярному временному ряду методом, адаптированный для коротких временных рядов [2], для чего предварительно проводилась реконструкция фазового пространства методом временных задержек [3].

Статистический анализ результатов показал, что оценка старшего ляпуновского показателя в фоне значимо больше, чем во время абсансных разрядов, причем в обоих случаях значения оказались положительными. Таким образом показано, что абсансная активность – это менее хаотический по сравнению с фоном процесс с хорошо выраженным временным масштабом.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 14-02-00492 и Стипендии Президента РФ для поддержки молодых учёных СП-1510.2015.4.

1. van Luijteleaar, E. L. J. M. and Coenen, A. M. L. // Behavior Genetics 2003. Vol. 33. 2003 P. 635–655.

2. Rosenstein M. T., Collins J. J., De Luce C. J., // Phys. D 65. 1993. Vol. 65. P. 117

3. Packard N, Crutchfield J, Farmer J and Shaw R. // Phys. Rev. Lett. 1980. Vol. 45. P. 712

# УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОРОТКОИМПУЛЬСНОГО ДВУХЦВЕТНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕНТГЕНОВСКИЙ ДИАПАЗОН

Мешков О.В.<sup>1,2</sup>, Емелин М.Ю.<sup>2</sup>, Рябикин М.Ю.<sup>2</sup>

[meshkov-oleg@rambler.ru](mailto:meshkov-oleg@rambler.ru)

<sup>1</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,

<sup>2</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Одним из актуальных направлений исследований в фемтосекундной оптике является синтез ультракоротких оптических волновых форм с целью формирования импульсов с произвольной зависимостью электрического поля от времени [1, 2]. Такие технологии открывают возможности для полного контроля над микроскопической динамикой электронов и других заряженных частиц в процессе ионизации атомов и молекул лазерными импульсами. В частности, успешно проведены первые эксперименты, демонстрирующие применения таких импульсов для управления процессом ионизации атомов с субфемтосекундной точностью [3]. Исследования в этом направлении привлекают особое внимание в связи с возможностью управления генерацией аттосекундных импульсов, имеющих широкие перспективы использования в различных приложениях, в том числе для спектроскопии со сверхвысоким временным разрешением.

В данной работе, используя квантомеханическое описание процесса генерации гармоник высокого порядка (ГВВП) в приближении сильного поля [4], модифицированного таким образом, чтобы учесть опустошение основного атомного состояния, мы исследовали возможность увеличения выхода ГВВП при использовании ультракоротких оптических волновых форм, полученных сложением двух задержанных относительно друг друга ультракоротких импульсов с различающимися центральными длинами волн.

В результате проведенных вычислений удалось найти волновые формы, при которых достигается значительное увеличение эффективности трансформации двухцветного оптического излучения в рентгеновское. В частности, нами продемонстрирована возможность увеличения выхода гармоник с энергиями фотонов около 3 кэВ более чем на порядок величины по сравнению со случаем одноцветного лазерного поля. Высокая эффективность процесса ГВВП при использовании найденных волновых форм объясняется особенностями динамики фотоэлектронов, характеризуемой в данном случае сочетанием высокой вероятности отрыва электронов, дающих основной вклад в высокочастотную область спектра ГВВП, с относительно малой вероятностью опустошения атомарных уровней в интервале времени между отрывом электрона и его столкновением с родительским ионом [5].

1. *Goulielmakis E. et al. // Science. 2007. V. 317. P. 769.*
2. *Chan H.-S. et al. // Science. 2011. V. 331. P. 1165.*
3. *Wirth A. et al. // Science. 2011. V. 334. P. 195.*
4. *Lewenstein M. et al. // Phys. Rev. A. 1994. V. 49. P. 2117.*
5. *Silaev A.A. et al. // Quantum Electron. 2015. V. 45. P. 393.*

## **ПРЕИМУЩЕСТВА МАССИВОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОЛИНЗ НЕСФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНО-ЧАСТИЧНОЙ ЛИТОГРАФИИ**

Митин Н.Н., Пикулин А.В.

[mitiay5@mail.ru](mailto:mitiay5@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В докладе освещается такая актуальная в последние годы прикладная задача взаимодействия лазерного излучения с веществом как лазерно-частичная литография. Диэлектрические микро- и наночастицы наносятся на поверхность твёрдого тела, некоторой подложки. При падении лазерного излучения на такую структуру фокусировка излучения частицами, которые могут иметь форму шариков или сфероидов, приводит к поглощению излучения в веществе, что ведёт к сильно локализованной модификации вещества.

Плотнупакованный монослой сферических микролинз может быть нанесён на поверхность, например, при высыхании коллоидного раствора. Однако, сферическая форма не является оптимальной для фокусировки луча в силу сильных аберраций. Для диоксида кремния или полимерных микросфер с показателем преломления около 1,5, максимум интенсивности лазерного излучения расположен близко к поверхности сферы, что позволяет получать наноструктуры с небольшим соотношением сторон. Для частиц с более высоким показателем преломления, максимум поля находится внутри сферы, что таким образом делает такие частицы неприменимыми для поверхностного наноструктурирования. Была решена задача о фокусировке лазерного излучения плотнупакованным массивом сфероидальных микролинз. Численный расчет, произведенный с помощью созданного нами программного кода, использующего метод конечных разностей во временной области (метода FDTD), показал, что при использовании сфероидальных микролинз из материала с высоким показателем преломления (например, диоксида титана) можно увеличить интенсивность электрического поля в максимуме, вывести максимум из частицы в подложку, а также получать наноструктуры с большим соотношением сторон, чем при использовании массива сферических частиц. Полученные в работе результаты могут быть использованы для решения широкого спектра задач лазерно-частичной литографии.

## СРАВНЕНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Митрофанов А.А.<sup>1</sup>, Сафин А.Р.<sup>1,2</sup>, Удалов Н.Н.<sup>1</sup>

[mitrofanov\\_alexander@mail.ru](mailto:mitrofanov_alexander@mail.ru)

<sup>1</sup> Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»

<sup>2</sup> Национальный Исследовательский Университет «МГТУ им. Н.Э. Баумана»

В докладе рассматриваются две системы синхронизации спин-трансферного наноосциллятора – синхронизация системой фазовой автоподстройки частоты и внешним гармоническим источником. Проведено сравнение шумовых характеристик систем – амплитудных, фазовых шумов и дисперсии.

Современной тенденцией электроники является уменьшение размеров ключевых элементов и устройств. В то же время предъявляются повышенные требования к основным характеристикам этих устройств. Поэтому множество научных групп занимаются изучением, так называемых спин-трансферных наноосцилляторов (СТНО), которые позволяют получить СВЧ колебания в широком диапазоне частот и обладают размерами порядка десятков и сотен нанометров [1]. Однако нерешенной является проблема низкой выходной мощности единичного осциллятора и низкая стабильность выходных колебаний. Одним из методов улучшения шумовых характеристик является использование систем синхронизации.

Динамика и шумовые характеристики системы фазовой синхронизации описаны в [2,3]. В качестве модели синхронизации внешним гармоническим источником используется модель нелинейного, неизохронного автогенератора Славина-Тиберкевича [4] с учетом влияния теплового шума и синхронизации. Получены укороченные линеаризованные уравнения относительно амплитудных и фазовых отклонений от стационарных значений. Спектральные характеристики таких отклонений показывают, соответственно, амплитудные и фазовые шумы. Отличия в моделях систем синхронизации определяют различия в шумовых характеристиках СТНО. Так, благодаря прямому влиянию внешнего гармонического источника на частоту (а не через амплитуду, как для фазовой синхронизации) уменьшается инерционность синхронизации и улучшаются шумовые характеристики.

1. W. H. Rippard et al. // Phys. Rev. B. 2004 Vol. 70, P. 100406.

2. А.А. Митрофанов и др. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40 вып.13. с.66-72.

3. А.А. Митрофанов и др. // Письма в ЖТФ. 2015. Т. 41 вып.16. с.29-35.

4. Slavin A., Tiberkevich V. // IEEE Trans. on Magnetics. 2009. V. 45. №4. pp. 1875-1918.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ НЕЙРОПОДОБНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Большаков Д.И., Мищенко М.А.

[mischenko@neuro.mnov.ru](mailto:mischenko@neuro.mnov.ru)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Задача аппаратной реализации нейронов и их сетей возникла в конце 80-х годов XX века. К этому времени было известно достаточно много математических моделей, описывающих динамику нейронов с различной степенью детализации. Однако слабое развитие вычислительных технологий не позволяло проводить численные эксперименты даже с небольшими ансамблями модельных клеток. Огромным преимуществом на этом фоне обладали аппаратные или «кремниевые» нейроны, поскольку скорость их работы определялась только конкретной схемотехнической реализацией и не ограничивалась количеством элементов, включенных в сеть. Было разработано множество различных схемотехнических реализаций нейронов, отличающихся по степени детализации и биологической правдоподобности [1,2], по количеству воспроизводимых динамических режимов [3,4].

В данной работе рассматривается модель нейроподобного элемента на основе системы фазовой синхронизации с полосовым фильтром. Теоретическое исследование такой модели было проведено в работе [5]. Было показано, что в такой системе отсутствует режим синхронизации, являющийся основным для систем фазовой автоподстройки частоты, но при всех значениях параметров реализуется режим биений. При этом изменение напряжения на выходе полосового фильтра качественно похоже на динамику мембранного потенциала нейрона.

Задачей данной работы была разработка аппаратной реализации устройства для генерации нейроподобных колебаний. За основу была взята микросхема фирмы Texas Instruments. В ее состав входят фазовый компаратор, реализующий функцию «Исключающее ИЛИ» и генератор, управляемый напряжением. Был разработан полосовой фильтр, позволяющий получить колебания, описанные в теоретическом исследовании [5]. На разработанном устройстве была продемонстрирована возможность генерации нейроподобных колебаний различной сложности: регулярные одиночные импульсы, пачечные импульсы различной длительности, хаотическая импульсная динамика.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы" Минобрнауки России (Соглашение №14.578.21.0074, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0074).

1. Simoni M.F. et al. // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2004. Vol. 51, № 2. P. 342–354.
2. Torikai H., Nishigami T. // Neural Netw. 2009. Vol. 22, № 5-6. P. 664–673.
3. Wijekoon J.H.B., Dudek P. // Neural networks. 2008. Vol. 21. P. 524–534.
4. Savino G.V, Formigli C.M. // Biosystems. 2009. Vol. 97, № 1. P. 9–14.
5. Мищенко М.А., Шалфеев В.Д., Матросов В.В. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2012. Vol. 20, № 4. С. 122–130.

## **ГЕНЕРАЦИЯ ГИГАНТСКИХ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ИОНИЗАЦИИ ВАКУУМА В СВЕРХСИЛЬНЫХ ПОЛЯХ: ГЕНЕРИРУЕМОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И РЕЛАКСАЦИЯ**

Муравьев А.А., Башинов А.В., Ефименко Е.С., Ким А.В., Сергеев А.М.  
[sashamur@gmail.com](mailto:sashamur@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Ожидается, что проектируемые лазерные комплексы следующего поколения позволят достичь интенсивностей порядка  $10^{25}$ - $10^{26}$  Вт/см<sup>2</sup>, в виду чего в последние годы обрели популярность исследования взаимодействия сверхсильных лазерных полей с веществом. При данном уровне интенсивностей важную роль в динамике взаимодействия лазерного поля с плазмой начинают играть принципиально новые эффекты: дискретная радиационная отдача от излучения жестких гамма-квантов, а затем распад таких гамма-квантов на электрон-позитронные пары. Основным методом исследования таких задач в данный момент является численное моделирование.

В недавней работе [1] с помощью численного моделирования был предсказан эффект генерации тонких токовых слоев и гигантских квазистатических магнитных полей во встречных линейно-поляризованных волнах сверхвысокой интенсивности в одномерной геометрии. Принципиальным является самосогласованное описание и существенное обратное влияние плазмы на поле. Было установлено, что время жизни сформировавшейся структуры магнитных полей после окончания лазерного импульса много больше периода поля.

В данной работе проводится исследование излучения, генерируемого такой структурой токов и магнитного поля на разных этапах, а также механизмов их медленной релаксации.

1. А.А.Муравьев и др.// Письма в ЖЭТФ. 2015. Т.102, вып. 3. С. 173 – 178.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ СОСТАВА Ge-S-I

Мурзанев А.А.<sup>1</sup>, Корытин А.И.<sup>1,2</sup>, Яшунин Д.А.<sup>1,2</sup>, Мальков Ю.А.<sup>1</sup>, Мочалов Л.А.<sup>1,2</sup>,  
Степанов А.Н.<sup>1,2</sup>  
[alex\\_murz@mail.ru](mailto:alex_murz@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Халькогенидные стекла представляются новым многообещающим материалом для создания элементов нелинейной фотоники и волоконной оптики в инфракрасном диапазоне длин волн. Одним из наиболее перспективных методов синтеза халькогенидных стекол являются плазмохимические методы, основанные на применении низкотемпературной неравновесной плазмы, поддерживаемой высокочастотным разрядом [1]. Полученные таким методом образцы обладают предельной химической чистотой и контролируемым стехиометрическим составом, а значит и нелинейными оптическими свойствами. В настоящей работе мы исследовали коэффициент двухфотонного поглощения  $\beta$  и нелинейный коэффициент преломления  $n_2$  халькогенидных стекол системы  $\text{Ge}_x\text{S}_{90-x}\text{I}_{10}$ , синтезированных плазмохимическим методом, с использованием излучения фемтосекундного лазера (длительность импульса  $\tau=70$  фс, длина волны  $\lambda\approx 800$  нм).

Для исследования нелинейных коэффициентов  $n_2$ ,  $\beta$  мы использовали классическую и модифицированные методики “Z-scan” [2], зондируя халькогенидные стекла с различным химическим составом фемтосекундными лазерными импульсами. Также нелинейные коэффициенты измерялись с помощью метода нелинейного фазового контраста [3] путем сравнения данных халькогенидного образца и образца с известными параметрами (плавленый кварц).

Измеренные коэффициенты двухфотонного поглощения для различных образцов халькогенидных стекол системы  $\text{Ge}_x\text{S}_{90-x}\text{I}_{10}$  лежат в диапазоне (1-6)  $10^{-11}$  см<sup>2</sup>/Вт. Была обнаружена сильная зависимость коэффициента двухфотонного поглощения  $\beta$  от соотношения числа атомов Ge и S в химическом составе стекол. Максимальный коэффициент двухфотонного поглощения наблюдался при соответствии химического состава стекла стехиометрической валентности. Измеренные коэффициенты нелинейности  $n_2$  для образцов халькогенидных стекол на два порядка превосходят нелинейный коэффициент для кварцевого стекла.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 15-19-00147).

1. L.A. Mochalov, R.A. Kornev, M.F. Churbanov, P.G. Sennikov. Investigation of the process of hydrogen reduction of <sup>32</sup>S from <sup>32</sup>SF<sub>6</sub> via RF capacitive plasma discharge. J. of Fluorine Chemistry. 2014. Vol. 160. pp. 48-51.
2. R.L. Sutherland. Handbook of nonlinear optics. CRC press, 2003.
3. J. Glückstad, D. Palima. Generalized phase contrast. Springer Netherlands, 2009.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ СРЕДЫ С КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ПО ИСКАЖЕНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА И КОНТРАСТУ ИЗОБРАЖЕНИЯ АМПЛИТУДНОГО ОБЪЕКТА

Мурзанев А.А., Мартынов В.О.

[alex\\_murz@mail.ru](mailto:alex_murz@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Распространение лазерного излучения в средах, обладающих нелинейным показателем преломления, приводит к искажению поперечной структуры пучка, препятствует качественной передаче изображения. В то же время нелинейные среды могут быть использованы, например, в качестве нелинейного фазового фильтра в схеме визуализации прозрачного фазового объекта методом фазового контраста Цернике [1,2]. Использование нелинейной среды в качестве фазового фильтра упрощает юстировку оптической системы, поскольку не требует прецизионной установки фильтра в фокусе системы переноса изображения. Для количественной интерпретации фазоконтрастного восстановления изображения объекта необходимо знать характеристики нелинейного фильтра.

В своей работе мы предлагаем метод исследования нелинейного показателя преломления среды, выполняющей роль нелинейного фильтра, основанный на определении изменения структуры пучка, проходящего сквозь нелинейную среду, и зависимости контраста изображения амплитудного объекта от интенсивности лазерного излучения.

При численном моделировании рассматривалась схема, в которой лазерный пучок пересчитывался с использованием дифракционного интеграла Френеля – Кирхгофа в фокальную плоскость линзы системы переноса изображения, в которой расположен нелинейный фазовый фильтр Цернике. Далее, полагая, что фильтр обладает нелинейностью керровского типа с мгновенным и локальным откликом, нелинейные эффекты в нем не влияют на распределение интенсивности, а лишь вносят фазовые искажения, в работе вычислялась величина фазового искажения, вносимого фильтром. Затем поле с выхода фильтра с помощью интеграла Френеля – Кирхгофа пересчитывалось в плоскость изображения. Вычисления проводились как для импульсного, так и для непрерывного излучения. Показано существенное количественное отличие этих двух случаев.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-02-08212).

1. J. Glückstad, D. Palima. Generalized phase contrast // Springer Netherlands, 2009.
2. Е.Л. Бубис, А.З. Матвеев. Анализ процесса визуализации прозрачных объектов при использовании фазоконтрастного метода с фототермической ячейкой Цернике // *Квант. электроника*, 2012, 42 (4), 361–366.

## ДИСКОВЫЙ ЛАЗЕР С КОМПОЗИТНЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Мухин И.Б.

[mib\\_1982@mail.ru](mailto:mib_1982@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

На сегодняшний день задача создания лазеров с одновременно высокой средней и пиковой мощностью является одной из наиболее актуальных для науки и высокотехнологичного производства. Такие источники могут быть использованы для обработки материалов, генерации рентгеновского излучения, накачки для фемтосекундных лазеров и многих других приложений. Использование многопроходных усилителей на основе дисковой геометрии активного элемента (АЭ) является одним из перспективных направлений в разработке лазеров с высокой энергией в импульсе и частотой их повторения. Дисковые АЭ эффективно охлаждаются благодаря большой площади охлаждения относительно объема, а масштабирование выходной мощности осуществляется благодаря увеличению диаметра накачки. Однако величина усиления и качество выходного пучка в дисковых АЭ ограничены сильным эффектом усиленного спонтанного излучения (УСИ) и тепловыми искажениями излучения.

В работе представлены результаты исследований усиления и тепловых эффектов в дисковых активных элементах. Решена совместная задача нелинейного уравнения теплопроводности и балансных уравнений с учетом температурной зависимости других материальных констант от температуры [1]. Выполнены измерения усиления и тепловых искажений излучения, в том числе в режиме с генерацией излучения [2]. Показано, что эффективное охлаждение дискового АЭ возможно при тепловом контакте с металлическим теплоотводом не хуже  $20 \text{ Вт}/(\text{К}\cdot\text{см}^2)$ , а эффект усиленного спонтанного излучения (УСИ) может быть частично подавлен в композитном активном элементе, состоящем из тонкого легированного диска и толстого нелегированного, соединенных с помощью термодиффузионной сварки. Обнаружен эффект дополнительного нелинейного тепловыделения, связанный с величиной инверсии в АЭ [2], и показано, что этот эффект может быть уменьшен в композитных АЭ.

На основе полученных результатов разработан дисковый лазерный квантрон с композитным активным элементом. Продемонстрировано двухкратное увеличение усиления по слабому сигналу в композитном АЭ по сравнению с дисковым при сравнимой величине фазовых искажений излучения. На основе квантрона с композитным АЭ создан дисковый лазер с выходной мощностью до 450 Вт и оптическим КПД более 40% [3], разрабатывается многопроходный усилитель с выходной средней мощностью более 100 Вт.

1. О.Л. Вадимова, И.Б. Мухин, И.И. Кузнецов, О.В. Палашов, Е.А. Перевезенцев, Е.А. Хазанов, "Расчет коэффициента усиления в криогенно охлаждаемых Yb : YAG-дисках в условиях сильного тепловыделения", Квант. электроника, 2013, 43 (3), 201–206.
2. Ivan I. Kuznetsov, Ivan V. Mukhin, Dmitriy E. Silin, Anton G. Vyatkin, Olga L. Vadimova, Oleg V. Palashov, "Thermal effects in end-pumped Yb:YAG thin-disk and Yb:YAG/YAG composite active element", IEEE Journal of Quantum Electronics, Volume:50, Issue 3, 133-140, 2014
3. И.И. Кузнецов, И.Б. Мухин, О.Л. Вадимова, О.В. Палашов, "Дисковый лазер на основе композитного активного элемента из Yb:YAG / YAG", Квант. электроника, 2015, 45 (3), 207–210.

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ ПРИ РАСШИРЕНИИ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ В РАЗРЕЖЕННУЮ ИОНИЗОВАННУЮ СРЕДУ

Нечаев А.А., Гарасев М.А., Кочаровский Вл.В.

[ant.a.nech@gmail.com](mailto:ant.a.nech@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Рассмотрена одномерная задача о бесстолкновительном разлете слоя неравновесной (двухтемпературной) горячей плазмы в полупространство, занятое холодной разреженной плазмой. Установлено, что наличие последней, в широкой области ее параметров, приводит к возникновению волны плотности частиц, движущейся со скоростью близкой к ионно-звуковой. Подобное явление с недавних пор наблюдается в лабораторных экспериментах с лазерной плазмой.

С целью изучения этого явления при помощи PIC-моделирования исследована динамика концентрации частиц плазмы обоих типов, прослежена эволюция их фазового распределения и генерируемых в ходе процесса электрического и магнитного полей. В качестве типичного в докладе представлен пример расчёта, в котором в начальный момент времени в полупространстве, заполненном «фоновой» плазмой с концентрацией  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  и температурой частиц 3 эВ, около отражающей границы находится горячий плазменный слой с концентрацией  $10^{20} \text{ см}^{-3}$  и температурой электронов и ионов, равной 3 КэВ и 3 эВ соответственно.

Показано, что в ходе свободного разлета плазмы в ней появляется слой с локальным максимумом концентрации, занимающий несколько ленгмюровских длин волн и движущийся со скоростью, близкой или немного превышающей скорость ионного звука. Направленное движение ионов и электронов поддерживается продольным электрическим полем разделения зарядов. При этом возникает сильная анизотропия функции распределения электронов по скоростям, обуславливающая вейбелевскую неустойчивость и генерацию позади указанного слоя поперечного магнитного поля, плотность энергии которого достигает 10% от плотности энергии частиц в области моделирования.

## ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКИ ДЕТЕКТИРУЕМОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА NV-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ И КРИОГЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Ахмеджанов Р.А., Гущин Л.А., Зеленский И.В., Низов В.А., Низов Н.А., Собгайда Д.А.  
[nizovva.w@gmail.com](mailto:nizovva.w@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Ансамбли NV-центров в алмазе являются перспективной средой для реализации магнитометрии и квантовых стандартов частоты. Благодаря особой структуре оптических переходов для этих целей в основном используется метод оптически детектируемого магнитного резонанса (ОДМР). Суть метода заключается в наблюдении изменения сигнала флуоресценции, вызываемой оптическим возбуждением, при приложении СВЧ излучения на частоте микроволнового перехода.

Целью работы является исследование спектров ОДМР при резонансном оптическом возбуждении. Нами были проведены измерения в условиях криогенной температуры, так как в этом случае в спектре флуоресценции наблюдается характерная бесфононная линия NV-центров. Обнаружено существенное отличие от обычного ОДМР: переворот резонанса (теперь наблюдается рост сигнала флуоресценции, а не уменьшение), а также существенное увеличение контраста. Эффект увеличения контраста представляет большой интерес для развития методов магнитометрии, так как позволяет повысить чувствительность измерений.

Обращение провала в спектре ОДМР при резонансном оптическом возбуждении объясняется в данной работе следующим образом. В неоднородно уширенном контуре происходит выделение нескольких групп частиц с частотами переходов, соответствующим частоте лазера. Для каждой из групп из-за спин зависимого характера оптических переходов происходит перекачка населённости с рабочего подуровня на подуровень с другой проекцией спина, что приводит к подавлению сигнала флуоресценции. При приложенном резонансном СВЧ излучении происходит обратное заселение, и уровень флуоресценции увеличивается. В случае же нерезонансной оптической накачки происходит поляризация всех NV-центров на основной спиновый подуровень, поэтому при возбуждении микроволнового перехода населённость этого подуровня, а следовательно, и сигнал флуоресценции уменьшается.

Были проведены измерения зависимости ОДМР от температуры, обнаружена точка переворота  $\sim 35\text{K}$ . Установлено, что температура переворота соответствует переходу к селективному режиму возбуждения, так как при данной температуре амплитуда скачков частоты оптического перехода каждого NV-центра из-за спектральной диффузии становится равной частоте микроволнового перехода. При более высокой температуре воздействие резонансного оптического излучения аналогично нерезонансному.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №14-29-07152).

## ДВИЖЕНИЯ ВОДНОГО СЛОЯ В ВОЛНАХ ЦУНАМИ ПО ДАННЫМ ГУСТОЙ СЕТИ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ УРОВНЯ МОРЯ

Нурисламова Г.Н., Носов М.А.

[nurislamova@physics.msu.ru](mailto:nurislamova@physics.msu.ru)

Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

Прогноз цунами обычно опирается на магнитудно-географический критерий. Но связь цунами с землетрясением сложна и неоднозначна. Следовательно, прогноз, опирающийся главным образом на магнитуду землетрясения в принципе не может быть надежным. В этой связи для уточнения прогноза всегда используют дополнительную (гидрофизическую) информацию о факте возникновения и параметрах волны цунами.

При выявлении цунами в открытом океане обычно регистрируются вертикальные движения водного слоя, точнее, вариации уровня моря. Горизонтальные движения водного слоя относительно редко становятся предметом внимания, несмотря на то, что их амплитуда в длинных волнах всегда заметно превосходит амплитуду вертикальных движений. Информация о горизонтальных движениях может быть использована в качестве дополнительных данных для выявления цунами. Кроме того, горизонтальные движения, наряду с вертикальными, могут представлять ценность в качестве входных данных численных прогностических моделей. По данным густой сети глубоководных станций, расположенных определенным образом, возможен прямой прогностический расчет волн цунами без опоры на сейсмическую информацию. В упрощенном виде задача прогноза по данным измерения уровня моря сводится к решению волнового уравнения относительно смещения свободной поверхности. Т.е. никакой другой информации, кроме данных об уровне моря такая упрощенная модель не требует. Однако, более точный расчет требует использования нелинейных уравнений теории длинных волн, записанных с учетом донного трения. В этих уравнениях фигурирует не только смещение свободной поверхности, но и поле скорости горизонтального течения. Следовательно, в качестве входных данных необходимо иметь еще и данные о скорости течения. По одиночной станции уровня моря скорость течения не определяется, для этого необходимо несколько (не менее 3) близко расположенных станций.

Несколько лет назад агентство JAMSTEC реализовало установку "густой" сети глубоководных станций DONET. Сеть DONET включает в себя 20 донных станций, соединенных кабельными линиями с береговым центром обработки данных. Каждая станция оснащена высокоточным датчиком давления. Частота дискретизации данных составляет 10 Гц. Станции установлены на глубинах от 1900 до 4400 м. Важной особенностью сети DONET является то, что расстояние между станциями варьируется от 15 до 20 км, что существенно меньше, чем длина волны цунами. Следовательно, по данным такой сети может быть однозначно восстановлено волновое поле цунами и, в частности, поле скорости горизонтального течения.

Целью настоящей работы является выработка методики восстановления скорости течения по набору близко расположенных глубоководных станций уровня моря. Методика применена к восстановлению движений водного слоя во время прохождения волн цунами, вызванных катастрофическим землетрясением 11 марта 2011 г. у побережья Японии.

## ЭЛЕМЕНТ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ПЛАНАРНОЙ ТОПОЛОГИИ МАГНОННЫХ СЕТЕЙ: ДВУМЕРНЫЙ МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ

Одинцов С.А., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Гришин С.В., Шешукова С.Е.,  
Шараевский Ю.П.  
[Odinoff@gmail.com](mailto:Odinoff@gmail.com)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Магنونные волноводы, сформированные из тонких магнитных пленок с низким коэффициентом линейного затухания, являются функциональным блоком любой комплексной интегральной магنونной сети [1,2], поскольку на их основе оказывается возможным создавать межсоединения и линии передач между функциональными узлами обработки информационного сигнала [3].

В настоящей работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования линейных и нелинейных свойств двумерного магنونного кристалла (2D МК), образованного путем создания периодической в двух направлениях структуры канавок на поверхности пленки железо-иттриевого граната.

С помощью метода Манделъштам-Бриллюэновской спектроскопии магнитных материалов [2] показана возможность частотно-пространственной селективности и образования волноводных каналов в 2D МК конечной ширины. Образование смежных волноводных каналов для спиновых волн оказывается возможным, когда частота входного сигнала попадает в частотный диапазон брэгговской запрещенной зоны 2D МК. Результаты численного моделирования методом конечных элементов имеют хорошее совпадение с результатами эксперимента и свидетельствуют о возможности авто-коллимации спиновой волны в рассматриваемом 2D МК.

Таким образом, изготовленный 2D МК может быть использован в качестве функционального элемента пространственно-частотной фильтрации информационных сигналов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (16-37-60093 мол\_а\_дк, 14-02-00577) и стипендии Президента РФ (СП-313.2015.5).

1. V. V. Kruglyak, S. O. Demokritov, and D. Grundler, J. Phys.D: Appl. Phys. 43, 264001 (2010).
2. Никитов С.А. и др. Магنونика - новое направление спинтроники и спинволновой электроники // УФН, Т. 185, № 10, с. 1099-1128 (2015)
3. A. V. Sadovnikov, S. Davies, S. Grishin, V. Kruglyak, D. Romanenko, Y. Sharaevskii, and S. Nikitov, Appl. Phys. Lett. 106, 192406 (2015).

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МЕТАЛЛАХ ПО ОПТИКО-ТЕРАГЕРЦОВОЙ КОНВЕРСИИ НА ПОВЕРХНОСТИ

Оладышкин И.В.

[oladyshkin@gmail.com](mailto:oladyshkin@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Проведено обобщение тепловой модели генерации терагерцового излучения [1] на случай зависящей от температуры частоты столкновений электронов. Экспериментальная зависимость энергии терагерцового сигнала  $W_{THz}$  от энергии лазерного импульса  $W_{opt}$  [2,3] интерпретирована как следствие температурной зависимости частоты столкновений электронов. Получено выражение для интенсивности оптического поля, при которой функция  $W_{THz}(W_{opt})$  переходит от квадратичного вида к экспоненциальному. На основе развитой модели предложен метод измерения константы  $a$ , характеризующей интенсивность электрон-электронного рассеяния и зависящей только от зонной структуры металла [4,5]. Показано, что посредством экспериментального определения зависимости  $W_{THz}(W_{opt})$  можно восстановить неизвестную зависимость эффективной частоты столкновений от температуры  $\nu(T)$  в диапазоне до единиц эВ.

Показано, что временная форма излучаемого низкочастотного сигнала позволяет восстановить динамику температуры электронов вблизи поверхности во время и после воздействия оптического излучения. Таким образом, сформулирован метод экспериментального наблюдения процессов перераспределения тепловой энергии в электронном газе на временах от десятков фемтосекунд до 1-2 пикосекунд, в том числе и в условиях аномальной теплопроводности.

По имеющимся экспериментальным данным были выполнены оценки параметров электрон-электронного рассеяния в золоте и в меди; полученные значения в целом согласуются с ожидаемыми. Во многих работах по данной тематике отмечается недостаточная изученность процессов рассеяния горячих электронов в металлах, а используемые авторами константы могут значительно отличаться [5-7]. В то же время, процессы рассеяния электронов при высоких температурах являются определяющими во многих прикладных задачах, таких как лазерная абляция, нелинейное отражение и поглощение, аномальная диффузия, генерация гармоник поля при высоких интенсивностях и т.д. Поэтому экспериментальные методы, основанные на наблюдении терагерцового отклика металлов на фемтосекундные лазерные импульсы, могут оказаться весьма актуальными.

1. I.V. Oladyshkin, D.A. Fadeev and V.A. Mironov, Journal of Optics **17**, 075502 (2015)
2. F. Kadlec, P. Kuzel, J.-L. Coutaz, Opt. Lett. **29** (2004), 2674.
3. R.A.Akhmedzhanov, I.E. Ilyakov, V.A.Mironov, I.V. Oladyshkin, E.V.Suvorov, D.A. Fadeev, B.V. Shishkin, Radiophysics and Quantum Electronics **57**, 807 (2015).
4. Основы теории металлов, А.А. Абрикосов, М., Наука (1987), ч. I, гл. IV.
5. S.G. Bezhanov, A.P. Kanavin, S.A. Uryupin, Quantum Electronics **44**, 859 (2014).
6. N.A. Inogamov, Y.V. Petrov, JETP **110**, 446, (2010).
7. Gamaly E. G., Rode A. V., Luther-Davies B. and Tikhonchuk V. T., Phys. Plasmas **9**, 949 (2002).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ. ПОЛУЧЕНИЕ ОБРАТНОГО КАСКАДА ЭНЕРГИИ

Орлов А.В.

[arturor@issp.ac.ru](mailto:arturor@issp.ac.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН)

В эксперименте исследуется эволюция обратного каскада (каскада энергии) при турбулентном движении тонкого слоя жидкости в квадратной ячейке (объемом  $405 \cdot 405 \cdot 10 \text{ мм}^3$ ).

На дне ячейки располагаются 1588 магнитов (диаметром 1 мм каждый). В качестве жидкости используется электролит – 8-10 % раствор соды, в который опускаются платиновые электроды. По ним пускается электрический ток. За счет силы Лоренца области электролита вокруг магнитов закручиваются и в воде возбуждаются вихри. За счёт нелинейного взаимодействия друг с другом, они каскадно сливаются, и в итоге образуется малое количество больших (диаметром порядка ширины ячейки) вихрей (формируется когерентное движение). Это и есть обратный каскад.

В работе исследуется эволюция этого процесса и распределение скоростей в больших вихрях. Для этого в раствор добавляются маленькие шарики нионида, которые очень хорошо отражают свет и являются индикаторами движения вихрей. При движении определенный слой жидкости поочередно (с малой задержкой друг относительно друга) подсвечивается красным и зеленым лазерами, и в это время скоростная фотокамера делает снимок. На компьютере из полученной фотографии выделяется 2 слоя (красный и зеленый) и по корреляциям между расположениями частиц на них вычисляется распределение (по углу и по расстоянию от центра) скоростей вихрей.

# СПОНТАННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОВОЛНОВЫХ СТРУКТУР В ПОПЕРЕЧНОМ ПРОФИЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ЛАЗЕРОВ

Пахомов А.В.<sup>1,2</sup>, Кренц А.А.<sup>1,2</sup>, Анчиков Д.А.<sup>1</sup>

[pahomov\\_91@mail.ru](mailto:pahomov_91@mail.ru)

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

Явления самоорганизации, или спонтанного образования нелинейных пространственно-временных структур широко наблюдаются во многих неравновесных системах, изучаемых в рамках различных областей естествознания – биологии, химии, гидродинамики и др. Интенсивное изучение таких процессов в нелинейной оптике началось лишь с появлением лазеров и после того, как в ряде экспериментальных работ в различных типах широкоапертурных лазеров с большим числом Френеля были обнаружены нетривиальные поперечные оптические структуры: оптические вихри, автоволны, турбулентность. Целью данной работы являлось изучение основных типов неустойчивостей, проявляющихся в широкоапертурных лазерах, и соответствующих им бифуркационных механизмов спонтанного образования поперечных оптических структур.

С использованием уравнений Максвелла-Блоха было показано, что динамика оптического поля обуславливается различными типами неустойчивостей в зависимости от динамического класса лазера. В случае лазеров класса В наблюдается волновая неустойчивость, приводящая к сложной автоволновой модуляции поперечного профиля поля, характерные пространственно-временные масштабы которой согласуются с результатами анализа устойчивости. Для лазеров класса С вследствие бифуркации Хопфа при превышении второго лазерного порога реализуется автоколебательная динамика. Для определения условий возникновения неоднородной поперечной структуры поля в этом случае была разработана методика на основе теории Флоке. В результате было показано, что возможные режимы динамики включают генерацию пространственно-однородных автоколебаний либо формирование нелинейных автоволновых пространственно-временных оптических структур: доменов спиральных волн или модулированных стоячих волн. В последнем случае характерные пространственные размеры получаемых структур удовлетворительно согласуются с результатами анализа Флоке.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект 1451, НИР №ГР 114091840046, грантом РФФИ 14-02-31419 мол\_а.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА УСТАНОВЛЕНИЯ РЕЖИМА ОБОБЩЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В АНСАМБЛЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Короновский А.А.<sup>1,2</sup>, Москаленко О.И.<sup>1,2</sup>, Пивоваров А.А.<sup>1</sup>

[vostochny@list.ru](mailto:vostochny@list.ru)

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов

Изучение различных типов хаотической синхронизации, таких как фазовая синхронизация, синхронизация с запаздыванием (lag-синхронизация), полная синхронизация, в настоящее время привлекает большое внимание исследователей [1]. Высокий интерес вызывает исследование такого явления, как обобщенная хаотическая синхронизация [2-3], которое подробно изучено для достаточно широкого класса взаимодействующих систем. Были исследованы как системы с дискретным временем, связанные однонаправленно и взаимно, так и потоковые системы с однонаправленной и взаимной связью (включая пространственно-распределенные системы). Следующим этапом исследования, направленного на выявление закономерностей, связанных с переходом к режиму обобщенной синхронизации от асинхронной динамики, является рассмотрение сетей взаимодействующих осцилляторов [4].

Целью данной работы являлось проведение исследования процесса установления режима обобщенной хаотической синхронизации в сети осцилляторов с потоковым временем. В качестве модельной системы, демонстрирующей хаотическую динамику, была выбрана сеть из пяти осцилляторов Ресслера, связанных друг с другом взаимно, тип связи между элементами сети при рассмотрении была выбран в виде «каждый с каждым». В ходе исследования были выявлено, что в процессе перехода к режиму обобщенной синхронизации, когда один из показателей Ляпунова принимает отрицательное значение, в сети динамических систем отсутствует четкое разделение на системы, уже перешедшие к синхронному режиму и системы, демонстрирующие асинхронную динамику. В данном случае имеет место плавный переход к режиму обобщенной синхронизации, когда все элементы сети постепенно, по мере смены старшими показателями Ляпунова знака, начинают демонстрировать синхронную динамику.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-12-00224).

1. Pikovsky A.S., Rosenblum M.G., and Kurths J. Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences (Cambridge University Press, Cambridge, England, 2001)

2. Rulkov N.F., Sushchik M.M., Tsimring L.S., and Abarbanel H.D.I. // Phys. Rev. E. 1995. V. 51, 980

3. Dmitriev B.S., Hramov A.E. et al. // Phys. Rev. Lett. 2009. V. 102. P. 074101.

4. Moskalenko O.I., Koronovskii A.A., Hramov A.E., Boccaletti S. // Physical Review E. 2012.V. 86, 036216

## КОГЕРЕНТНОСТЬ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С ШУМОМ ПРИ НАЛИЧИИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ, ВЫЗЫВАЮЩЕЙ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТЬ

Пименова А.В.<sup>1</sup>, Голдобин Д.С.<sup>1,2</sup>

[Anastasiya.Pimenova@gmail.com](mailto:Anastasiya.Pimenova@gmail.com), [Denis.Goldobin@gmail.com](mailto:Denis.Goldobin@gmail.com)

<sup>1</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Запаздывающая обратная связь является эффективным средством для контроля когерентности осцилляторов с шумом. Даже слабая запаздывающая обратная связь при достаточно большом времени запаздывания может уменьшать или увеличивать коэффициент диффузии фазы — количественную меру когерентности — на порядок и более. Теория управления коэффициентом диффузии фазы посредством запаздывающей обратной связи была развита в работах [1–3].

Однако, при большом времени запаздывания и исчезающе слабом шуме в системе может возникать мультистабильность средней частоты колебаний. При мультистабильности шум приводит к переключениям между состояниями с различной средней частотой, и, таким образом, в диффузию фазы колебаний начинают вносить вклад не только флуктуации относительно среднего линейного роста фазы со временем, но и переключения «локальной» средней скорости роста фазы. Для слабого шума, случай которого является физически релевантным, оказывается возможным найти естественные переменные, в терминах которых переключения между двумя состояниями для скорости роста фазы могут быть представлены как идеальный случайный телеграфный процесс. Численный счет обнаруживает, что диффузия фазы становится гигантской при тех значениях управляющих параметров системы, при которых среднее время пребывания в двух состояниях сопоставимы.

В работе строится аналитическая теория эффекта запаздывающей обратной связи на коэффициент диффузии фазы при наличии мультистабильности [4]. В согласии с результатами численного счета, удается аналитически получить, что коэффициент диффузии фазы имеет гигантские пики вблизи точек, где время пребывания в двух состояниях равны. Примечательно, что ширина пиков линейно уменьшается с уменьшением амплитуды шума тогда, как их высота экспоненциально увеличивается — таким образом, интегральная «мощность» пиков растет взрывным образом по мере уменьшения интенсивности шума.

Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 14-21-00090).

1. D. Goldobin, M. Rosenblum, and A. Pikovsky, Coherence of noisy oscillators with delayed feedback, *Physica A* **327**, 124–128 (2003).
2. D. Goldobin, M. Rosenblum, and A. Pikovsky, Controlling oscillator coherence by delayed feedback, *Phys. Rev. E* **67**(6), 061119 (2003).
3. D.S. Goldobin, Uncertainty Principle for Control of Ensembles of Oscillators Driven by Common Noise, *Eur. Phys. J. ST* **223**(4), 677-685 (2014).
4. A.V. Pimenova, D.S. Goldobin, Coherence of Noisy Oscillators with Delayed Feedback Inducing Multistability, *Journal of Physics: Conference Series*, in press (2015); E-print: arXiv:1509.08350.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ДВУХ ИМПУЛЬСНО СВЯЗАННЫХ РАЗНОЧАСТОТНЫХ БЖ-ОСЦИЛЛЯТОРОВ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ ВИДАХ СВЯЗИ: ИНГИБИТОРНАЯ, АКТИВАТОРНАЯ И ОБРАТНАЯ ИНГИБИТОРНАЯ

Проскуркин И.С.  
[megavolt007@mail.ru](mailto:megavolt007@mail.ru)

Центр Нелинейной Химии, БФУ им. Иммануила Канта

Выполнена работа по исследованию динамических режимов двух химических релаксационных осцилляторов, которые представляют собой реакцию Белоусова-Жаботинского (БЖ) в проточных реакторах. Осцилляторы связаны импульсно (путем быстрого впрыскивания растворов активатора или ингибитора в один реактор в ответ на спайк в другом реакторе) с использованием временной задержки. Задержка устанавливается между моментом спайка в одном осцилляторе и моментом впрыскивания ингибитора или активатора в другой осциллятор. Для ингибиторной связи теоретически и экспериментально были найдены режимы работы осцилляторов с резонансами: 1:1, 2:3, 1:2, 2:5, 1:3. При рассмотрении режима 1:2 с зависимостью от временной задержки был найден резкий переход от одного режима синхронизации, названного нами “0/0.5”, к другому, “0.2/0.7”. Для резонанса 1:1 найдена закономерность переключения между противофазным режимом (AP, anti-phase) и синфазным (IP, in-phase), и обнаружена область биритмичности. Для активаторной связи были также найдены резонансные режимы: 1:1, 2:3, 1:2, 2:5, 1:3 и 1:4. Биритмичность также была найдена для режима 1:2 при большой силе связи. Для объяснения возникновения различных резонансных режимов мы получили кривые переустановки фазы, PRC (Phase Response Curve) для каждого типа связи.

Мы также разработали новый тип активаторной связи, используя модуляцию концентрации ингибитора. Концентрация ингибитора в химическом осцилляторе должна искусственно поддерживаться на некотором уровне, чтобы сохранялись периодические колебания. Импульсной активацией осциллятора в данном методе будет являться уменьшение концентрации ингибитора на короткий промежуток времени. Для случая двух осцилляторов такая связь была осуществлена путем отключения на короткий промежуток времени постоянной подачи ингибитора в проточный реактор с БЖ-реакцией. По результатам исследования динамики резонансных режимов и PRC мы удостоверились, что природа такой связи - активаторная.

## ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАКЕТОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ВОДЕ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Разумов Д.Д., Салин М.Б., Стуленков А.В.

[ddrazumov@gmail.com](mailto:ddrazumov@gmail.com), [mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru), [andrey\\_stulenkov8@mail.ru](mailto:andrey_stulenkov8@mail.ru)

Институт Прикладной Физики РАН, Нижний Новгород

В работе представлены результаты исследования характеристик поверхностных гравитационных волн, проведенных в натуральных условиях в заливе Ладожского озера в 2015 году. В экспериментах присутствовали волны различной природы: кильватерный след от маломерного судна (волна от детерминированного источника) и ветровое волнение (которое характеризуется широкой диаграммой направленностью и слабой пространственной когерентностью). По спектру волнения от детерминированного источника хорошо видны проявления дисперсии поверхностных волн, например, растягивание пакета при прохождении большой дистанции. Так же наблюдается зависимость направления распространения волны от ее частоты, которая возникает в результате синхронизма со скоростью источника и согласуется с теорией.

Известно, что теория накладывает кинематические условия на параметры волны от движущегося источника, но непосредственно значение амплитуды возбужденной волны зависит от параметров источника и должно является предметом экспериментального исследования. Натурное исследование корабельных волн и других коррелированных пакетов волн требует отделения их от ветровой компоненты, как от фонового шума. Это возможно при проведении синхронных измерений в нескольких точках. В частности, оптические методы измерения могут одновременно охватывать большую площадь.

Использованная комбинированная оптическая схема измерения заключается в проведение синхронных видеозаписей изображения поверхности. Во-первых, регистрируется изображение участка взволнованной поверхности с размером порядка или более  $10 \times 10$  длин энергонесущих волн – обзорная видеосъемка. Во-вторых, проводится видеозапись с большим увеличением так называемой «оптической» вешки (аналога струнного волнографа с регистрацией высоты волны оптически, а не электрически).

Обзорная видеосъемка обрабатывается по следующей схеме. Сначала проводится геометрическое преобразование: осуществляется масштабирование (перевод пикселей в метры) и коррекция геометрического искажения (перспективы). Результатом указанных операций является выраженное в относительных единицах поле яркости поверхности воды  $U(x,y,t)$ , привязанное к координатам акватории  $x,y$  и времени  $t$ . Далее применяется оригинальная процедура калибровки, основанная на фильтрации  $U(x,y,t)$  и сравнении его характеристик этой функцией с данными «оптической» вешки как с эталонной зависимостью. При этом учитываются стандартные модели зависимости яркости морской поверхности от ее наклона. Процедура калибровки позволяет пересчитать безразмерные данные RGB непосредственно в распределение высот волнения (в метрах), что компенсирует большинство недостатков, традиционно присущих оптическим методам измерения.

## УПРАВЛЕНИЕ СПИНОВОЙ ВОЛНОЙ В НЕРЕГУЛЯРНОМ МАГНИТНОМ ВОЛНОВОДЕ

Романенко Д.В.<sup>1</sup>, Садовников А.В.<sup>1</sup>, Davies C.S.<sup>1</sup>, Гришин С.В.<sup>1</sup>, Шараевский Ю.П.<sup>1</sup>,  
Никитов С.А.<sup>1</sup>, Kruglyak V.V.<sup>1</sup>

[dmitrii.romanenk@mail.ru](mailto:dmitrii.romanenk@mail.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет имени Чернышевского, Саратов

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники имени Котельникова, Москва

<sup>3</sup>School of Physics, University of Exeter, Exeter, United Kingdom

Явление спин-волнового транспорта в магнитных волноводах с нарушенной трансляционной симметрией играет ключевую роль для создания функциональных магнитных блоков для передачи и обработки информации [1]. Одной из приоритетных задач в этом направлении является задача о распространении спин-волнового возбуждения в нерегулярных магнитных изгибах различной конфигурации.

В своей работе мы предлагаем три возможные конфигурации простейших магнитных изогнутых волноводов: 1) прямоугольный Г-образный волновод; 2) Г-образный волновод со скошенными под  $45^\circ$  углами; 3) скругленный Г-образный волновод. Все волноводы были изготовлены из пленок железо-иттриевого граната ( $Y_3Fe_5O_{12}$ , ЖИГ) с намагниченностью насыщения  $M_0=1750/(4\pi)$  Гс и толщиной  $d=12$  мкм. Волноводы шириной  $w=470$  мкм были вырезаны из пленок ЖИГ методом лазерного скрайбирования [2]. Для возбуждения и приема спиновых волн в магнитных волноводах используются микрополосковые преобразователи шириной 30 мкм. Магнитные волноводы были помещены в касательное внешнее однородное магнитное поле  $H=1160$  Э таким образом, что во входном плече волновода возбуждалась поверхностная магнитостатическая волна (ПМСВ).

Возможность распространения спиновых волн в предлагаемых структурах обусловлена тем обстоятельством, что спектры возбуждения поверхностных МСВ (входное плечо волновода) для ограниченного по ширине волновода будут перекрываться со спектром возбуждения обратных объемных МСВ (выходное плечо волновода), в отличие от безграничных сред [3]. И на стыке двух плеч происходит преобразование одного типа МСВ в другой. Эффективность и специфика преобразования зависит от геометрической формы волновода и, как следствие, от внутреннего магнитного поля.

Экспериментальное исследование предложенных структур проводилось с помощью установки Бриллюэновского рассеяния света. Показано, что во всех предложенных структурах происходит трансформация входной ПМСВ в ООМСВ на выходе Г-образной структуры. Экспериментальное исследование подтверждается результатами микромагнитного моделирования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-37-60093) и стипендии президента (СП-313.2015.5)

1. V. V. Kruglyak, S. O. Demokritov, and D. Grundler, J. Phys. D: Appl. Phys. 43, 264001 (2010)
2. S. Sheshukova, E. Beginin, A. Sadovnikov, Y. Sharaevsky, and S. Nikitov, IEEE Magn. Lett. 5, 1–4 (2014).
3. T. Bracher, P. Pirro, J. Westermann, T. Sebastian, B. Lagel, B. Van de Wiele, A. Vansteenkiste, and B. Hillebrands, Appl. Phys. Lett. 102, 132411 (2013)

# КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ОСТАТОЧНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА, ВОЗБУЖДАЕМОЙ ПРИ ИОНИЗАЦИИ ГАЗА УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Введенский Н.В.<sup>1,2</sup> Романов А.А.<sup>1,2</sup>, Силаев А.А.<sup>1,2</sup>

[vved@appl.sci-nnov.ru](mailto:vved@appl.sci-nnov.ru), [romanov.alexander.al@gmail.com](mailto:romanov.alexander.al@gmail.com), [silaev@appl.sci-nnov.ru](mailto:silaev@appl.sci-nnov.ru)

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Явление возбуждения остаточной плотности тока в плазме, созданной при ионизации газа интенсивными ультракороткими лазерными импульсами, представляет большой интерес из-за возможности использования его для преобразования лазерных импульсов в ТГц излучение [1-4]. Остаточная плотность тока служит начальным толчком к поляризации плазмы и возбуждению излучающих плазменных колебаний, имеющих ТГц частоту в широком диапазоне значений давления газа и интенсивности лазерного импульса. Точные расчеты остаточной плотности тока, основанные на численном решении трехмерного нестационарного уравнения Шредингера, требуют значительного компьютерного времени. Поэтому представляет большой интерес разработка аналитических подходов к расчету остаточной плотности тока. Предыдущие аналитические исследования были основаны преимущественно на полуклассическом подходе. Применение данного подхода ограничено параметрами лазерного импульса, соответствующими туннельному режиму ионизации, когда параметр Келдыша [5] много меньше единицы. Данная работа посвящена расчетам остаточной плотности тока для произвольного значения параметра Келдыша. Рассматривается случай возбуждения остаточной плотности тока при ионизации газа бихроматическим лазерным импульсом, представляющим суперпозицию поля на основной частоте и добавочного поля на удвоенной частоте.

На основе решения нестационарного уравнения Шредингера в приближении сильного поля, в котором после отрыва электрона от атома пренебрегается взаимодействием электрона с родительским ионом [5], была аналитически рассчитана остаточная плотность тока. Получены выражения для остаточной плотности тока при значениях параметров лазерного импульса, соответствующих туннельному и многофотонному режимам ионизации. С использованием метода мнимого времени [6] было также учтено влияние взаимодействия фотоэлектрона с родительским ионом. Проведен расчет зависимости остаточной плотности тока от интенсивностей гармоник лазерного импульса и от сдвига фазы между ними. Показано, что результаты, полученные на основе метода мнимого времени, находятся в хорошем количественном совпадении с точными результатами численных расчетов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 15-12-10033).

[1] V. B. Gildenburg, N. V. Vvedenskii, Phys. Rev. Lett., 2007, v. 98, p. 245002.

[2] A. A. Silaev and N. V. Vvedenskii, Phys. Rev. Lett. 2009, v. 102, p. 055004.

[3] K. Y. Kim, Phys. Plasmas, 2009, v. 16, p. 056706.

[4] N. V. Vvedenskii, A. I. Korytin, V. A. Kostin, A. A. Murzanev, A. A. Silaev, A. N. Stepanov, Phys. Rev. Lett., 2014, v. 112, p. 055004.

[5] Л. В. Келдыш, ЖЭТФ, 1964, т. 47, с. 1945.

[6] S. V. Popruzhenko, G. G. Paulus, D. Bauer, Phys. Rev. Lett., 2008, v. 77, p. 053409

## ТРЕХВОЛНОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЬФВЕНОВСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПЛАЗМЕННЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СРЕДАХ

Завершинский Д.И.<sup>1,2</sup>, Молевич Н.Е.<sup>1,2</sup>, Рящиков Д.С.<sup>1,2</sup>, Белов С.А.<sup>1</sup>

[dimanzav@mail.ru](mailto:dimanzav@mail.ru)

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.

Королева (национальный исследовательский университет)

<sup>2</sup>Самарский филиал Учреждения Российской академии наук Физического института им.

П.Н. Лебедева РАН

Данная работа посвящена исследованию процесса нелинейного взаимодействия между альфвеновскими и акустическими волнами в плазменной среде с тепловой неустойчивостью. Неустойчивость среды является следствием зависимости неадиабатических процессов охлаждения и нагрева от температуры и плотности. В условиях подобной неустойчивости реализуется положительная обратная связь между акустическими возмущениями и активной плазменной средой. Стоит отметить, что в линейном приближении на альфвеновские волны наличие неадиабатических процессов в среде никак не сказывается, и они остаются устойчивыми. Тем не менее, альфвеновские волны могут потерять устойчивость и быть усилены в результате взаимодействия с неустойчивыми акустическими волнами.

Анализ процесса взаимодействия проводился с помощью полной системы уравнений магнитной гидродинамики. Было учтено влияние диссипации, вызванной конечной проводимостью среды и теплопроводностью. В линейном приближении получены дисперсионные уравнения для альфвеновских, магнитоакустических и тепловых мод.

В работе рассматривался процесс взаимодействия между двумя линейно поляризованными альфвеновскими волнами и мощной акустической волной, для которых могут быть выполнены условия фазового синхронизма. Процесс взаимодействия сильно зависит от отношения скоростей акустических и альфвеновских мод. Так в случае равных скоростей может протекать взаимодействие только у трех одинаково направленных волн. В остальных случаях одна из альфвеновских волн должна распространяться в обратном направлении. С помощью теории возмущений и метода медленно меняющихся амплитуд были получены укороченные системы уравнений, описывающие возможные процессы взаимодействия. Нестационарная динамика волн исследовалась с помощью приближения длинных волн и заданного поля акустической волны накачки. Показано, что в случае, когда скорость акустических волн больше либо равна скорости альфвеновских волн возможно усиление альфвеновских волн. Также было исследовано стационарное взаимодействие волн. Усиление альфвеновских волн происходит при аналогичных условиях. Кроме того, были определены условия параметрической генерации альфвеновских волн.

Также, на основе современных моделей охлаждения и нагрева солнечной короны были определены области тепловых неустойчивостей и посчитаны порядки значения инкрементов усиления быстрых магнитоакустических волн распространяющихся вдоль и поперек вектору магнитного поля.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ в рамках в рамках Программы повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проекты № 102, 608 и 1451 ГР 114091840046, грантами РФФИ 13-01-97001, 14-02-97030 р\_поволжье\_a, и стипендией Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики 2013-2015 год, СП-3664.2013.2.

## ПЛАНАРНАЯ ТОПОЛОГИЯ МАГНОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ ЛАТЕРАЛЬНО СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ МИКРОВОЛНОВОДОВ

Садовников А.В., Бегинин Е. Н., Грачев А.А., Шараевский Ю.П.

[sadovnikovav@gmail.com](mailto:sadovnikovav@gmail.com)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

Системы латерально связанных волноведущих структур на основе тонких пленок железо-иттриевого граната (ЖИГ) могут быть использованы как базовые элементы для создания различных устройств функциональной магнитоэлектроники: волноводов, интерферометров, мультиплексоров, фильтров и ответвителей [1]. Перестройка рабочих частот таких устройств внешним магнитным полем и путем изменения коэффициента связи между ферритовыми волноводами, разнообразие типов дисперсии и характера связи распространяющихся спиновых волн (СВ), проявление различных нелинейных эффектов (солитонное распространение волн, автомодуляция) позволяют изменять их характеристики и режимы работы в широких пределах.

В данной работе проведено исследование процессов дискретной дифракции поверхностных СВ в системе латерально связанных ферритовых волноводов методом Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии [2]. Показано, что экспериментально полученные дифракционные картины существенным образом зависят от мощности и волнового числа СВ, возбуждаемых в волноводе с  $n = 0$ . Например, для фиксированного значения волнового числа  $k$  при малых значениях входной мощности ( $P < 10$  dBm) наблюдалось волноводное распространение СВ в центральном волноводе с  $n = 0$ . С увеличением мощности режим волноводного распространения сменялся режимом дискретной дифракции СВ с перекачкой энергии в боковые волноводы (с номерами  $n > 0$ ). Методом конечных элементов и конечных разностей во временной области проведен расчет электродинамических характеристик, определен спектр и построены распределения полей и дисперсионные характеристики волноводных мод такой структуры при возбуждении в ней поверхностной СВ. Результаты численного моделирования находятся в хорошем соответствии с данными экспериментального исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (16-37-60093 мол\_а\_дк, 14-02-00577) и стипендии Президента РФ (СП-313.2015.5).

[1] Lenk B., Ulrichs H., Garbs F., Munzenberg M. // Phys. Rep. 2011. V. 507. P. 107-136.

[2] Demokritov S.O., Hillebrands B., Slavin A.N. // Phys. Rep. 2001. V. 348. P. 441-489.

[3] Beginin E.N., Sadovnikov A.V., Sharaevsky Yu.P., Nikitov S.A. // Solid State Phenomena. 2014. V. 215. P. 389.

# ДЛИННОВОЛНОВАЯ КОНВЕКЦИЯ МАРАНГОНИ В СИСТЕМЕ «ЖИДКОСТЬ-ГАЗ» С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА СРЕД ПРИ ПОДОГРЕВЕ СНИЗУ

Самойлова А.Е.

[annsomeoil@gmail.com](mailto:annsomeoil@gmail.com)

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь

Изучается термокапиллярная конвекция, возникающая в пленке жидкости, помещенной на теплоизолированную твердую подложку. В такой системе при определенных условиях (слабая теплоотдача со свободной поверхности и возможность существенной деформации свободной поверхности) в длинноволновом приближении была обнаружена новая колебательная мода конвекции Марангони в работах [1,2].

С целью подтверждения существования новой моды и определения реальных физических условий, при которых можно наблюдать эту неустойчивость в эксперименте, в данной работе проводится исследование конвекции Марангони в вышеописанной системе в рамках двухслойного подхода. В рассмотрение добавлен слой газа над тонкой пленкой, при этом граница раздела считается существенно деформируемой, а газ – слабо проводящим тепло. В рамках длинноволнового приближения получены нелинейные амплитудные уравнения, описывающие эволюцию толщины пленки жидкости и средней температуры в ней. В линейном порядке эти уравнения совпадают в точности до переобозначения (параметр Био, характеризующий теплоотдачу со свободной поверхности в однослойной модели, заменяется на комбинацию отношений толщин и теплопроводностей жидкости и газа в двухслойной модели) с теми, что были получены ранее в рамках однослойного подхода [3]. Однако двухслойный подход выявил существенное ограничение на толщину слоя газа над пленкой жидкости: новая мода существует при условии, когда слой газа по толщине не намного превосходит слой жидкости. Приведены оценки реальных условий, при которых в эксперименте может наблюдаться эта мода неустойчивости Марангони.

Проведен анализ вторичных режимов вблизи порога возникновения конвекции в рамках полученных амплитудных уравнений. В ходе слабонелинейного анализа получены амплитудные уравнения Гинзбурга-Ландау, описывающее эволюцию монотонных и колебательных вторичных возмущений на квадратной и гексагональной решетке. Построена карта отбора вторичных структур; показано, что в широком диапазоне параметров устойчивыми оказываются возмущения в виде квадратов. Для колебательной моды получены амплитудные уравнения для возмущений на квадратной решетке. Показано, что в узком диапазоне, в котором колебательная мода опасна, устойчивыми являются возмущения в виде бегущих валов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-01-00148.

1. Shklyaev S., Khenner M., and Alabuzhev A.A. Oscillatory and monotonic modes of long-wave Marangoni convection in a thin film // Phys. Rev. E. 2010. Vol. 82. P. 025302.
2. Shklyaev S., Khenner M., and Alabuzhev A.A. Long-wave Marangoni convection in a thin film heated from below // Phys. Rev. E. 2012. Vol. 85. P. 016328.
3. Samoilova A.E. and Shklyaev S. Oscillatory Marangoni convection in a liquid-gas system heated from below // Eur. Phys. J. Special Topics. 2015. Vol. 224, N 2. P. 241–248.

## ДИНАМИКА СЕТИ ИЗ ЧЕТЫРЁХ ХИМИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ, ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ ПО АКТИВАТОРУ ИМПУЛЬСНОЙ СВЯЗЬЮ С ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКОЙ

Сафонов Д.А.

[dem.safonov@gmail.com](mailto:dem.safonov@gmail.com)

Центр Нелинейной Химии, БФУ им. Иммануила Канта

Изучена динамика математической модели сети из четырёх химических осцилляторов с однонаправленной импульсной активаторной связью с задержкой. Каждый изолированный осциллятор задаётся системой дифференциальных уравнений с четырьмя переменными, которая описывает реакцию Белоусова-Жаботинского. Отдельными уравнениями вводится импульсная связь, которая характеризуется силой связи  $C$  и задержкой  $\tau$  между спайком в одном осцилляторе и импульсным возбуждением соседнего осциллятора. Для однонаправленной круговой связи (однонаправленное кольцо) показано существование трёх режимов: OS (oscillation-suppression – часть осцилляторов колеблется, а остальные «молчат»), splay (каждый осциллятор бьёт по следующему с такой силой, что вызывает спайк в тот момент, когда на него приходит импульс), bursting (4 осциллятора выдают спайки подряд, а затем следует длительная временная задержка). При плавном изменении параметра  $C$  обнаруживаются два типа OS: 3 осциллятора колеблются, один «мёртв» и два диагональных колеблются, два «мертвы». Для рассматриваемой сети характерно отсутствие мультистабильности.

# ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕПЛОВЫХ СТРУКТУР, ВОЗНИКАЮЩИХ В РАДИАЦИОННО ОСТЫВАЮЩИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ

Сафронов А.А.

[safrandrey@gmail.com](mailto:safrandrey@gmail.com)

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Работа выполнена применительно к исследованию процессов, происходящих в дисперсных потоках капельных холодильников – излучателей (КХИ) космических аппаратов.

Исследование процессов образования нестационарных диссипативных тепловых структур было начато Я. Б. Зельдовичем и А. С. Компанейцом [1]. Дальнейшие исследования показали, что в среде с нелинейной теплопроводностью могут возникать диссипативные тепловые структуры [2,3]. Однако, данные исследования носили математический характер: исследовались решения модельных уравнений, их собственные функции, спектры решений, асимптотики решений. Кроме того, исследования проводились для континуальных моделей.

В данной работе проведено исследование процесса образования нестационарной диссипативной тепловой структуры при радиационном остывании капельного потока КХИ. Исследования проводятся как аналитически, так и с помощью реализованной автором системы компьютерного моделирования. Изучены собственные функции нестационарных тепловых структур, возникающих в дисперсных потоках произвольной оптической толщины. Рассчитаны собственные функции нестационарных тепловых структур. Исследована устойчивость собственных функций при изменении управляющего параметра – отношения плотности тепловой энергии в частицах дисперсной среды к плотности энергии излучения. Выявлена определяющая роль дальних радиационных взаимодействий частиц дисперсной среды в явлении неустойчивости профиля температуры дисперсной системы. Показано, что при некоторых условиях профиль температуры капельного потока может быть мультистабильным.

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. // М.: Наука, 1966. — 688 с.
2. Г.Г. Еленин, С.П. Курдюмов, А.А. Самарский, // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 1983. Т. 23, № 2, 380–390.
3. С.П. Курдюмов, Е.С. Куркина // Ж. вычисл. матем. и матем. физ.. 2004. Т. 44, № 9. 1619–1637.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОЙ АСТРОФИЗИКИ НА БАЗЕ ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА PEARL

Сафронова М.И.

[mary-saf@yandex.ru](mailto:mary-saf@yandex.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В работе описывается экспериментальный стенд, созданный на базе петаваттного лазерного комплекса PEARL, для исследования среды с высокой плотностью энергии. Комплекс состоит из вакуумной мишенной камеры, в которую могут быть доставлены разные типы лазерного излучения с настраиваемой задержкой, а также импульсной системой создания внешнего магнитного поля с амплитудой до 20Т. Система позволяет, с учетом масштабирования, воссоздавать на сантиметровом масштабе условия, подобные таким астрофизическим явлениям как образование астрофизических джетов, акреция вещества на звездные объекты, пересоединение магнитных линий и прочее. Комплекс является уникальным, в нем могут быть созданы лабораторные условия достижимые лишь в двух лабораториях по всему миру. В работе излагаются пилотные эксперименты по лазерно-плазменному взаимодействию в присутствии сильного внешнего магнитного поля, описывающие различные научные задачи и приложения.

# ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЬ-НИНЬО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОЗНАЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Селезнев А.Ф.

[aseleznev@appl.sci-nnov.ru](mailto:aseleznev@appl.sci-nnov.ru)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Высшая школа общей и прикладной физики, Нижний Новгород

Основная сложность приложения методологии эмпирического моделирования к реконструкции распределенных динамических систем (например, региональных климатических систем, таких как Эль-Ниньо) состоит, как это ни парадоксально, в обилии доступных экспериментальных данных. Данные наблюдений обычно представляют собой пространственные поля многих переменных (при анализе климатических данных этими переменными могут быть температура поверхности океана, давление, скорость ветра и пр., измеренные в течение большого промежутка времени в разных точках пространства). Фактически, в руках у исследователя набор временных рядов, число которых равно числу узлов пространственной сетки, умноженному на число переменных, принимаемых во внимание. Такие огромные наборы данных чрезвычайно сложны для анализа и зачастую избыточны для определения ключевых свойств породившей их динамической системы. В этой связи, важной задачей является снижение размерности наблюдаемых данных, с целью выделения наиболее информативных, «базисных» компонент временного ряда и построения оператора эволюции низкоразмерной подсистемы, определяющей ключевые свойства наблюдаемой динамики.

В данной работе для эффективного снижения размерности наблюдаемых данных использовалась методика комплексных (Гильбертовых) эмпирических ортогональных функций (ЭОФ), способных более корректно по сравнению с традиционными действительными ЭОФ, описывать распространяющиеся (волновые) структуры. Для аппроксимации оператора эволюции предложена модель в форме комплекснозначной искусственной нейронной сети. Эффективность предлагаемой методики продемонстрирована на примере прогноза критических переходов в атмосферно-океанической модели Джина-Нилина-Гиля [1], описывающей явление Южной осцилляции (Эль-Ниньо). Кроме того, сделан прогноз реальной изменчивости Эль-Ниньо по данным измерений поверхностной температуры океана [2].

Работа выполнена при поддержке правительства Российской Федерации (соглашение #14.Z50.31.0033 с Институтом Прикладной Физики РАН)

1. Jin, F.-F., J. D. Neelin, and M. Ghil, 1996: El Niño/Southern Oscillation and the annual cycle: subharmonic frequency locking and aperiodicity. *Physica D*, 98, 442–465.
2. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.KAPLAN/.EXTENDED/.v2/.ssta/>

## ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ В ОКЕАНЕ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ ВОЛНАМИ РЭЛЕЯ И ЛЯВА

Семенцов К.А., Носов М.А., Колесов С.В.

[sebbest@yandex.ru](mailto:sebbest@yandex.ru)

МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва

Детальный анализ сигналов, предшествующих вступлению цунами, стал возможен, благодаря уникальным техническим возможностям системы DONET (Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis), которая была установлена в 2006-2011 гг японским агентством JAMSTEC (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology) вблизи полуострова Кии [1]. Система DONET включает в себя 20 донных станций, соединенных кабельными линиями с береговым центром обработки данных. Каждая станция оснащена сейсмометром и датчиком давления, размещенными практически в одной точке – на удалении не более 10 м друг от друга. Станции установлены на глубинах от 1900 до 4400 м, расстояние между ними варьируется от 15 до 20 км. Частота дискретизации данных составляет 10 Гц для вариаций давления и 200 Гц для ускорений движения дна.

К моменту катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г., функционировали 10 станций DONET. Все они успешно записали как само сейсмическое событие, так и последовавшие за ним волны цунами. В силу значительного расстояния от эпицентра землетрясения до района расположения станций (~800 км) сейсмические волны и цунами были существенно разделены во времени.

Можно показать [2], что для глубин, на которых установлены станции DONET, свободные гравитационные волны генерируются при колебаниях дна с частотами меньшими  $0.03$  Гц. В указанном диапазоне проявляются поверхностные сейсмические волны Рэля и Лява. На спектрограмме вертикальных ускорений движения дна видно, что после вступления волн Рэля (как от основного события, так и от афтершока) слабые колебания дна в этом частотном диапазоне продолжают продолжаться не более  $30$  мин. В то же время вариации давления с частотами  $\sim 0.01$  Гц существуют более часа, сливаясь затем с проявлениями волн цунами. Эти колебания явно выделяются в самостоятельную «ветвь» на спектрограмме давления, аналога которой не существует на спектрограмме ускорений. Наблюдаемые низкочастотные колебания представляют собой проявление свободных поверхностных гравитационных волн, возбужденных в океане прохождением по дну поверхностных сейсмических волн. Аналогичный эффект наблюдается на всех 10 станциях DONET.

В докладе обсуждаются возможные механизмы генерации указанных гравитационных волн [3] а также приводятся результаты численного моделирования данного эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-05-00337). Авторы признательны JAMSTEC за предоставленные данные.

1. Kaneda Y. // Proc. OCEANS Conf., doi: 10.1109/OCEANS.2010.5664309, 2010.
2. Levin B.W., Nosov M.A. Physics of Tsunamis. Second Edition. Springer International Publishing AG Switzerland, 2016, ISBN 978-3-319-24035-0, 388 P.
3. Носов М.А., Семенцов К.А., Колесов С.В., Матсумото Х., член-корреспондент РАН Левин Б.В. Регистрация гравитационных волн, образованных в океане поверхностными сейсмическими волнами при землетрясении 11 марта 2011 г. у побережья Японии // Доклады Академии Наук, 2015, том 461, №5, с.593–598.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СИНХРОТРОННОГО $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАКЛОННОМ ПАДЕНИИ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА НА ПЛОСКУЮ МИШЕНЬ

Серебряков Д.А., Неруш Е.Н.

[dmserebr@gmail.com](mailto:dmserebr@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В работе рассматривается наклонное падение  $p$ -поляризованных лазерных импульсов с интенсивностью порядка  $10^{22} - 10^{23}$  Вт/см<sup>2</sup> на плоскую мишень, имеющую плотность порядка релятивистской критической. В ходе данного процесса лазерный импульс отражается от поверхности пленки, а электроны в ионизованном веществе ускоряются до релятивистских скоростей (с Лоренц-фактором  $\gamma$ , сопоставимым по величине с безразмерной амплитудой лазерного импульса  $a_0 = eE_0/mc\omega$ ). Ускоренные электроны эффективно излучают в жестком рентгеновском и гамма-диапазоне в соответствии с синхротронным механизмом.

Было проведено трехмерное численное моделирование процесса взаимодействия, в ходе которого наблюдалась эффективная конверсия энергии лазерного импульса в энергию  $\gamma$ -фотонов с КПД до десятков процентов. Численные эксперименты выполнены методом «частиц в ячейках». Жесткие рентгеновские и гамма-фотоны моделируются как квазичастицы, что оправдано для полей рассматриваемой интенсивности.

Проведенная оптимизация по углу падения и плотности плазмы позволила определить наиболее эффективный режим генерации, который соответствует углу около  $30^\circ$ . Максимальный КПД преобразования лазерной энергии в жесткие фотоны, полученный в численных экспериментах при безразмерной амплитуде лазерного поля  $a_0 = 220$ , составлял 29%. При анализе направленности гамма-излучения также был выявлен режим, реализующийся при больших углах падения  $\theta > 70^\circ$ , при котором электроны приобретают большой импульс  $p_y$ , и излучение хорошо сфокусировано вдоль оси  $y$ , но КПД генерации гамма-излучения не так велик. Если поставлена цель получить одновременно мощный и направленный источник излучения, то оптимум достигается в обоих режимах  $\theta \approx 30^\circ$  и  $\theta \sim 70^\circ$ . В работе также анализируются причины качественного изменения вида диаграммы направленности (локализации излучения в направлении оси  $y$ ) при больших углах.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРЯМОГО КАСКАДА ДВУМЕРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Серещенко Е.В.

[s\\_evgeniy@yahoo.com](mailto:s_evgeniy@yahoo.com)

ФГАОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

Численно исследованы статистические особенности прямого каскада двумерной гидродинамической турбулентности в условиях накачки и вязкого затухания с пространственным разрешением  $8192 \times 8192$ . Исследована эволюция завихренности и структурной функции скорости третьего порядка. Показано, что резкие градиенты завихренности и их Фурье образы в виде джетов оказывают существенное влияние на поведение турбулентности, приводящее к сильной угловой зависимости корреляционных функций. Получено, что поведение энергии как функция от волнового числа  $k$  для каждого направления в инерционном интервале имеет распределение Крейчнана  $\sim k^{-4}$ , и одновременно сильную угловую зависимость. Однако, после осреднения по углу, спектр турбулентности с высокой точностью соответствует спектру Крейчнана  $E_k = C_K \eta^{2/3} k^{-3}$ , где  $\eta$  это поток энтропии, а  $C_K \approx 1.3$  константа Крейчнана, что хорошо согласуется с результатами предыдущих исследований. Похожая ситуация наблюдается и для структурной функции скорости третьего порядка  $S_3^L$ , которая, как и в случае изотропной турбулентности, имеет такую же степенную зависимость от  $R$  и  $\eta$ ,  $S_3^L = C_3^* \eta R^3$ , но константа  $C_3^*$  после осреднения по углам и времени отличается от изотропного значения.

## АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ ФАЗ В СЛУЧАЕ СКРЫТОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Сидак Е.В.<sup>1</sup>, Смирнов Д.А.<sup>2</sup>, Безручко Б.П.<sup>1,2</sup>

[sidakev@gmail.com](mailto:sidakev@gmail.com)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
РАН

Задача обнаружения связи между колебательными системами по временным рядам их колебаний рассматривается в радиофизике [1], биомедицине [2], климатологии [3] и других областях. В работе [4] предложен метод выявления связей в малых ансамблях связанных осцилляторов по временным рядам, на основе моделирования их фазовой динамики. Метод оказывается эффективным применительно к выявлению связей в системе из двух осцилляторов с хорошо определенной фазой. Однако на практике при анализе реальных данных такая постановка не всегда выполняется, в частности актуальной является задача анализа подсистем со сложным спектральным составом наблюдаемых сигналов.

В данной работе исследуются условия применимости упомянутого выше метода выявления связей в случаях, когда имеется несколько пиков в спектре мощности и значительна ширина этих пиков. В качестве тестовой системы в численном эксперименте был рассмотрен ансамбль их из трех связанных осцилляторов Ван-дер-Поля, один из которых (он считался ненаблюдаемым или скрытым) влияет на два других (они считались наблюдаемыми) с одной и той же силой воздействия.

При различных соотношениях частот и уровнях шума всех трех осцилляторов показано, что при применении ранее известного метода, основанного на моделировании фазовой динамики, в случае достаточно большой силы воздействия скрытого процесса на два наблюдаемых осциллятора имеют место ложные выводы о наличии направленных связей между наблюдаемыми осцилляторами. Показано, что диагностическим критерием такой проблемы может служить автокорреляционная функция остаточных ошибок построенной модели фазовой динамики. Также показано, что в случае достаточно четко разделенных пиков в спектрах мощности наблюдаемых сигналов можно повысить эффективность метода оценки связей, если определять фазы после применения к наблюдаемым сигналам режекторного фильтра, который удаляет полосу частот, соответствующую спектральному пику скрытого осциллятора. При этом расширяется область значений коэффициентов связи, при которых метод моделирования фазовой динамики не дает ложных выводов о наличии связей и при этом сохраняет значительную чувствительность к существующим связям.

Результаты носят достаточно общий характер, т.к. получены для системы, которая является маломерным прототипом наиболее характерной практической ситуации, когда есть наблюдения от двух систем и скрытое воздействие.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-12-00291).

1. Пиковский А.С., Розенблом М.Г., Куртс Ю. // Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2003.

2. Pavlov A.N., Sosnovtseva O.V., Pavlova O.N., Mosekilde E., HolsteinRathlou N.-H. // *Physiological Measurement*. 2008. V. 29. P. 945.

3. Мохов И.И., Смирнов Д.А. // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2006. Т. 42. С. 650

4. Smirnov D. A., Bezruchko B. P. Detection of coupling in ensembles of stochastic oscillators // *Phys. Rev. E*. 2009. Vol. 79. P. 046204.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЛАЗМЕННОЙ АКТИВАЦИИ АЗОТА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РОСТА НИТРИДА ИНДИЯ МЕТОДОМ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКОЙ ГАЗОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

Синцов С.В.

[sintcovs@mail.ru](mailto:sintcovs@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В последние годы InN привлекает большой интерес исследователей благодаря своим уникальным свойствам. Нитрид индия имеет узкую ширину запрещенной зоны (0,6-0,7 эВ) и высокую ожидаемую подвижность электронов при комнатной температуре (до 14000 см<sup>2</sup>/В·с), что делает этот материал идеальным для создания высокоэффективных солнечных батарей, инфракрасных лазерных диодов и электронных устройств СВЧ диапазона.

Ключевой проблемой выращивания качественных эпитаксиальных пленок InN является технологическая сложность диссоциации азота. Из-за сравнительно низкой температуры разложения InN (600°С) применяется метод активации азота плазменным разрядом. Данная работа посвящена исследованию и сравнению способов осуществления такой активации.

Первый исследуемый метод основан на индукционном нагреве потока азота в стеклянной колбе на частоте 13,56 МГц. Максимальная подаваемая мощность при этом достигает значения 600 Вт. Второй метод активации азота проводится в ЭЦР разряде, создаваемом с помощью гиротрона — генератора когерентного электромагнитного излучения. Используется серийный технологический гиротрон мощностью до 5 кВт и частотой 24 ГГц.

Характеристикой, с помощью которой можно сравнить эффективности активации азота обоими способами является колебательная температура. Её измерение проводилось методом, основанным на регистрации излучения, соответствующего электронно-колебательным переходам второй положительной системы молекулы азота (переход между состояниями  $S^3P_u \rightarrow V^3P_g$ ). При этом предполагается, что функция распределения молекул по колебательным уровням в плазме существенно не отличается от больцмановской и описывается единым значением колебательной температуры. Её значение можно определить по регистрации относительной интенсивности соответствующих данным переходам линий.

Было показано, что при одинаковых потоках газа, давлении в камере и мощности, вводимой в плазму, колебательная температура азота при индукционном нагреве в среднем на 10-20 % выше, чем при активации в ЭЦР разряде. Характерные значения получаемых температур порядка 6000-10000 К. Также, анализируя полученные спектры излучения электронно-колебательных переходов азота, можно сделать вывод, что, при активации плазмы азота ЭЦР разрядом более эффективно возбуждаются переходы в красной и инфракрасной областях спектра, а при индукционном нагреве — в фиолетовой.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что индукционный метод активации азота является более перспективным для эпитаксии InN по сравнению с ЭЦР разрядом.

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМ ИМПУЛЬСОМ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ НАЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Сладков А.Д., Бурдунов К.Ф., Еремеев А.А., Коржиманов А.В., Сафронова М.И.,  
Соловьев А.А., Стародубцев М.В.

[andrey.sladkov1992@gmail.com](mailto:andrey.sladkov1992@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Современным трендом в физике высоких энергий является создание состояний вещества с экстремальными значениями плотности и энергии с помощью мощных лазерных импульсов. Исследования, частью которых является данная работа, проводятся на экспериментальной базе петаваттного лазерного комплекса PEARL (ИПФ РАН, Нижний Новгород).

Целью проводимых экспериментов является исследование влияния магнитного поля на лазерную плазму. Эта задача имеет непосредственное отношение к моделированию условий реализуемых в инерциальном термоядерном синтезе. Одна из реализуемых схем – это схема с непрямым нагревом[1], в которой лазерное излучение нагревает стенки цилиндрической камеры, вторичное излучение которых приводит к нагреву и сжатию капсулы с термоядерным топливом. Важной задачей при реализации подобной схемы является повышение эффективности взаимодействия лазерного излучения со стенкой камеры и улучшение симметрии получающейся плазмы, что может быть сделано при помощи наложения внешнего магнитного поля[2]. Магнитному управлению параметрами плазмы, получающейся в результате такого нагрева и посвящена настоящая теоретическая работа.

В рамках проводимых в ИПФ РАН экспериментов стенку камеры моделирует плоская пластмассовая мишень, на которую под углом  $20^\circ$  падает лазерный импульс. Внешнее магнитное поле с максимальным значением 20Т направлено параллельно плоскости мишени. Для проверки работоспособности подобного подхода на стенде PEARL проводятся тестовые эксперименты в которых энергия лазерного импульса порядка десятков джоулей и длительность порядка наносекунды.

В данной работе представлены результаты численного моделирования с параметрами из эксперимента. Моделирование проводилось с помощью компьютерного кода FLASH, использующего уравнения магнитной гидродинамики. Данный код состоит модулей, написанных на языке фортран, в частности, он позволяет решать задачу о разлете плазменного облака, получившегося в результате взаимодействия лазерного излучения с твердотельной мишенью во внешнем магнитном поле. Так же в работе проведено сопоставление расчетных значений концентрации плазмы с результатами интерферометрических измерений, полученных на экспериментальном стенде.

1. John D. Lindl et al // Phys. Plasmas 11, 339 (2004)
2. D. S. Montgomery et al // Phys. Plasmas 22, 010703 (2015)

## ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЧЕТЫРЁХ ПОЧТИ ОДИНАКОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ, СВЯЗАННЫХ КАЖДЫЙ С КАЖДЫМ ИМПУЛЬСНЫМИ ИНГИБИТОРНЫМИ СВЯЗЯМИ С ЗАДЕРЖКОЙ

Смелов П.С.

[sipanes@rambler.ru](mailto:sipanes@rambler.ru)

Центр Нелинейной Химии, БФУ им. Иммануила Канта.

Мы изучаем динамические режимы сети из четырёх почти одинаковых спайковых осцилляторов с импульсной ингибиторной связью с введением временной задержки  $\tau$  между спайком в одном осцилляторе и вызванном этим спайком ингибиторном возмущении в другом осцилляторе. В качестве осциллятора мы используем химическую реакцию Белоусова-Жаботинского. Для типа связи осцилляторов «все-со-всеми» были получены 5 основных режимов: W (=4C1, 4 кластера, каждый из которых состоит из одного осциллятора, фазы осцилляторов смещены на четверть периода), 3C1 (=2+1+1, 3 кластера, в одном кластере два осциллятора в фазе), противофазный режим AP (= 2+2, 2 кластера), «3+1» (=2C1, два кластера, 3 осциллятора в фазе в одном кластере), синфазный режим IP (=1C1, один кластер). Увеличение силы связи и/или задержки ведёт к уменьшению числа кластеров: 4C1 (=W)  $\rightarrow$  3C1  $\rightarrow$  2C1 (=AP/«3+1»)  $\rightarrow$  1C1 (=IP). Кроме основных режимов наблюдаются комплексные – режимы с разными комбинациями количества спайков (например, режим «3+1/2», при котором три осциллятора всегда в фазе, а четвёртый имеет удвоенный период и даёт спайки с тремя другими осцилляторами каждый второй спайк).

Для рассмотренной сети характерна три- и би-стабильность – различные режимы могут быть найдены при одинаковых параметрах, в качестве которых мы использовали силу связи и задержку.

## ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ФАРАДЕЕВСКИХ УСТРОЙСТВАХ И НОВЫЕ МАГНИТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Снетков И.Л.

[snetkov@appl.sci-nnov.ru](mailto:snetkov@appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Магнитоактивные материалы используются для создания оптических устройств, работа которых основана на эффекте Фарадея. Данный эффект заключается в возникновении циркулярного двулучепреломления при помещении материала в магнитное поле, что приводит к невзаимному вращению плоскости поляризации линейно поляризованного излучения проходящего оптический элемент вдоль магнитного поля и в обратном направлении. Ровно 130 лет назад лорд Релей предложил использовать этот эффект для создания оптического устройства, позволяющего пропускать излучение в одном направлении и не пропускать его в обратном, который был назван изолятором Фарадея [1].

На сегодняшний день оптические устройства на основе эффекта Фарадея широко используются для изоляции излучения, управления его поляризацией, для организации многопроходных схем квантовых усилителей с поляризационной развязкой и для компенсации термонаведенной деполяризации в активных элементах лазеров. Основой всех этих устройств, как и прежде, являются оптические элементы из магнитоактивного материала (магнитооптические элементы). При работе с лазерным излучением с высокой средней мощностью в магнитооптических элементах возникают тепловые эффекты, которые существенным образом ухудшают работу фарадеевских устройств. Поэтому для создания более совершенных фарадеевских устройств проводят поиск новых магнитоактивных материалов, исследуются их свойства и разрабатывают различные схемы устройств менее подверженных тепловым эффектам. В докладе будет дан обзор работ по исследованию таких материалов, их особенностей при использовании в лазерном излучении с высокой средней мощностью и представлены результаты по исследованию двух новых перспективных магнитоактивных материалов: тербий скандий алюминиевого граната TSAG и полуторного оксида тербия Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

1. L. Rayleigh // Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 176, 343-366 (1885).

## БИФУРКАЦИИ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМЕ СВЯЗАННЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Селезнев Е.П.<sup>1,2</sup>, Станкевич Н.В.<sup>3</sup>, Кузнецов А.П.<sup>1,2</sup>

[evgenii\\_seleznev@mail.ru](mailto:evgenii_seleznev@mail.ru)

Саратовский филиал ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

В работе представлено численное исследование динамики пяти связанных в кольцо осцилляторов Ван дер Поля. Выявлены условия перехода от четырехчастотного к пятичастотному квазипериодическому режиму в результате квазипериодической седло-узловой бифуркаций и бифуркации Хопфа. Проведено экспериментальное исследование связанных автогенераторов типа Ван дер Поля с использованием кратного сечения Пуанкаре.

Квазипериодические колебания представляют собой широко распространенный в науке и технике класс колебаний [1-3]. Исследование многочастотных квазипериодических колебаний является весьма актуальной задачей. В недавней работе [2] была предложена модель из пяти глобально связанных осцилляторов Ван дер Поля, в которой можно наблюдать сценарий Ландау-Хопфа: последовательное рождение торов более высокой размерности.

В настоящей работе экспериментально и численно исследуется динамика пяти связанных в кольцо осцилляторов Ван дер Поля. Численно построены карты показателей Ляпунова на различных плоскостях параметров связи. Обнаружено, что в данного рода системе возможен при увеличении связи между подсистемами происходит переход от пятичастотных квазипериодических колебаний к четырехчастотным, причем выявлено, что при определенной топологии связи данный переход может происходить в результате бифуркаций различного типа: квазипериодическая седло-узловая бифуркация и квазипериодическая бифуркация Хопфа.

Для идентификации многочастотных колебаний в физическом эксперименте предлагается методика визуализации инвариантной кривой в кратном сечении Пуанкаре [3]. А также представлены результаты экспериментального исследования системы пяти связанных автогенераторов типа Ван дер Поля с помощью построения инвариантной в кратном сечении Пуанкаре. Были реализованы четырехкратное, трехкратное и двукратное сечение Пуанкаре. Изучены переходы между четырехчастотными и пятичастотными торами. Обнаружено сосуществование двух четырехчастотных торов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-02-00085.

### Литература

1. Кузнецов А.П., Сатаев И.Р., Станкевич Н.В., Тюрюкина Л.В. Физика квазипериодических колебаний. Саратов: Издательский центр «Наука». 2013. 252 с.
2. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Тюрюкина Л.В., Сатаев И.Р. // Нелинейная динамика. 2012. Т. 8, №5. С. 863.
3. Кузнецов А.П., Попова Е.С., Селезнев Е.П., Станкевич Н.В. // Вестник СГТУ. 2013. Т.69, №1. С. 33.

# МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ СПИНОВЫХ ВОЛН В МАГНИТНОМ ТОНКОПЛЕНОЧНОМ ВОЛНОВОДЕ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЗЯЛОШИНСКОГО — МОРИЯ

Стецюр-Мова Г.И., Садовников А.В., Бегинин Е.Н., Шараевский Ю.П.

[stetsur@yandex.ru](mailto:stetsur@yandex.ru)

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

В работе приведены результаты расчета характеристик спиновых волн, распространяющихся в касательно намагниченном ферромагнитном волноводе шириной 500 мкм и толщиной 10 мкм. Численное моделирование проведено путем решения уравнения движения намагниченности методом конечных разностей во временной области. Рассмотрен случай возбуждения поверхностной магнитостатической волны [1] в ферритовом тонкопленочном волноводе конечной ширины. Проведен учет анизотропного взаимодействия Дзялошинского — Мориа (ДМ) [2,3].

Эта задача важна не только с фундаментальной стороны (изучение механизмов перемагничивания, природы спиновых эффектов - Холла, Зеебека, Рашба), но и с прикладной, так как использование эффекта взаимодействия ДМ в наноструктурах позволит в ближайшее время создать новые типы магниторезистивной оперативной памяти (magnetoresistive random-access memory, MRAM) различных топологий: магнитный туннельный переход – «MTJ-Heavy metal» (электрический ток, протекая по металлу, переключает намагниченность свободного ферромагнитного слоя), «MTJ-Domain wall» (за счет эффекта ДМ происходит образование доменных стенок и под действием электрического тока доменная стенка пробегает под свободным ферромагнитным слоем и переключает его намагниченность), «MTJ-Skyrmions» (управление скирмионами позволяет переключать намагниченность ферромагнитного слоя).

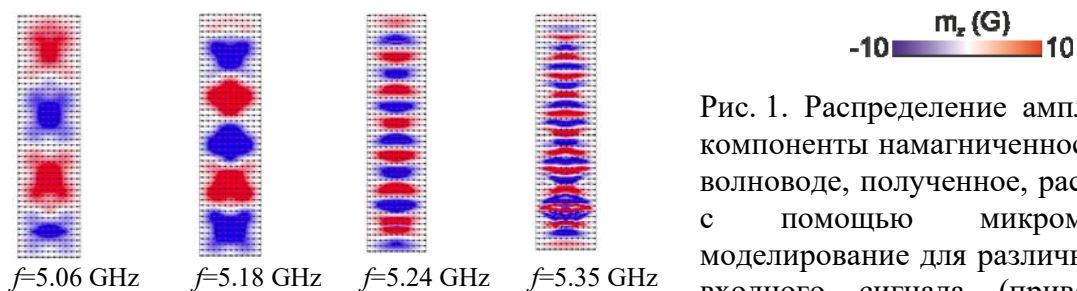


Рис. 1. Распределение амплитуды  $m_z$  компоненты намагниченности в ЖИГ волноводе, полученное, рассчитанное с помощью микромагнитного моделирование для различных частот входного сигнала (приведены на рисунке). Величина внешнего магнитного поля 1150 Э.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (16-37-60093 мол\_а\_дк, 14-02-00577) и стипендии Президента РФ (СП-313.2015.5).

[1] R. W. Damon and J. R. Eshbach, J. Phys. Chem. Solids 19, 308 (1961).

[2] Dzyaloshinsky, I. A thermodynamic theory of 'weak' ferromagnetism of antiferromagnetics. J. Phys. Chem. Solids 4, 241–255 (1958).

[3] Moriya, T. New mechanism of anisotropic superexchange interaction. Phys. Rev. Lett. 4, 228–230 (1960).

## ОБТЕКАНИЕ ЦИЛИНДРА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОЙ, ВРАЩАЮЩЕЙСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Порфирьев Д.П.<sup>1,2</sup>, Сугак С.С.<sup>2</sup>, Завершинский И.П.<sup>2</sup>  
[samasss@mail.ru](mailto:samasss@mail.ru)

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

<sup>2</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева

В настоящее время во всем мире интенсивно развиваются исследования в области плазменной аэродинамики. Акцент в этих работах сделан на изучение управления обтеканием аэродинамических тел с помощью локальных плазменных образований вблизи их поверхностей. Однако, число работ, посвященных исследованию обтекания тел с интегральным плазменным покрытием всей поверхности, невелико.

В представленной работе проведено исследование обтекания кругового цилиндра в воздухе при атмосферном давлении с электрической дугой, вращающейся во внешнем радиальном магнитном поле. Характерный радиальный масштаб разрядной области составлял 1-3 мм. Вращение дуги осуществлялось благодаря наличию радиального магнитного поля, направленного от цилиндра, создающего силу Лоренца, направленную по касательной к поверхности аэродинамической (АД) модели. Вращение дуги, в свою очередь, индуцирует вращение нагретого газа вблизи поверхности модели и создает интегральное плазменное покрытие.

Задача решалась в двумерной нестационарной постановке с использованием пакета ANSYS FLUENT 14.0, в котором реализован метод конечных объемов.

По результатам расчетов были получены зависимости от времени коэффициентов подъемной силы, тангенциальной и радиальной скоростей (относительно начала координат, совпадающего с центром круга), а также циркуляции скорости по концентрическим окружностям радиусов 1.25÷2.75 см. Полученные значения усреднены по времени.

В результате было показано, что наличие движущейся области тепловыделения приводит к нарушению симметрии системы и появлению подъемной силы и циркуляции. В свою очередь, изменение циркуляции приводит к увеличению коэффициента подъемной силы цилиндра. Наиболее заметно эффект генерации ненулевой циркуляции проявляется для течений с большой скоростью: циркуляция скорости заметно меняется в сравнительно тонком слое, прилегающем к поверхности обтекаемого тела и уже на расстоянии  $\sim D_C$  выходит на стационарное значение.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СТУПЕНЧАТОГО ЛИДЕРА МОЛНИИ

Сысоев А.А.

[zaratustrann@yandex.ru](mailto:zaratustrann@yandex.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Уже почти сотню лет известно, что отрицательный лидер, в отличие от положительного, развивается ступенчатым образом, используя механизм так называемых объемных лидеров. Однако, из-за большого количества процессов, сопровождающих пробой, и чрезвычайно сложного стохастического характера развития разряда до сих пор не достигнуто исчерпывающее понимание причин, приводящих к данной асимметрии. До конца не ясна также физика процесса появления новой ступени отрицательного лидера. Особенно много вопросов вызывает происходящее в относительно слабом поле (порядка нескольких киловольт на сантиметр) образование так называемых стемов, потенциальных зачатков объемных лидеров.

В данной работе на базе вероятностного подхода была построена физически обоснованная феноменологическая модель с ограниченным числом параметров, позволившая впервые провести численное моделирование эволюции ступенчатого отрицательного лидера. В расчетах были учтены асимметрия развития положительных и отрицательных искровых разрядов и влияние потенциала объемного заряда, выносимого в разрядный промежуток стримерной короной. Это позволило воспроизвести в ходе симуляций такие малоизученные плазменные образования, как стемы, с возможностью их последующего преобразования в объемные лидеры, которые, в свою очередь, приводят к появлению новых ступеней отрицательного лидера.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ КРЫС ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ

Сысоев И.В.<sup>1</sup>, Сысоева М.В.<sup>2</sup>, Кузнецова Г.Д.<sup>3</sup>

[ivssci@gmail.com](mailto:ivssci@gmail.com)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,  
Саратов, ул. Астраханская, 83

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина,  
Саратов, ул. Политехническая, 77

<sup>3</sup>Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
Москва, ул. Бултерова, 5а

Абсансная эпилепсия — широко распространённая среди детей и подростков форма: 56 случаев на 100 000 населения, до 50% от всех случаев эпилепсии в возрасте до 14 лет [1]. Её изучение традиционно проводится на генетических моделях таких, как крысы линии WAG/Rij [2]. Электроэнцефалограммы при абсансной эпилепсии во время пик-волнового разряда (ПВР) демонстрируют высокоамплитудные сильно нелинейные колебания. Выявление связанности между отделами мозга является ключевым при изучении, поскольку индивидуальная динамика отдельных отведений не позволяет выявить механизмы инициации, поддержания и завершения ПВР [3].

Для решения этой задачи используются современные подходы — метод переменной во времени причинности по Грейнджеру [4]. Успех его применения зависит от подбора параметров, поскольку неоднократно было показано, что неверная параметризация приводит к ошибкам первого или второго рода [5]. Подбирать параметры и тестировать метод необходимо, опираясь на специфику экспериментальных данных.

В ходе данной работы на основе эталонных систем нелинейной динамики были разработаны две модели, воспроизводящие ряд важных особенностей экспериментальных сигналов: переключение между режимом низкоамплитудных шумоподобных колебаний и режимом высокоамплитудных более регулярных колебаний (в том числе свойства спектров мощности), а также затягивание потери устойчивости при переходе от одного режима к другому. Переходы между режимами могут быть реализованы как за счёт изменения индивидуальных параметров подсистем, так и за счёт изменения силы связи между ними. На основе анализа связанности между предложенными моделями были выявлены некоторые артефакты метода. В то же время, было показано, что в целом метод хорошо подходит для исследования абсансной эпилепсии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-02-00492) и стипендии Президента РФ для поддержки молодых учёных СП-1510.2015.4.

1. Вольнова А.Б., Ленков Д.Н. // Медицинский академический журнал, 2012. 12(1): 7–19.
2. van Luijtelaa E.L.J.M., Coenen A.M.L. // Behavior Genetics, 2003. 33. 2003: 635–655.
3. M.V. Sysoeva, A. Lüttjohann, G. van Luijtelaa, I.V. Sysoev // Neuroscience, 2016. 314: 75–89.
4. Hesse W., Molle E., Arnold M., Schack B. // Journal of Neuroscience Methods, 2003. 124: 27–44.
5. М.В. Корнилов, И.В. Сысоев, Б.П. Безручко // Нелинейная динамика, 2014. 10(3): 279–295.

## АНАЛИЗ СВЯЗАННОСТИ ОБЛАСТЕЙ МОЗГА МЕТОДОМ АДАптиРОВАННОЙ ГРЭЙНДЖЕРОВСКОЙ ПРИЧИННОСТИ ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ

Сысоева М.В.

[bobrichkek@mail.ru](mailto:bobrichkek@mail.ru)

Саратовский Государственный Университет имени Гагарина Ю.А.

Абсансная эпилепсия – неконвульсивная генерализованная эпилепсия неизвестной этиологии, которая проявляется в виде кратковременных эпизодов потери сознания (состояние «абсанса»), сопровождающихся генерализованными 3 Гц пиковыми разрядами (ПВР) на электроэнцефалограмме (ЭЭГ). Во всем мире 56 человек из 100 000 страдают абсансной эпилепсией.

Генерализованные ПВР формируются вследствие нарушения функций таламо-кортикальной системы и являются электроэнцефалографическим признаком абсансной эпилепсии. Настоящая работа нацелена на выявление механизмов инициации, поддержания и прекращения ПВР. Исследованы динамика и направленность взаимных влияний между теменной (РС), лобной (ФС), затылочной (ОС) долями коры и ядрами таламуса: ростральной и каудальной частями ретикулярного ядра (rRTN и cRTN), вентропостеромедиальным ядром (VPM), антериальным ядром (ATN), постериальным ядром (Po) – на основании расчетов адаптированной нелинейной причинности по Грейнджеру.

Процесс инициации раньше всего проявляется во взаимодействии 4-6 слоёв первичной соматосенсорной коры (области мозга, расположенной между теменной и лобной долями и предположительно являющейся фокусом абсансной эпилепсии). Это происходит более чем за 2 секунды до начала разряда, размеченного физиологами по первому спайку. Далее за 1.5 секунды до размеченного начала ПВР наблюдается усиление влияния практически всех структур мозга друг на друга. Многие пары структур демонстрируют резкое уменьшение связанности непосредственно после начала разряда. Процесс поддержания разряда стартовал с увеличения связанности со стороны коры на cRTN, далее cRTN действовал, как трансмисмиттер, передавая воздействие на Po и ATN. Далее процесс поддержания сопровождался высоким уровнем взаимодействий внутри таламуса, усилением влияния таламуса и лобной коры на затылочную. При этом влияния на лобную кору (со стороны таламуса и затылочной коры) были ниже фона, а влияния на VPM не отличались от фонового уровня. Процесс прекращения ПВР можно было наблюдать в парах соматосенсорная кора и rRTN.

## ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ВОЛН ОСТРОСФОКУСИРОВАННЫМИ УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Сычугин С.А., Бакунов М.И.

[ssychugin@gmail.com](mailto:ssychugin@gmail.com)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Использование фемтосекундных лазерных импульсов, распространяющихся в электрооптическом кристалле (кристалле с квадратичной нелинейностью), для генерации терагерцового излучения с помощью черенковского механизма было предложено еще 30 лет назад. В последние годы данная методика приобрела широкое применение. Во многих научных публикациях, представляющих теоретическое описание явления черенковского излучения терагерцовых волн ультракоротким лазерным импульсом, поперечный размер лазерного пучка накачки предполагается постоянным. Однако, в типичном эксперименте пучок накачки остро фокусируется для обеспечения высокой оптической интенсивности, необходимой для нелинейного оптического выпрямления. В этом случае, поперечный размер лазерного пучка значительно изменяется в направлении распространения, что приводит к соответствующему изменению оптической интенсивности. В результате, лазерный импульс излучает терагерцовые волны, главным образом, из области в окрестности перетяжки пучка. Уменьшение размера перетяжки, с одной стороны, увеличивает оптическую интенсивность в фокусе, но, с другой стороны, уменьшает длину излучающей области. Это ставит вопрос об оптимальном размере перетяжки лазерного пучка, который обеспечит максимальное оптико-терагерцовое преобразование.

В данной работе мы обобщаем теорию терагерцового черенковского излучения на более реалистичный случай, когда ультракороткий лазерный импульс распространяется как Гауссов пучок. Это позволяет нам исследовать зависимость излученной терагерцовой энергии от размера перетяжки лазерного пучка.

Для случая накачки кристалла  $\text{LiNbO}_3$  импульсами титан-сапфирового лазера были численно рассчитаны картина электрического поля и полная излученная терагерцовая энергия. Анализ картины поля показал, что электрическое поле имеет неоднородный характер вдоль черенковского клина из-за значительного изменения оптической интенсивности вдоль пучка накачки и сильного поглощения в  $\text{LiNbO}_3$ . Исследование зависимости излученной терагерцовой энергии от размера перетяжки лазерного пучка выявило существование оптимального размера перетяжки для каждой длительности импульса накачки.

# НЕЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ КАНОНИЧЕСКОГО И БОЛЬШОГО КАНОНИЧЕСКОГО АНСАМБЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ СТАТИСТИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ БОЗЕ-ЭЙНШТЕЙНОВСКОГО КОНДЕНСАТА В КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ПАРАМЕТРОВ

Тарасов С.В., Кочаровский Вл.В., Кочаровский В.В.

[serge.tar@gmail.com](mailto:serge.tar@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В статистической физике при описании различных систем в состоянии термодинамического равновесия широко распространена модель большого канонического ансамбля, предполагающая, что рассматриваемая система свободно обменивается частицами с окружающим резервуаром. Несмотря на то что предположение этой модели лишь в редких случаях соответствует реальной физической ситуации, ее использование мотивируется следующими обстоятельствами. Первое из них – это техническая простота подхода (числа заполнения различных состояний независимы, что существенно облегчает построение аналитического описания). Вторым является утверждение о том, что при определенных условиях в термодинамическом пределе описания в рамках большого канонического ансамбля, канонического ансамбля (фиксирующего число частиц) и микроканонического ансамбля (фиксирующего и число частиц, и полную энергию системы) приводят к одинаковым результатам для статистических и термодинамических параметров.

В докладе рассмотрен вопрос об эквивалентности большого канонического и канонического ансамблей при описании фазового перехода бозе-эйнштейновской конденсации идеального газа атомов, удерживаемого в ловушке. Сравнение проведено на основе полученных авторами точных аналитических решений, применимых для ловушек произвольной формы и размера и позволяющих непрерывно описать переход системы из одной фазы в другую в непосредственной окрестности критической точки.

Построение этих решений в упомянутой критической области параметров системы является существенно нелинейной задачей: для большого канонического ансамбля нелинейно уравнение, определяющее химический потенциал; для канонического ансамбля фиксированность числа частиц означает неаналитичность гамильтониана.

Для обоих рассматриваемых ансамблей продемонстрировано, что структура критической области бозе-системы является автомодельной – зависимости термодинамических и статистических характеристик от параметров системы, отмасштабированные определенным образом, близки к неким плавным предельным самоподобным кривым, определяемым лишь геометрической формой удерживающего потенциала, и стремятся к ним при увеличении размеров системы.

Аналитический расчет данных гладких автомодельных кривых проведен для бозе-систем с произвольным удерживающим потенциалом. Оказалось, что данные предельные кривые отличны для разных ансамблей, а совпадают лишь их асимптотики вдали от критической точки. Таким образом, для бозе-газа с фиксированным числом атомов, реализуемого в экспериментах, применение большого канонического ансамбля для вычисления статистических и термодинамических параметров приводит в критической области к ошибкам, исчезающим даже в пределе больших систем.

Tarasov S.V., Kocharovskiy Vl.V., Kocharovskiy V.V. Grand Canonical Versus Canonical Ensemble: Universal Structure of Statistics and Thermodynamics in a Critical Region of Bose–Einstein Condensation of an Ideal Gas in Arbitrary Trap // Journal of Statistical Physics, v.161, n.4, pp.942–964 (2015).

## САМОЛОКАЛИЗАЦИЯ И БРИЗЕРЫ В РЕШЕТКАХ КЛЕЙНА-ГОРДОНА И ФРЕЛИХА-СПЕНСЕРА-ВЕЙНА С БЕСПОРЯДКОМ

Тихомиров А.А., Лаптева Т.В., Иванченко М.В., Канаков О.И.

[andreym2006@yandex.ru](mailto:andreym2006@yandex.ru)

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Исследование локализованных решений в нелинейных пространственно-структурированных средах является одной из актуальных проблем современной физики колебаний и волн. Известно, что бегущие волны в одно- и двумерных линейных решетках с пространственным беспорядком в общем случае отсутствуют, поскольку все собственные колебательные решения экспоненциально локализованы (эффект андерсоновской локализации). Наличие слабых нелинейностей приводит к разрушению локализации, при сильной же нелинейности эффект меняется на противоположный, называемый самолокализацией колебаний (локализация восстанавливается и усиливается). Этот эффект, будучи отмечен в численных и экспериментальных работах, до сих пор, однако, не исследован достаточно полно.

В данной работе механизмы самолокализации исследуются путем анализа существования и устойчивости решений, периодических во времени и локализованных в пространстве – дискретных бризеров. Наличие таких траекторий в фазовом пространстве системы оказывает влияние на его структуру в их окрестности. Алгоритм их численного отыскания основывается на идее антиконтинуального предела: в качестве нулевого приближения рассматривается решётка без взаимодействия, имеющая тривиальное периодическое решение; затем данное решение продолжается непрерывно на ненулевые значения параметра связи.

Целью данной работы является исследование соотношения между условиями самолокализации колебаний – с одной стороны, и существования дискретных бризеров – с другой стороны, в двух моделях цепочек осцилляторов: Фрелиха-Спенсера-Вейна (ФСВ) и Клейна-Гордона (КГ).

При помощи метода продолжения решения из антиконтинуального предела (начальное приближение локализовано на центральном элементе цепочки) в этих моделях найдены дискретные бризеры для 500 реализаций беспорядка. При этом в модели ФСВ мы увеличивали силу нелинейной связи при фиксированной энергии бризера, а в модели КГ уменьшали энергию при фиксированной силе линейной связи. При достижении порогового значения (по силе связи в модели ФСВ и по энергии в модели КГ) бризер перестает существовать.

Динамика волновых пакетов исследовалась путем численного моделирования эволюции систем для тех же реализаций беспорядка из начальных условий, где отлична от нуля лишь скорость центрального узла («точечное возбуждение»), а также из точек, получаемых линейной интерполяцией в фазовом пространстве между «точечным возбуждением» и бризером. Для «точечных возбуждений», при увеличении силы связи при фиксированной энергии начального возбуждения в модели ФСВ (либо уменьшении энергии при фиксированной силе связи в модели КГ), происходит уменьшение доли реализаций, в которых наблюдается самолокализация, от значений порядка 1 до значений, близких к 0.

Проведенные исследования для обеих моделей показали, что самолокализация решения вблизи некоторого узла имеет место при условии существования бризера, локализованного на том же узле. Множество начальных условий, приводящих к самолокализации, расположено в некоторой окрестности бризера. Если конкретные начальные условия, из которых эволюционирует пакет, попадают в эту окрестность, то имеет место самолокализация такого пакета.

## **ВОЛНОВАЯ ЭКСПРЕССИЯ БЕЛКОВ C-FOS И ARC В НЕЙРОННЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ГИППОКАМПА В ОТВЕТ НА ОДИНОЧНЫЙ ЭПИЗОД НОВОГО ОПЫТА**

Торопова К.А., Ивашкина О.И., Рощина М.А., Анохин К.В.

[xen.alexander@gmail.com](mailto:xen.alexander@gmail.com)

НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Результаты современной нейробиологии свидетельствуют о том, головной мозг представляет собой комплекс из распределенных нейронных сетей, каждая из которых образована совместной активностью миллионов нервных клеток. Один из экспериментальных подходов к визуализации таких крупномасштабных функциональных сетей состоит в использовании молекулярных маркеров вовлечения нейронов в когнитивные процессы [Guzowski et al., 2005; Амельченко и др., 2013; Osten, Margrie, 2013; Kim et al., 2015]. Такими маркерами в частности являются транскрипционный фактор c-Fos и синаптический белок Arc, оба продуцируемые в нервных клетках во время обучения [Анохин, 2003; Bramham et al., 2008; Kawashima et al., 2014]. Для картирования нейронных сетей с помощью этих маркеров необходимо знать динамику их клеточного накопления в ответ на когнитивное воздействие. Однако динамика индуцированного накопления данных белков в нейронах регионов мозга ее возможные волновые колебания ответ на когнитивные стимулы систематически не исследовалась. В настоящей работе иммуногистохимически определяли накопление белков c-Fos и Arc в нейронах разных отделов гиппокампа после обучения мышей обстановочному условному рефлексу замирания. Установлено, что динамика экспрессии c-Fos и Arc имеет двухфазный характер, с максимумом через 15-30 мин после обучения и вторым менее выраженным пиком через 1-3 часа. Индукция Arc происходила раньше, чем c-Fos, а общая динамика экспрессии отличалась в зубчатой фасции, CA1 и CA3 полях гиппокампа. Полученные данные указывают на существование скрытых отставленных волн активности гиппокампа в период, следующий за непосредственным приобретением нового опыта. Это привлекает внимание к волновым процессам в консолидации следа памяти после однократного эпизода обучения.

## ДИАГНОСТИКА ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ФИЛАМЕНТАЦИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ МЕТОДОМ ЗОНДИРУЮЩЕЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Чижов П.А.<sup>1</sup>, Ушаков А.А.<sup>1,2</sup>, Букин В.В.<sup>1</sup>, Гарнов С.В.<sup>1</sup>

[ushakov.aleksandr@physics.msu.ru](mailto:ushakov.aleksandr@physics.msu.ru)

<sup>1</sup>Институт Общей Физики им. А.М. Прохорова РАН

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова

С помощью метода зондирующей интерферометрии исследована динамика концентрации электронов в плазменном канале фемтосекундного филамента в воздухе и азоте при различных давлениях на временах до сотен пикосекунд с момента начала ионизации. Обнаружен нелинейный рост начальной концентрации электронов в плазме азота и воздуха при давлениях от 3 до 4 атмосфер.

Метод просвечивающей интерферометрии может быть применен для оценки динамики электронной плотности на протяжении сотен пикосекунд после ионизации. Так как существует множество процессов, ведущих к рекомбинации электронов, исследование распада плазменного канала в различных условиях может быть полезно для выявления роли этих процессов.

Для экспериментов использовалось излучение титан-сапфировой фемтосекундной лазерной системы (энергия в импульсе 2,6 мДж, длительность импульса 150 фс, центральная длина волны 774 нм, частота следования импульсов 10 Гц, диаметр гауссового пучка 16 мм по уровню  $1/e^2$ ), которое разделялось на два пучка клином. Первый пучок, содержащий большую часть излучения, использовался для создания филамента путем фокусировки длиннофокусной линзой с фокусным расстоянием 500 мм в камеру высокого давления. Перемещением линзы было возможно исследование различных частей плазменного канала. Второй (зондирующий) пучок проходил линию задержки и просвечивал область плазменного канала. Затем зондирующий пучок проходил через телескоп и интерферометр Майкельсона так, чтобы получалась интерференционная картина на СМОР камере. Телескоп размещался так, что отображал плоскость плазменного канала на матрицу камеры. Для измерения изменения фазы, вызванного прохождением через плазму, снимались две серии интерферограмм (в присутствии плазмы и без нее по 100 изображений каждая). После обработки методом фильтрации в фурье-пространстве строились распределения средней фазовой добавки путем вычитания из сигнальных данных опорных, а применение обратного преобразования Абея позволяло восстановить распределение показателя преломления и соответствующую электронную концентрацию.

В ходе эксперимента были измерены зависимости электронной концентрации в азоте и воздухе. В этих газах наблюдается существенный рост начальной концентрации электронов в диапазоне давлений от 3 до 4 атмосфер. Характерные времена релаксации данной плазмы составляют десятки пикосекунд. При повышении давления время распада уменьшается.

## ПЕРЕХОДНОЙ ХАОС В СИСТЕМЕ С ПАУТИНОЙ АРНОЛЬДА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Фельк Е.В.<sup>1</sup>, Кузнецов А.П.<sup>1,2</sup>, Савин А.В.<sup>1</sup>

[FelkEkaterina@yandex.ru](mailto:FelkEkaterina@yandex.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
<sup>2</sup>Институт радиофизики и электроники (Саратовский филиал ИРЭ РАН)

В гамильтоновых системах с двумя степенями свободы резонансные слои с хаотической динамикой разделены КАМ торами, так что диффузия в радиальном направлении невозможна до тех пор, пока КАМ-торы не разрушены. В случае систем с более чем двумя степенями свободы, стохастические слои пересекаются друг с другом, образуя плотную сеть. В этом случае диффузия возможна при сколь угодно малом возмущении, и это называется диффузией Арнольда [1].

Рассмотрим систему двух связанных отображений поворота с диссипацией ( $\alpha < 1$ ) (консервативный случай наблюдался в [2]):

$$\begin{cases} \varphi_1^i = \varphi_1 + I_1 \\ I_1^i = \alpha I_1 + \varepsilon \frac{\partial f}{\partial \varphi_1}(\varphi_1 + I_1, \varphi_2 + I_2) \end{cases} \quad \begin{cases} \varphi_2^i = \varphi_2 + I_2 \\ I_2^i = \alpha I_2 + \varepsilon \frac{\partial f}{\partial \varphi_2}(\varphi_1 + I_1, \varphi_2 + I_2) \end{cases}$$

Где  $f(\varphi_1, \varphi_2) = \frac{1}{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + 4}$ . Для малых  $\varepsilon$  система может быть представлена как отображение Пуанкаре с секущей плоскостью  $\varphi_3 = \text{const}$  для системы с гамильтонианом:  $H_\varepsilon = \frac{I_1^2}{2} + \frac{I_2^2}{2} + I_3 + \varepsilon f(\varphi_1, \varphi_2)$ , которая имеет три степени свободы. Резонансное соотношение имеет вид  $k_1 I_1 + k_2 I_2 + 2\pi k_3 = 0$ , где  $k_1, k_2, k_3$  целые числа, и отображается в фазовом пространстве множеством прямых линий.

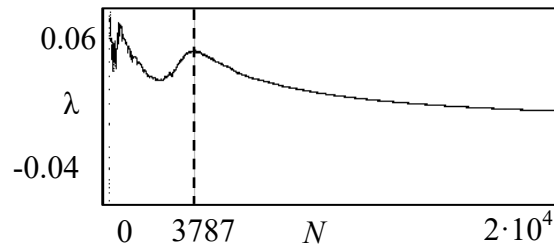


Рис.1. Для  $\alpha=0.999$ ,  $\varepsilon=0.6$  зависимость ляпуновского показателя на конечном времени от длины реализации  $N$ .

В системе была обнаружена зависимость ляпуновского показателя на конечном времени от длины реализации. Можно видеть две части этой зависимости: первая с положительным ляпуновским показателем и вторая, где он равномерно убывает до нуля (рис.1). То есть первая часть соответствует хаотическому переходному процессу, а вторая обычному переходному процессу. Также было построено хаотическое седло методом пошаговых возмущений, которое располагается вдоль резонансных линий. Работа была поддержана грантом РФФИ (No. 15-02-02893) и президентской программой ведущих научных школ NSh-1726.2014.2.

1. Арнольд В.И., Неустойчивость динамических систем с несколькими степенями свободы -ДАН СССР, 1964
2. K.Froeschle, E.Lega. Celestial, M.Guzzo. «Analysis of the chaotic behavior of orbits diffusing along the Arnold web» //Mechanics and Dynamical Astronomy (2006) 95:141–153
3. Sweet D., Nusse H.E., Yorke J.A. // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86 (11). P. 2261-2264.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ ВОЛНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ**

Филатов С.В.

[fillsv@issp.ac.ru](mailto:fillsv@issp.ac.ru)

Институт физики твердого тела РАН, Нижний Новгород

Экспериментально исследовано формирование вихревого течения в сосуде с жидкостью, совершающем гармонические колебания в вертикальном направлении. Установлено, что в цилиндрическом сосуде вихревое течение не наблюдается до тех пор, пока амплитуда колебаний не превышает порогового значения, при котором развивается параметрическая неустойчивость Фарадея и на поверхности появляются азимутальные моды. В квадратном сосуде и в цилиндрическом сосуде с нарушенной симметрией вихри наблюдаются при амплитудах ниже порога параметрической неустойчивости. Предполагается, что формирование вихревого течения обусловлено взаимодействием распространяющихся под углом друг к другу поверхностных волн.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ синхронизации в многослойной адаптивной сети осцилляторов Курамото

Харченко А.А.<sup>1,2</sup>, Макаров В.В.<sup>2,1</sup>

[ainadil@mail.ru](mailto:ainadil@mail.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Проведено численное исследование адаптивной многослойной сети связанных осцилляторов (генераторов Курамото). Рассмотрен вопрос диагностики фазовой синхронизации в сети при помощи изучения вейвлет-спектров интегрального сигнала. Проанализирован процесс возникновения фазовых кластеров с использованием интегральных характеристик исследуемой сети.

В настоящем исследовании используется модель фазового осциллятора Курамото [1], являющаяся одной из наиболее распространенных базовых моделей в теории сетей которая выступает в качестве математической интерпретации коллективной динамики химических и биологических осцилляторов [2].

$$\dot{\varphi}_i^l(t) = \delta_i + \lambda_1 \sum_{j \neq i} \omega_{ij}^l(t) \sin(\varphi_j^l - \varphi_i^l) + \lambda_2 \sum_{j \neq l} \sin(\varphi_i^j - \varphi_i^l) \quad (1)$$

где, каждый генератор  $i=[1, N]$  в сети имеет заданную случайным образом собственную частоту  $\delta_i$ ,  $\omega_{ij}$  – вес связи между  $j$  и  $i$ - узлами,  $\varphi_i^l(t)$  - фазы осцилляторов изменяющиеся во времени на каждом слое  $l=[1, M]$ ,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - внутри- и межуровневые силы связи, соответственно.

В работах [3,4] была показана возможность обнаружения кластеров в адаптивных сетях, основанная на вейвлет-анализе макроскопической динамики. Для анализа синхронизации путем интегральных характеристик мы рассматривали интегральный сигнал, представляющий собой усреднения колебаний по некоторому подмножеству  $N$  элементов сети

$$X(t) = \frac{A}{N} \sum_{i=1}^N \cos(\varphi_i^l(t)) \quad (2)$$

где  $A$  – амплитуда сигналов, которая в модельной системе была положена равной 1.

Практическая значимость представленных результатов связана с применением разработанного подхода к анализу реальных объектов, состоящих из большого числа сетевых элементов, где экспериментальные данные ограничены использованием интегральных характеристик: например, сигналы электроэнцефалограмм и магнитоэнцефалограмм в нейронауке.

Работа поддержана РФФИ (гранты 15-02-00624 и 15-52-45003).

1. Kuramoto Y. Chemical oscillations, waves, and turbulence. N. Y. SpringerVerlag. 1984. 156 p.

2. Макаров В.В., и др. Письма в ЖТФ. 41, 2 (2015) 34-40

3. Hramov, A. E., Koronovskii, A. A., Makarov, V. A., et al Wavelets in Neuroscience. Springer. Berlin. Heidelberg. 2015.

4. Харченко А.А., Макаров В.В., Храмов А.Е. Изв. РАН. Сер. физическая. 80, 2 (2016) 233–237

## ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАРМОНИК ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЧАСТИ ПЛАТО

Хохлова М.А.

[MargaritkaKhokhlova@gmail.com](mailto:MargaritkaKhokhlova@gmail.com)

Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии Наук  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Характерной особенностью процесса генерации гармоник высокого порядка (ГВВП) атомами, молекулами и ионами в лазерном поле является наличие плато в спектре, то есть спектральной области, в которой интенсивность гармоник практически не зависит от их порядка. Плато заканчивается резким спадом интенсивностей гармоник — высокочастотной границей плато (cut-off). Число гармоник плато возрастает с увеличением интенсивности лазерного поля. Сначала, при низкой интенсивности, гармоника генерируется в режиме высокочастотной границы плато, а затем, при увеличении интенсивности начинает генерироваться в режиме плато. На первый взгляд, это можно рассматривать как «включение» процесса генерации, вклад которого в полный сигнал мал. Используя квантово-механические расчеты, мы показали, что это не так. Режим генерации высокочастотной области плато соответствует диапазону интенсивности лазерного поля и вносит значительный вклад в генерацию при характерных экспериментальных условиях. Зависимость фазы гармоники от интенсивности излучения лазера существенно определяет фазовый синхронизм, спектральный сдвиг, уширение линий гармоник и пространственные свойства пучка гармоник. Таким образом, поведение фазы гармоник высокочастотной части плато сильно влияет на все эти свойства. Кроме того, излучение высокочастотной области плато используется для генерации одиночного аттосекундного импульса методом амплитудного затвора. Исследование фазовых свойств гармоник высокочастотной области плато позволяет предложить спектральную область, которая может быть использована для генерации максимально короткого аттосекундного импульса методом амплитудного затвора при заданных интенсивности и частоте лазерного поля.

Мы определяем режим генерации высокочастотной части плато как область, в которой фазы гармоник зависят линейно от интенсивности лазерного поля. Фазовый коэффициент ( $\alpha = -d\varphi/dI$ , где  $\varphi$  – фаза гармоник,  $I$  – интенсивность лазерного поля) в режиме генерации высокочастотной части плато растет как куб длины волны лазерного излучения, поэтому данная зависимость становится особенно важной для ГВВП в лазерном поле с частотой, лежащей в среднем ИК диапазоне. Показано, что ГВВП происходит в режиме высокочастотной границы плато для диапазона интенсивностей, и амплитуда микроскопического отклика достигает высоких значений ( $a$  в некоторых случаях — максимума) в этой области. Более того, для достаточно высоких гармоник генерация происходит, главным образом, в данной области интенсивностей, так как ионизация среды ограничивает интенсивность лазерного поля, при которой происходит ГВВП.

Изменение дефазировки гармоник при переходе из режима генерации гармоник высокочастотной части плато в режим генерации гармоник плато определяет оптимальную спектральную область, которую следует использовать для получения аттосекундных импульсов методом амплитудного затвора. Численно решая нестационарное уравнение Шредингера, мы показали, что в аргоне минимальная длительность генерируемого аттосекундного импульса, получаемого этим методом без использования дисперсионных элементов, примерно составляет 0.08 — 0.1 периода лазерного поля для различных интенсивностей и частот лазерного излучения.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖИМЫ ВЫМЫВАНИЯ ПРИМЕСИ ИЗ НАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ НАД НЕЙ

Циберкин К.Б.

[kbtsiberkin@psu.ru](mailto:kbtsiberkin@psu.ru)

Пермский государственный национальный исследовательский университет

Поток вязкой жидкости, движущийся над насыщенной пористой средой, увлекает за собой жидкость, содержащуюся в последней. Сила сопротивления пористой матрицы вызывает резкое падение скорости течения вблизи границы раздела, что приводит к возможности возникновения аналога неустойчивости Кельвина–Гельмгольца с образованием вихрей, охватывающих оба слоя жидкости. Вихревое течение эффективно перемешивает жидкость в системе, и при наличии в пористом слое примеси она может захватываться внешним потоком. Важно, что неустойчивость развивается пороговым образом, и поэтому в нестационарных условиях увеличение скорости течения приводит к резкому выбросу примеси во внешний поток.

Рассматриваемая задача актуальна в связи с различными технологическими и экологическими приложениями, в частности – при исследовании выбросов загрязнений из наземной или водной растительности, динамики границы кристаллизации расплавленного металла, а также процесса теплообмена между средами.

В настоящей работе рассматривается задача о стекании слоя несжимаемой жидкости с недеформируемой верхней границей по слою насыщенной пористой среды конечной толщины, наклонённой под углом к горизонту. Пористая среда описывается моделью Бринкмана. Исследование линейной задачи устойчивости в описанной постановке проводилось ранее, и в ходе его был выявлен пороговый характер развития неустойчивости, бимодальность нейтральных кривых. Также продемонстрирована значительная роль условий, заданных на границе раздела слоёв.

Исследование развития нелинейных режимов течения при превышении критического числа Рейнольдса подтверждает результаты исследования линейной задачи и обнаруживает ряд характерных режимов течения. Характерное время развития неустойчивости пропорционально числу Рейнольдса. В течении образуются крупномасштабные вихри, охватывающие всю толщину пористого слоя. Это обеспечивает практически полное вымывание примеси и перераспределение её по всей толщине системы. Найдено, что при определённых значениях числа Рейнольдса и параметров пористой среды вымывания примеси не происходит – после относительно слабого всплеска интенсивности течения поле концентрации примеси становится квазистационарным, и на протяжении времени моделирования изменяется только благодаря молекулярной диффузии.

# ВОЗБУЖДЕНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЛН И УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С ПЛАЗМОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ

Цымбалов И.Н.<sup>1</sup>, Шуляпов С.А.<sup>1</sup>, Иванов К.А.<sup>1</sup>, Крестовских Д.А.<sup>1</sup>,  
Савельев А.Б.<sup>1</sup>, Ксенофонтов П.А.<sup>2</sup>, Брантов А.В.<sup>2</sup>, Быченков В.Ю.<sup>2</sup>  
[ivankrupenin2@gmail.com](mailto:ivankrupenin2@gmail.com)

<sup>1</sup>МГУ имени М.В.Ломоносов, физический факультет и МЛЦ, Москва

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва.

Плазма, созданная фемтосекундным лазерным импульсом высокой интенсивности, может служить источником высокоэнергетичных электронов, протонов и рентгеновских квантов[1] благодаря различным механизмам ускорения, таким как  $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$  нагрев, резонансное поглощение, ускорение в кильватерной волне, стохастический нагрев, генерация плазменных волн из-за параметрических неустойчивостей. Меняя параметры эксперимента, такие как интенсивность и длительность лазерного импульса, плотность и протяженность преплазменного слоя, можно менять выход горячих частиц за счет изменения процессов поглощения лазерного импульса плазмой. В данной работе представлены результаты эксперимента и численного моделирования ускорения электронов в плазменных волнах, возбужденных в подкритической плазме.

В качестве источника основного лазерного импульса в наших экспериментах использовалась Ti:Sa лазерная система (длина волны – 800 нм, частота повторения импульсов – 10 Гц, максимальная энергия импульса – 40 мДж, минимальная длительность импульса 45 фс, минимальный диаметр фокусировки – 3 мкм, максимальная интенсивность на мишени –  $5 \cdot 10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>, уровень и контраста на пикосекундной временной шкале -  $10^{-8}$ ). Излучение фокусировалось внеосевым параболическим зеркалом (F~5см) на твердотельную мишень мишень. Для создания на поверхности мишени слоя преплазмы использовался Nd:YAG лазер (длина волны – 532 нм или 1064 нм, частота повторения импульсов – 10 Гц, максимальная энергия импульса – 200 мДж, длительность импульса - 6 нс и максимальная интенсивность на мишени –  $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>). Меняя задержку между импульсами первого и второго лазеров в интервале от -50 нс до +10 нс, можно менять плотность преплазменного слоя в широком диапазоне значений. Для диагностики плазмы использовались сцинтилляционные детекторы для измерения выхода и спектров гамма излучения, возникающего при торможении ускоренных электронов в объеме мишени и оптические спектрометры для получения характеристик рассеянного на плазме оптического излучения.

Для объяснения экспериментальных результатов использовалось численное моделирование лазерно-плазменного взаимодействия (3D3V PIC-код Mandor). Лазерный импульс (p-поляризация,  $I - 10^{18}$  Вт/см<sup>2</sup>,  $\lambda - 1$  мкм,  $\tau - 50$  фс) фокусировался в различные плазменные мишени с начальными параметрами, соответствующими различным экспериментальным случаям (линейный градиент плотности плазмы от  $2L/\lambda$  до  $100L/\lambda$ , падение под углом  $45^\circ$ ). Совместный анализ экспериментальных и численных результатов показал, что основными механизмами возбуждения плазменных волн являются двухплазменная неустойчивость на градиентах до  $10L/\lambda$ . На больших длинах преплазмы за создание плазменных волн отвечают самофокусировка, ведущая к значительному увеличению интенсивности лазерного импульса, и последующее ВКР вперед. Дальнейший распад плазменной волны и ускорение ее продольным электрическим полем позволяют получить электроны с энергиями до 10 МэВ.

1. D. Umstadter// J. Phys. D. 2003. Vol.36. P. 151-165

# ОБРАЗОВАНИЕ АТТРАКТОРОВ В СИСТЕМЕ ФАЗОВЫХ УРАВНЕНИЙ С СИММЕТРИЕЙ ПРИ ЕЕ НАРУШЕНИИ

Чекмарева А.Ж.<sup>1</sup>, Савин А.В.<sup>1</sup>, Кузнецов А.П.<sup>1,2</sup>

[Chekmareva.aliya@mail.ru](mailto:Chekmareva.aliya@mail.ru)

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет,

<sup>2</sup>Саратовский филиал института радиоэлектроники РАН

Известно [1,2], что если уравнения, задающие потоковую систему, обладают определенной симметрией, т.е. инвариантны относительно некоторого преобразования координат, а сама система обратима, то в ней возможна реализация консервативной динамики. Одним из примеров таких систем является рассмотренная в работе [3] система фазовых уравнений, описывающих динамику цепочки связанных осцилляторов:

$$\dot{\psi}_k = \Delta_k + \varepsilon f(\psi_{k-1}) + \varepsilon f(\psi_{k+1}) - 2\varepsilon f(\psi_k), \quad k = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $\psi_k$  – разность фаз соседних осцилляторов,  $\Delta_k$  – разность частот соседних осцилляторов,  $\varepsilon$  – параметр связи, а  $f(\psi)$  – функция связи. В частности, в случае четырех связанных осцилляторов система инвариантна относительно преобразования:

$$\psi_k \rightarrow \pi - \psi_{n-k}, \quad (2)$$

если функция связи содержит только нечетные гармоники.

Целью настоящей работы является исследование изменений, происходящих в структуре фазового пространства таких систем при нарушении симметрии. Для этого функция связи была выбрана в виде:

$$f(\psi) = \sin \psi + (A-d)\sin 3\psi + d\sin 2\psi, \quad (3)$$

где параметр  $d$  управляет степенью нарушения симметрии.

Для системы (1) с функцией связи (3) было построено сечение Пуанкаре плоскостью  $\psi_2 = \pi/2$ . На фазовой плоскости переменных  $(\psi_1, \psi_3)$  были найдены неподвижные точки для различных значений параметра связи  $\varepsilon$  и амплитуды четной гармоники  $d$ . Аттракторами в такой системе являются циклы различных периодов, причем порядок периодов увеличивается с увеличением значения параметра  $\varepsilon$ . На узком интервале параметра  $d$  при значении параметра  $\varepsilon = 0,35$  сосуществуют 5- и 6-циклы. Построение устойчивых и неустойчивых многообразий седловых циклов выявило существование гетероклинических структур на фазовой плоскости. Также обнаружено существование инвариантной кривой и странного аттрактора при различных значениях параметров  $\varepsilon$  и  $d$ .

Проведен анализ динамики исследуемой системы при помощи ляпуновских показателей. Показано, что в симметричном случае сумма ляпуновских показателей остается равной нулю в широком диапазоне значений параметра связи  $\varepsilon$ , что свидетельствует о наличии консервативного поведения.

Также исследована зависимость ляпуновских показателей от параметра  $d$ , характеризующего степень нарушения симметрии. Обнаружено, что сумма ляпуновских показателей монотонно убывает с увеличением этого параметра. В то же время зависимость старшего ляпуновского показателя имеет весьма сложный характер, демонстрируя области как положительных, так и отрицательных значений. Такое поведение свидетельствует о том, что при нарушении симметрии происходит довольно сложная перестройка структуры фазового пространства системы, сопровождаемая как бифуркациями существующих аттракторов (например, рождения резонансных циклов на инвариантной кривой), так и их кризисами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-02-31064) и президентской программы поддержки ведущих научных школ НШ-1726.2014.2.

1. Lamb, J.S. W. and Stenkin, O.V. //Nonlinearity, 2004, vol.17, no.4, p. 1217.
2. Delshams, A. et al. //Nonlinearity, 2013, vol.26, no.1, p. 1
3. D. T opaj, A. Pikovsky. //Physica D, 170 (2002), p.118

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО В ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРАХ $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ И $\text{Bi}_2\text{Se}_3$

Чижов П.А.<sup>1</sup>, Образцов П.А.<sup>1</sup>, Канда Н.<sup>2</sup>, Кониши К.<sup>2</sup>, Гоноками М.<sup>2</sup>, Гарнов С.В.<sup>1</sup>,  
Терещенко О.Е.<sup>3</sup>

[pvch@inbox.ru](mailto:pvch@inbox.ru)

<sup>1</sup> Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,

<sup>2</sup> Университет Токио,

<sup>3</sup> Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

В настоящее время большой интерес вызывает поиск новых материалов для генерации терагерцового излучения. К таким материалам относятся топологические изоляторы, обладающие высокой поверхностной проводимостью, при этом в объеме являющиеся диэлектриками. Существует ряд работ касающихся генерации фототоков и терагерцового излучения при возбуждении таких материалов фемтосекундным лазерным излучением, тем не менее для выяснения вклада различных процессов, приводящих к генерации терагерцового излучения, необходимы детальные исследования поляризационных и энергетических зависимостей.

В работе представлены результаты по исследованию свойств терагерцового излучения, генерируемого в кристаллических топологических изоляторах  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , при их оптическом возбуждении фемтосекундными лазерными импульсами. Лазерное излучение фемтосекундной длительности падало на поверхность образцов под углом близким к  $45^\circ$ . Регистрация электрического поля терагерцовых импульсов осуществлялась в схеме, на основе электрооптического эффекта в кристалле GaP. Получены спектры терагерцовых импульсов от объемных кристаллов  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  и эпитаксиальной пленки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . Изучены зависимости состояния поляризации терагерцового излучения от состояния поляризации возбуждающего оптического излучения: от угла поворота линейной поляризации и от степени эллиптичности поляризации. Выявлено существование вкладов в результирующий импульс как от поверхностных состояний, так и от объема кристалла.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №15-52-50047.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРА НА НЕОДИМОВОМ СТЕКЛЕ ЗА СЧЕТ ИНЖЕКЦИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА

Шайкин И.А., Кузьмин А.А., Бурдонов К.Ф., Шайкин А.А., Хазанов Е.А.

[ilya.shaikin@gmail.com](mailto:ilya.shaikin@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

При усилении лазерного импульса длительностью 1 нс в стержневых активных элементах на неодимовом стекле параметрами, ограничивающими энергию импульса, являются оптический пробой и мелкомасштабная самофокусировка. В лазере накачки для параметрического усилителя в системе PEARL используются стержневые активные элементы из фосфатного стекла, допированного неодимом. На сегодняшний день максимальный диаметр используемых стержней составляет 10 см, что ограничивает выходную энергию одного импульса на уровне около 300 Дж. При этом неиспользованной остается существенная часть запасенной в усилителях энергии. Эта энергия может быть снята еще одним лазерным импульсом, распространяющимся после первого с небольшой задержкой по времени.

Возможны два принципиально разных способа деления импульса – амплитудный (полупрозрачными зеркалами) и поляризационный (поляризаторами). К преимуществам первого следует отнести возможность масштабирования схемы деления на три реплики и более, и то, что амплитудное деление дает импульсы одинаковой поляризации, что упрощает конструкцию дальнейшего усилительного тракта. В то же время это не позволяет пространственно разделить импульсы на выходе. Так как в нашем случае два импульса предполагается использовать для накачки двух независимых параметрических усилителей, удобно иметь возможность их пространственного разделения. Поэтому был выбран поляризационный способ деления. Дополнительными его преимуществами являются меньшие потери энергии и возможность плавной подстройки отношения энергий двух реплик на входе с помощью полуволновой пластинки (первый импульс на входе должен быть значительно меньше второго, так как усилители работают в режиме сильного насыщения).

В данной работе описана модернизация лазера накачки петаваттного лазерного комплекса PEARL (ИПФ РАН). Нами была предложена и реализована система поляризационного деления входного импульса, что позволило инжектировать два последовательных импульса в существующий многокаскадный лазерный усилитель. Новая схема лазера накачки может быть условно разделена на две части: устройство, создающее две реплики импульса, приходящего с генератора, и многокаскадный лазерный усилитель, который остался без изменений. Каскады усилителя разделены пространственными фильтрами, что накладывает условие на совпадение направлений волновых векторов двух инжектируемых импульсов с точностью много меньше дифракционной расходимости.

Задержка между импульсами составляла 7 нс. Такое время, с одной стороны, много больше длительности одного импульса, что позволяет рассматривать их как отдельные импульсы в аспекте оптического пробоя. С другой стороны, это меньше времени образования плазмы в диафрагмах пространственных фильтров, что позволяет второму импульсу проходить через них.

В результате суммарная выходная энергия была увеличена с 300 до 500 Дж. Полученный дополнительный импульс с энергией 200 Дж будет использован для накачки дополнительного параметрического усилителя петаваттного лазера.

## ПЕРЕХОД К ХАОСУ В ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ЛАЗЕРА

Шакиров А.Р.<sup>1</sup>, Чертовских Р.А.<sup>1</sup>, Кренц А.А.<sup>1,2</sup>, Анчиков Д.А.<sup>1</sup>

[shakirovar@ssau.ru](mailto:shakirovar@ssau.ru)

<sup>1</sup>Самарский Государственный Аэрокосмический Университет, Самара, Россия

<sup>2</sup>Самарский филиал Физического института РАН, Самара, Россия

В работе численно исследованы режимы выходного излучения широкоапертурного лазера, описываемого моделью Максвелла-Блоха (МБ). Модель МБ описывает пространственно-временную динамику лазера, работающего на единственной продольной моде в случае плоскопараллельных зеркал. Оператор Лапласа, входящий в модель МБ, описывает дифракцию излучения и позволяет учитывать взаимодействие большого числа поперечных мод.

Хорошо известно, что режим стационарной пространственно-однородной генерации может терять устойчивость при варьировании параметров модели. Для моделирования была выбрана область параметров, в которой реализуется коротковолновая неустойчивость. В качестве управляющего был выбран параметр накачки (нормированный на пороговое значение), остальные параметры модели фиксированы. Для значений параметра накачки в интервале от 1 до 230, вычислены аттракторы динамической системы – уравнений одномерной модели Максвелла-Блоха с условиями периодичности по пространству для электрического поля, поляризации и инверсии населенности. Методом продолжения по параметру определены границы устойчивости аттракторов и идентифицированы их бифуркации. Численное решение задачи проводилось с использованием псевдоспектрального метода Фурье с удалением ошибки ложного представления и метода экспоненциального дифференцирования Рунге-Кутты третьего порядка.

Найдено, что при увеличении параметра накачки выше первого порога генерации, единственным аттрактором системы является стационарное решение, не зависящее от пространственной координаты. Стационарные решения теряют устойчивость при превышении второго порога генерации, аттрактором системы становится нестационарный режим с двумя несоизмеримыми временными частотами (т.е. двумерный тор в фазовом пространстве) – периодическое возмущение бегущей волны. В следующей бифуркации, устойчивыми становятся решения с тремя независимыми частотами по времени. При дальнейшем увеличении накачки, обнаружены режимы с четырьмя независимыми временными частотами и хаотические аттракторы. Обнаружен интервал значений параметра, где сосуществуют устойчивые двумерные и трехмерные торы, а также интервал, где сосуществуют три аттрактора с тремя независимыми временными частотами, но с разной пространственной структурой.

Работа частично поддержана Минобрнауки РФ по Программе повышения конкурентоспособности СГАУ на 2013-2020 гг. и Государственному заданию вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект 1451, НИР №ГР 01201156352, грантом РФФИ 16-32-60151 мол\_а\_дк.

## ПОДАВЛЕНИЕ ХАОТИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЦЕПОЧКЕ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ КОНТАКТОВ С НАГРУЗКОЙ

Шампоров В.А.<sup>1</sup>, Панкратов А.Л.<sup>1,2,3</sup>, Панкратова Е.В.<sup>1</sup>, Шитов С.В.<sup>4,5</sup>

[bacek94@mail.ru](mailto:bacek94@mail.ru)

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup>ФГБУН Институт физики микроструктур РАН

<sup>3</sup>Центр криогенной наноэлектроники при НГТУ им. Р. Е. Алексеева

<sup>4</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

<sup>5</sup>Лаборатория сверхпроводящих метаматериалов НИТУ "МИСиС"

В данной работе изучаются эффекты, возникающие при одновременном воздействии общей RC-нагрузки и теплового шума на параллельные цепочки индуктивно связанных джозефсоновских контактов. Показывается, что достаточно хорошо согласованная нагрузка может подавлять хаотические процессы в динамике таких цепочек. Излучение, передаваемое на нагрузку, обладает при этом максимумом в диапазоне частот, соответствующем переходу цепочки из режима пролета одиночного солитона в режим стоячей волны. В данном диапазоне частот ширина линии джозефсоновской генерации в цепочке с хорошей точностью описывается теоретической зависимостью для односолитонных осцилляторов, умноженной на два и поделенной на число контактов в цепочке. В случае, когда динамика системы такова, что наблюдается сильная амплитудная модуляция колебаний, то она усиливает фазовую диффузию в системе, и наблюдается значительное увеличение ширины спектральной линии, приблизительно в пять раз по сравнению с теоретической формулой.

## УПРАВЛЕНИЕ ЗАПРЕЩЕННЫМИ ЗОНАМИ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ МАГНОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Морозова М.А., Шараевская А.Ю., Бегинин Е.Н.

[maluginama@yandex.ru](mailto:maluginama@yandex.ru), [upark@inbox.ru](mailto:upark@inbox.ru)

Саратовский государственный университет, Россия, 410012, Саратов,  
Астраханская, 83

В настоящее время большой интерес вызывают периодические структуры микронных или субмикронных размеров, сформированные на поверхности ферромагнитных пленок – магнонные кристаллы (МК) [1,2]. В таких кристаллах распространяются спиновые волны (магноны). В отличие от фотонных кристаллов [3], которые используются в оптическом диапазоне, МК исследуются, в основном, в микроволновом диапазоне длин волн.

В настоящей работе рассматривается связанная периодическая структура, состоящая из двух магнонных кристаллов, периоды которых сдвинуты относительно друг друга в направлении распространения волны. Построена теоретическая модель для расчета дисперсионных характеристик магнитостатических волн в такой структуре и на ее основе проводится анализ влияния фазового сдвига в коэффициенте связи на особенности формирования запрещенных зон в МК-МК. Был разработан экспериментальный макет рассматриваемой связанной структуры на основе пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) и полученные экспериментальные данные имеют хорошее совпадение с результатами численного моделирования.

Анализируемая структура состоит из двух магнонных кристаллов с одинаковыми параметрами, разделенных диэлектрическим слоем толщиной. Постоянное магнитное поле приложено перпендикулярно к поверхности пленки и его величина выбрана таким образом, чтобы в каждой пленке распространялась прямая объемная магнитостатическая волна (ПОМСВ) [4]. Показано, что в такой структуре может формироваться до трех запрещенных зон в полосе первого брэгговского резонанса и их шириной и положением можно управлять, меняя параметры связи в структуре.

Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют рассматривать исследуемую структуру в виде двух связанных магнонных кристаллов как систему, в которой за счет двойного управления коэффициентом связи (величиной и фазой) существенно расширяется возможность для управления запрещенными зонами. Последнее представляет интерес для разработки устройств обработки сигналов в микроволновом диапазоне длин волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-07-31142, № 15-07-05901.

1. Nikitov S.A., Tailhadesand Ph., Tsai C.S// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2001. Vol. 236, № 3. P. 320–330.

2. Chumak A. V., Serga A. A., Hillebrands B. and Kostylev M. P. // Applied Physics Letters. 2008. Vol. 93. P. 022508.

3. Kivshar Y.S., Agrawal G. P. Optical solitons: From fibers to photonic crystals. Moscow: FIZMATLIT. 2005.

4. Морозова М. А., Шараевская А. Ю. // Гетеромагнитная микроэлектроника. Вып. 15, ISSN 1810-9594. С. 82–93.

5. Morozova M. A., Grishin S. V., Sadovnikov A. V., Sharaevskii Yu P., Nikitov S. A. // IEEE Trans. on Magnetics. 2014. Vol. 50, № 11. P. 4007204.

## **ВЛИЯНИЕ ШИРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАЗВИТИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КЕЛЬВИНА-ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ПЛАЗМЕ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ**

Шевелёв М.М.

[mposimba@gmail.com](mailto:mposimba@gmail.com)

Институт космических исследований РАН

В рамках одножидкостной магнитной гидродинамики проведено исследование развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца с учётом конечной ширины переходной области, при этом не накладывается никаких ограничений на направление распространения возмущений и отношение масштабов изменения скорости и направления магнитного поля. Анализ линейной стадии развития неустойчивости показал, что при наличии шира магнитного поля возмущения, распространяющиеся под небольшим углом к направлению скорости потока, могут обладать большими инкрементами, чем возмущения, распространяющиеся строго вдоль скорости потока. Полученные результаты также указывают на то, что диапазон направлений, в которых колебания оказываются неустойчивыми, зависит от отношения плотности в движущейся среде к плотности покоящейся среды.

## ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО ПОТОКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОДУЛЯЦИИ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ

Шомина О.В., Ермаков С.А., Капустин И.А., Лазарева Т. Н.

[stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Взаимодействие ветровых потоков с поверхностью жидкости является классической проблемой в физике атмосферы и океана, имеющей ряд важных геофизических приложений, таких как вычисление вертикальных и горизонтальных потоков импульса и энергии, переноса газовых примесей, развитие глобальных климатических моделей и составление прогнозов погоды. Структура волнового потока над неподвижными подстилающими поверхностями, такими как леса, строения, горные структуры, хорошо изучена, в то время как взаимодействие между взволнованной водной поверхностью и турбулентным ветровым потоком значительно сложнее для описания из-за наличия в поверхностном волнении гармоник с различными длинами волн, амплитудами и распространяющимися с разными скоростями и направлениями.

Целью этого исследования является экспериментальное изучение изменений структуры ветрового потока из-за модуляции шероховатости подстилающей поверхности жидкости. Лабораторные эксперименты проводились в кольцевом ветроволновом бассейне ИПФ РАН, поперечное сечение ветрового канала которого составляет 30\*30 см. Амплитуда и спектр волнения измерялись при помощи струнного волнографа, скорости ветра - термоанемометра и трубки Пито. Шероховатость водной поверхности изменялась посредством: а) нанесения на нее поверхностно-активного вещества (ПАВ), б) создания механически генерируемых волн (МГВ) на фоне ветрового волнения. Первый случай аналогичен случаю разлива пленок (в частности, нефтяных) на морской поверхности, второй – присутствию морской зыби, приходящей в область наблюдения из отдаленных областей моря, где наблюдались высокие скорости ветра. В эксперименте с ПАВ модуляция шероховатости проводилась в двух режимах нанесения ПАВ: при низкой концентрации пленки упругость ее составляла 19 мН/м, при толстой пленке – 34 мН/м. В экспериментах с МГВ изучались характеристики ветра при создании волн с амплитудами 3,4 и 4,4 мм и частотами 3,3 и 3,7 Гц.

Было установлено, что:

- 1) профиль средних скоростей ветровых потоков в присутствии ПАВ и МГВ описывается логарифмической функцией;
- 2) присутствие пленки приводит к увеличению скорости ветра, при этом увеличение концентрации усиливает эффект;
- 3) наличие МГВ приводит к уменьшению скорости потока; чем выше частота волны и/или амплитуда, тем больший эффект уменьшения скорости ветра наблюдается;
- 4) полученные экспериментальные зависимости характеристик логарифмических профилей ветра от величины среднеквадратичного отклонения (СКО) поверхности демонстрируют увеличение скорости течения и коэффициента шероховатости с ростом СКО.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 14-05-31535, 14-05-00876, 15-35-20992).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШИРОКОПОСОЛНОГО ЧИРПИРОВАНОГО ИМПУЛЬСА В ПИКОСЕКУНДНОМ КАНАЛЕ СВЕРХМОЩНОЙ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Шугуров А.И.<sup>1</sup>, Андриянов А.В.<sup>1,2</sup>, Сергеев А.М.<sup>1,2</sup>

[shugurov1991@gmail.com](mailto:shugurov1991@gmail.com)

<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup>Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Создание пикосекундного канала мощной лазерной установки с выходной энергией на уровне 1 кДж и заданной формой импульса требует полного понимания особенностей распространения лазерного излучения через каждый элемент системы. Количество и разнородность элементов пикосекундного канала требует создания универсального численного кода для трехмерного моделирования взаимодействия широкополосного лазерного импульса с оптическими средами с разнообразными нелинейными, дисперсионными и пространственными характеристиками.

Разработанная нами математическая модель основана на приближении однонаправленного распространения пучка вдоль выделенного направления  $z$ . Для описания распространения и лазерного усиления широкополосного сигнала мы используем однонаправленное волновое уравнение. Для моделирования параметрического усиления в математической модели кроме основного пучка также рассматриваются пучки накачки и холостой волны, взаимодействующие посредством квадратичной нелинейности в кристалле.

Однако прямое моделирование данной схемы является непростой задачей. Для моделирования реальных пикосекундных каналов сверхмощных лазерных установок размер временной сетки должен быть порядка 3 нс, а шаг порядка 100 фс, что делает возможным прямое моделирование только при достаточном объеме памяти и приемлемой скорости вычислений. Нами же был разработан метод, позволяющий моделировать усиление импульсов, растянутых до каких угодно длительностей, на персональном компьютере. В основе такого метода лежит модифицированное преобразование Фурье, взятое для «растянутого» времени  $T/\alpha$ , где  $\alpha$  – коэффициент растяжения в стрэгчере.

С помощью этой программы мы провели моделирование схемы, соответствующей конфигурации пикосекундного канала с учетом реальных параметров излучения и особенностей канала. Нами были получены спектры, временные формы и поперечные распределения интенсивностей на выходе отдельных элементов и всей трассы канала. Так же было проведено исследование параметров импульса при вариации различных параметров элементов схемы, а именно, были рассмотрены влияния изменения толщин параметрических и лазерных усилителей, изменения задержки между импульсами накачки и сигнала, а также изменения углов между взаимодействующими импульсами и осью кристалла при параметрическом взаимодействии.

## ДИНАМИКА СОЛИТОННЫХ ПОЛЕЙ В РАМКАХ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА – ДЕ ВРИЗА

Шургалина Е.Г.

[eshurgalina@mail.ru](mailto:eshurgalina@mail.ru)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Данная работа относится к исследованию, так называемой, солитонной турбулентности (солитонного газа), о которой заговорили несколько десятилетий назад. Впервые теоретическое описание солитонного газа было выполнено В.Е. Захаровым в 1971 г. В первую очередь исследования были направлены на изучение кинетических уравнений, позволяющих описать пространственно-временное распределение характеристик солитонного газа [Захаров, 1971; Гуревич и др., 2000; El et al., 2011]. Солитоны, как известно, сохраняются в процессе взаимодействия, и их характеристики не изменяются. Однако для практики важно знать распределения и моменты самого случайного волнового поля, а не только параметры существующих в нем солитонов. Поэтому исследование поведения случайных солитонных полей представляется важной задачей.

В данной работе динамика случайных солитонных ансамблей изучается в рамках модифицированного уравнения Кортевега – де Вриза. Это уравнение встречается в теории нелинейных дисперсионных волн в изотропных средах. Оно описывает электромагнитные поверхностные волны в электрическом поле, ионно-звуковые волны в двух-компонентной плазме, внутренние океанические волны и некоторые другие ситуации. Рассмотрены два типа солитонных полей: состоящие из однополярных и разнополярных солитонов. В случае однополярных полей результаты сравниваются с моделью уравнения Кортевега – де Вриза. Демонстрируется похожесть динамики солитонов в рамках этих двух систем: третий и четвертый статистические моменты уменьшаются со временем, хвосты функций распределения уменьшаются в результате нелинейного солитонного взаимодействия. Противоположные результаты получены для знакопеременных солитонных полей. Взаимодействие солитонов разных полярностей ведет к увеличению амплитуды результирующего импульса [Пелиновский, Шургалина, 2014]. Таким образом, аномальные волны могут возникать в результате взаимодействия разнополярных солитонов. Хвосты функций распределений увеличиваются со временем, демонстрируя возможность появления волн-убийц в подобных системах. Частично вопросы, затрагиваемые в данном докладе, опубликованы в книге [Шургалина, Пелиновский, 2015].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 16-35-00175 мол\_а.

Захаров В. Е. Кинетическое уравнение для солитонов. ЖЭТФ, 1971, 60, 993-1000.

Гуревич А.В., Мазур Т.Г., Зыбин Н.Г. Статистический предел в полностью интегрируемой системе с детерминистскими начальными условиями. ЖЭТФ, 2000, 90, 797–817.

El G.A., Kamchatnov A.M., Pavlov M.V., Zykov S.A. Kinetic equation for a soliton gas and its hydrodynamic reductions, J Nonlinear Sci, 2011, 21, 151–191.

Пелиновский Е.Н., Шургалина Е.Г. Двухсолитонное взаимодействие в рамках модифицированного уравнения Кортевега – де Вриза. Известия ВУЗов. Радиофизика, 2014, 57 (10), 825-833.

Шургалина Е.Г., Пелиновский Е.Н. Динамика ансамбля нерегулярных волн в прибрежной зоне, Н.Н.: НГТУ, 2015, 179с.

## НЕЛИНЕЙНЫЙ ЭФФЕКТ РАССЕЯНИЯ ЧАСТИЦ С БОЛЬШИМ МАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Шустов П.И.”

[p.shustov@gmail.com](mailto:p.shustov@gmail.com)

Физический факультет МГУ им. Ломоносова

Рассматривается рассеяние заряженных частиц в магнитном поле с сильной кривизной силовых линий, которое моделирует токовый слой в ближней магнитосфере Земли. Численными методами исследовался режим рассеяния в поле с промежуточным значением градиента, достаточным для нарушения адиабатичности движения, но слишком слабым для возникновения полностью хаотического движения. В работе найден диапазон параметров магнитного поля, при котором возникает существенное рассеяние частиц с большим адиабатическим инвариантом (магнитным моментом). Анализ и аппроксимация величин скачка адиабатического инварианта позволила получить выражение для коэффициента диффузии по магнитному моменту.

## ТИПИЧНЫЕ ПРОФИЛИ ВОЛН-УБИЙЦ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Юдин А.В.

[yudinorel@gmail.com](mailto:yudinorel@gmail.com)

Российский университет дружбы народов

В докладе представлены геометрические результаты изучения волн-убийц [1] с помощью вычислительных экспериментов, основанных на полных нелинейных уравнениях гидродинамики идеальной жидкости со свободной поверхностью. Нами были получены различные типы волн-убийц.

Нами было проведено несколько тысяч вычислительных экспериментов, в которых были получены волны-убийцы. Около 95% полученных волн-убийц имеют форму крутого гребня, называемую «стена воды». Остальные волны-убийцы имели форму глубокой впадины («дыра в море») или трех друг за другом идущих больших волн («три сестры»).

Итак, наиболее распространенным типом волны-убийцы является «стена воды». Показано, что обе половины этой волны (слева и справа от локального минимума) хорошо аппроксимируются полиномом третьей степени. В статье приведены примеры такой аппроксимации. Относительная погрешность при этом составляет не более 4%. На основе аппроксимаций полиномами третьей степени можно сделать выводы о крутизне полученных в вычислительных экспериментах волн-убийц. Около 95% профилей волн-убийц имеют максимальную крутизну из диапазона [0.25, 0.6]. Среднее значение крутизны при этом составляет 0.38. Таким образом, волны-убийцы могут иметь широкий диапазон максимальной крутизны от умеренной до сильно нелинейной.

[1] Kharif, C., Pelinovsky, E., Slunyaev, A.: *Rogue Waves in the Ocean*, Springer, 2009.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ КРИСТАЛЛОВ $\text{CaF}_2$ , $\text{BaF}_2$ И $\text{SrF}_2$ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Яковлев А.И.

[yaknnalex@gmail.com](mailto:yaknnalex@gmail.com)

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Растущая мощность лазерных систем приводит к увеличению тепловыделения в оптических элементах из-за поглощения проходящего излучения. Это приводит к появлению градиентов температур и, вследствие фотоупругого эффекта, возникновению термонаведенного двулучепреломления. Результатом этого является термонаведенная деполяризация излучения, прошедшего через оптический элемент, и, как следствие, уменьшение мощности излучения в поляризованной компоненте поля.

В монокристаллических оптических элементах термонаведенная деполяризация зависит от ориентации кристаллографических осей [1]. Минимальное значение деполяризации излучения достигается в определенной ориентации кристаллографических осей, которая определяется параметром оптической анизотропии  $\xi$  [2], причем в материалах с отрицательным значением  $\xi$ , существует ориентация кристаллографических осей [C], в которой деполяризация излучения отсутствует [3,4]. Таким образом, для моделирования тепловых эффектов и минимизации термонаведенной деполяризации в оптических элементах, необходимо знать значение  $\xi$  в зависимости от различных внешних параметров.

Используя оригинальный метод [2], были измерены значения  $\xi$  в зависимости от длины волны излучения и от температуры в диапазоне  $(90-300)^\circ\text{K}$  для широко используемых кристаллов  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  и  $\text{SrF}_2$ , которые применяются для изготовления как пассивных, так и активных лазерных элементов.

1. Koechner, W. and D.K. Rice // J. Opt. Soc. Am. 1971. 61(6). P. 758-766.
2. Snetkov, I., et al. // Optics express, 2012. 20(12) P. 13357-67.
3. Joiner, R.E., J. Marburger, and W.H. Steier // Appl. Phys. Lett. 1977. 30(9). P. 485-485.
4. Vyatkin, A.G. and E.a. Khazanov, // J. Opt. Soc. Am. B. 2011. 28(4): p. 805-805.

## LABORATORY MODELING OF DUCTS DYNAMICS IN MAGNETIZED PLASMA

Aidakina N.A., Gushchin M.E., Zudin I.Y., Kostrov A.V.

[aidakina@appl.sci-nnov.ru](mailto:aidakina@appl.sci-nnov.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

One of the popular directions of geophysical research is concerned with the performing the active experiments on radio-frequency action on the ionosphere and the magnetosphere of the Earth using the radiation of powerful radio transmitters of ground-based and satellite-borne transmitters. The actual task is the formation of artificial disturbances of near-Earth plasma, and, particularly, the generation of plasma density disturbances. This problem is of considerable fundamental interest, and it is important for many applications. At the unique large-size experimental plasma setup "Krot" it has been carried out in experiments aimed to study of spatial structure and dynamics both lonely irregularity and groups of irregularities induced in magnetized plasma by powerful electromagnetic radiation. It has been investigated features of longitudinal plasma transportation, when a few irregularities are developed simultaneously, and found that this process is more complicated in comparison with the case of a lonely irregularity. The laboratory experiments performed for the propagation of low frequency waves in plasma in the presence of plasma density irregularities showed that the effect of trapping low frequency radiation takes place.

## TERAHERTZ RADIATION GENERATION IN THE OPTICAL BREAKDOWN OF GASES WITH TWO-COLOR LASER FIELD: RESONANCE, POLARIZATION AND MACROSCOPIC EFFECTS

Alexandrov L.N., Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu.

[alekvlis@gmail.com](mailto:alekvlis@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

The ionization of Hydrogen atom by intense two-color laser pulses has been investigated. The analysis was based on the numerical solution of two-dimensional Schrödinger equation as well as on numerical solution of coupled system of Schrödinger and Maxwell equations.

It is shown that for residual current generation the Coulomb potential of the parent ion plays role only in the process of electron detachment from an atom and its initial motion in free space, the rescattering process does not play a significant role. It is also shown that in the  $\omega+4\omega$  scheme the efficiency of residual current generation is a complex function of the frequency of laser radiation. This is presumably connected with resonance phenomena in the process of hydrogen atom ionization.

## INFLUENCE OF INERTIA ON DYNAMICS OF UNIDIRECTIONALLY COUPLED PHASE SYNCHRONIZATION SYSTEMS

Aleshin K.N., Matrosov V.V.

[kirill\\_al@bk.ru](mailto:kirill_al@bk.ru)

Lobachevski State University of Nizhny Novgorod

Current work is on the impact of inertia induced into control circuit of the unidirectionally coupled phase synchronization systems. It is shown, that finite inertia forces dynamical regimes of the ensemble to become multistable due to intersection of corresponding subareas

of parameter space. In special cases such intersections lead to dynamical chaos via Feigenbaum scenario.

## **COMPLEX DYNAMICS OF RYDBERG ATOM CHAIN**

Andreev A.V., Moskalenko O.I., Balanov A.G., Hramov A.E.

[andreevandv@gmail.com](mailto:andreevandv@gmail.com)

Saratov State University

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Loughborough University

The nonlinear dynamic and chaos in the system of Rydberg atom chain is studied. Chaotic dynamics is revealed, mode map was created, oscillations of different periods were plotted on it. The method for suppression of chaos by external parametric impact in the system is offered.

## **INVESTIGATION SPATIOTEMPORAL DYNAMICS DEPENDENCE ON TEMPERATURE IN WIDE APERTURE VCSEL**

Anchikov D.A.<sup>1</sup>, Krents A.A.<sup>1,2</sup>, Pakhomov A.V.<sup>1,2</sup>

[swadimaz@mail.ru](mailto:swadimaz@mail.ru)

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University

<sup>2</sup>Samara branch of the Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

Basing on the 2D - system of Maxwell-Bloch equations, we obtain and consider the numerical model of wide-aperture VCSELs with circle and square apertures. This model demonstrates that it is able to reproduce rather well the experimentally observed lasing mode switching from paraxial generation to substantially off-axis one due to the laser medium cooling. The dependences of the transverse wave numbers on the frequency detuning and the pump parameter are numerically investigated and compared with experimental data.

According to results of numerical simulation, in a wide range of the pump parameters above the threshold, the off-axis radiation takes place at the positive frequency detuning corresponding to temperature below 270 K. In the near field, spatio-temporal optical patterns are observed. In the far field, the radiation has the shape of a ring or four bright points on this ring. The radius of this ring increases with frequency detuning (in the experiment, this corresponds to a further medium cooling) proportionally to the square root of the detuning. On the contrary, at the negative detuning (temperature above 270 K) and pumping near the threshold, there is a quasi-homogeneous paraxial light emission mode. For greater pumping, unsteady large-scale spatio-temporal optical structures arise.

## **THE DYNAMICS OF A TWO-MODE OSCILLATOR DEPENDING ON THE METHOD OF THE ADDITIONAL CIRCUIT CONNECTION**

Astakhov O.V.<sup>1</sup>, Astakhov S.V.<sup>2</sup>, Astakhov V.V.<sup>2</sup>

[AstakhovOV@gmail.com](mailto:AstakhovOV@gmail.com)

<sup>1</sup>Saratov State University, Saratov, Russia

<sup>2</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

The self-oscillating systems with a large number of degrees of freedom, the multimode systems are widely represented in nature as well as in technology. In this work we consider

one of the most simple examples of the multimode systems – the classical van der Pol oscillator with an additional circuit. We show that if the additional circuit is connected to the oscillator as a load then the frequency entrainment phenomenon is observed. In case the additional circuit is included into the feedback loop, the system possesses more complex dynamics i.e., quasiperiodic and chaotic oscillations.

## **LOWER ATMOSPHERE ELECTRICITY OBSERVATIONS AND MODELLING RESULTS**

Aphinogenov K.V., Anisimov S.V., Galichenko S.V.  
[aphin@borok.yar.ru](mailto:aphin@borok.yar.ru)  
BGO IPE RAS

Summer field ground-based campaign of aeroelectrical remote sensing observations was realized in 2014-2015 years on the observation ground of Geophysical observatory “Borok” [58<sup>0</sup>04’ N and 38<sup>0</sup>14’ E]. Observations were carried out in clean conditions with a low level of human-made electromagnetic disturbances and absence of industrial pollutions. Variations of electric field intensity, vertical electric current, polar atmospheric electric conductivities (formed by positive and negative atmospheric light ions), radon and thoron emanations were measured using our experimental setup. Aeroelectric observations were coupled with precision meteorological measurements in the lowest part of atmospheric layer over flat ground. The main goals of provided observations were investigations of lower atmosphere electrodynamic variables of spatio-temporal variability and statistical properties, turbulent aeroelectrical structures research and data bank of input parameters for electrical processes modelling in lower atmosphere. During observations diurnal variations of radon volume activity, atmospheric electrical conductivity and space charge density data were obtained. The influence of underlying surface type on surface layer of the atmosphere electrical characteristics was investigated. The unsteady electrodynamic model was developed. This model takes into account the turbulent transport of radioactive, aerosol and charged substances in heterogeneously stratified atmosphere.

## **FORMING A POPULATION-BASED RHYTHM IN RECURRENT NETWORKS OF SPIKING NEURONS WITH PLASTIC CONNECTIONS**

Bazhanova M.V., Esir P.M., Simonov A.Y.  
[arksinus-bmw@yandex.ru](mailto:arksinus-bmw@yandex.ru)  
National Research Nizhny Novgorod State University

In recent years, a growing interest in the study of neural network models with collective dynamics has been observed. One of the most general signal is an oscillatory activity in the range of 9-12 Hz, which is called the alpha rhythm or the mu –rhythm wave, and depending on the brain region. This work was devoted to research mechanisms underlying in formation of population oscillatory activity in the alpha rhythm band in the model of recurrent network with plastic connections between neurons. We used an Izhikevich neurons connected by synapses implementing which demonstrated the effect of short-term synaptic plasticity, the ability to change the signal transmission efficiency depending on the spike frequency of presynaptic neuron. Connections between the neurons were formed with a probability depending on the distance. The signals between the neurons spread with a finite rate velocity, thus the delays were proportional to the distance between the cells. All the neurons were in the excitable mode, i.e. they did not generate spikes in the absence of an

external signal. As an external signal the Poisson uncorrelated process with different average frequencies rate was used. The collective dynamics in a collective time-frequency domains was studied with wavelet transform and the Fourier transform. The regions of rhythmic activity existence were studied using the computation modeling simulations.

The work was supported by the Russian Science Foundation (proj. № 14-11-00693)

## **INFLUENCE OF PHOTON EMISSION ON RELATIVISTIC ELECTRON MOTION IN THE FIELD OF PLANE LINEARLY POLARIZED STANDING WAVE**

Bashinov A.V., Kim A.V., Sergeev A.M.

[abvk@inbox.ru](mailto:abvk@inbox.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

These days, much attention is being paid to the interaction of relativistically strong laser fields with matter, where radiation losses play an important role. The role cannot be reduced only to dissipation which leads to phase space contraction. It necessary to take into account that emission occurs randomly in the form of discrete photons that may randomize motion. As a consequence, the phase space volume may remain uncompressed and even increases in spite of dissipation.

In the present work, we investigate how quantum nature of photon emission can change electron motion and how it modifies radiation losses in plane linearly polarized standing wave for a wide amplitude range, paying particular attention to ART and NRT regimes. These investigations are important for the creation of compact gamma photon sources based on laser interaction with transparent plasma. Comparison of classic and quantum description of photon emission allows to understand deeper the reasons of difference in particle motion and radiated energy.

## **ILL-POSED INVERSE PROBLEM OF THE RETRIEVAL OF ATMOSPHERE VERTICAL PROFILES FROM THE DATA OF GROUND-BASED SCANNING SPECTRORADIOMETER**

Belikov M.V., Mukhin D.N., Kulikov M.Yu., Feigin A.M.

[belikovich@appl.sci-nnov.ru](mailto:belikovich@appl.sci-nnov.ru)

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences

This work is about the algorithms that treat ill-posed inverse problem of the retrieval of the atmospheric vertical profile from the data of ground-based microwave spectroradiometer. Several retrieval cases are considered: temperature profile at surface layer, temperature profile at the troposphere and ozone quantity at stratosphere. Every case corresponds to radiometry device developed by IAP RAS. Every problem has it peculiarities due to physics of the forward model or the properties of the device. Every algorithm is explained. Error analysis of the algorithms is conducted using real-device noise level values. The results of the algorithm is show on simulated data.

## ON THE POSSIBILITY OF MORE INFORMATIVE METHODS OF DETERMINING THE PARAMETERS OF THE SIGNAL / NOISE RATIO AT THE EXAMPLE OF PROPAGATION OF RADIO SHORT-WAVE RADIO WAVES

Belov S.Yu.<sup>1</sup>, Belova I.N.<sup>1,2</sup>

[Belov\\_Sergej@mail.ru](mailto:Belov_Sergej@mail.ru), [Belova\\_Ija@mail.ru](mailto:Belova_Ija@mail.ru)

<sup>1</sup>Physics Department, M. V. Lomonosov Moscow State University,

<sup>1,2</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences

The ionospheric echo (IE) signal/noise ratio  $\beta_k$  is of interest as the ionospheric plasma concentration measure of disturbance, as well as the communication (or diagnostic) channel characteristic. The paper presents the results of comparison of the measurement method from the point of view of their admissible relative analytical errors. The new method is suggested. The subscript  $k=E, R2, R4$  indicates the primary parameter recorded (E-quadrature, R-envelope of the IE), and the method used (E-coherent; R2, R4 - noncoherent). Usually in use: 1) the standard R2-method, where  $\beta_{R2} = f_{R2}(\alpha_{R2})$ ; 2) the coherent E-method,  $\beta_E = f_E(\alpha_E)$ . The paper presents the new R4-method, where  $\beta_{R4} = f_{R4}(\alpha_{R4})$ . Above  $\alpha_k$  are the values measured and  $f_k$  are the known functions. The comparative analysis of the normalized relative analytical errors  $\varepsilon_k^* = (1/\beta_k) df_k/d\alpha_k$  of the known methods and the new one was performed. It was shown that errors  $\varepsilon_E^*$  and  $\varepsilon_{R4}^*$  have the same order ( $\varepsilon_{R4}^* = 3/2 \varepsilon_E^*$ ) and both errors significantly exceed the error  $\varepsilon_{R2}^*$  in comparison with standard R2-method by measurement accuracy of  $\beta_k$ . As a result, it was found that sufficient  $\beta_k$  analytical measurement accuracy can be achieved when using an noncoherent apparatus using a new R4-method.

## THE CALCIUM DYNAMICS FEATEARS IN ASTROCYTE MODEL

Boldyreva N.

[BO-209@yandex.ru](mailto:BO-209@yandex.ru)

Nizhny Novgorod State University

The astrocytes represent a type of glial cells regulating oscillations of major signaling cells, e.g. neurons. Subservd by complex molecular mechanisms the astrocytes generate calcium auto-oscillations which, in turn, are associated with the release of neuroactive chemicals into extracellular space. At variance with classical astrocyte models the three-component model considered takes into account a regulation of calcium release due to nonlinear dynamics of inositol-1,4,5 trisphosphate (IP3). Stability of steady states, generation of regular and chaotic oscillations were studied using bifurcation analysis. In particular, it was found that nonlinear IP3 relaxation dynamics can lead to appearance of complex model in astrocyte dynamics including multistability and pulse oscillations of complex shape.

## MARGINAL CHIMERA STATE AT CROSS-FREQUENCY LOCKING OF PULSE-COUPLED NEURAL NETWORKS

Bolotov M.I.<sup>1</sup>, Osipov G.V.<sup>1</sup>, Pikovsky A.<sup>1,2</sup>

[BO-209@yandex.ru](mailto:BO-209@yandex.ru)

<sup>1</sup>Institute for Information Technology, Mathematics and Mechanics, Nizhny Novgorod State University

<sup>2</sup>Institute for Physics and Astronomy, University of Potsdam

We consider two coupled populations of leaky integrate-and-fire neurons. Depending on the coupling strength, mean fields generated by these populations can have incommensurate frequencies, or become frequency locked. In the observed 2:1 locked state neurons in one population are asynchronous with the mean fields, while in another populations they have the same frequency as the mean field. These synchronous neurons form a chimera state, where part of them build a fully synchronized cluster, while other remain scattered.

We explain this regime as a self-sustained marginal dynamics of the driven neurons: the corresponding stroboscopic one-dimensional map has a domain where this map is practically an identity. This marginality is possibly the only way to achieve a bistability in a one-dimensional map, as the period here must be independent of initial conditions.

### **COMPARISON OF METHODS FOR PHASE SYNCHRONIZATION DIAGNOSTICS FROM TEST DATA MODELING NONSTATIONARY SIGNALS OF BIOLOGICAL NATURE**

Borovkova E.I., Karavaev A.S., Ponomarenko V.I., Prokhorov M.D.

[rubanei@mail.ru](mailto:rubanei@mail.ru)

Saratov Branch of Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian  
Academy of Sciences

Three methods of phase synchronization diagnostics from time series are compared by the analysis of test data. These data reproduce the statistics of experimental temporal realizations recorded from the system of human cardiovascular system autonomic control. It is shown that the method based on piecewise linear approximation shows the best sensitivity among the compared methods.

### **NIZHNY NOVGOROD REGIONAL LIGHTNING DETECTION SYSTEM**

Bulatov A.A., Kuterin F.A., Shlyugaev Yu.V.

[AlexeyABulatov@yandex.ru](mailto:AlexeyABulatov@yandex.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

This paper describes a passive lightning detection network deployed in Nizhny Novgorod region during the convective season of 2014. The data collected during the season of 2014 was validated and the accuracy was analysed. The system was successfully put into operation and continuously monitors lightning activity in Nizhny Novgorod region and its vicinity. Further plans include expanding the coverage area, improving the accuracy of lightning positioning and developing algorithms for the determination of lightning discharge characteristics such as type, polarity and maximum current.

### **PROTON ACCELERATION EXPERIMENTS AT PETAWATT-LEVEL PEARL FACILITY**

Burdonov K.F., Soloviev A.A., Starodubtsev M.V.

[kfb.iap@gmail.com](mailto:kfb.iap@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

In this article we present the results of proton acceleration experiments in TNSA regime at femtosecond sub-petawatt level laser facility PEARL.

Laser pulse with  $\lambda_0 = 910$  nm,  $\tau \sim 60$  fs,  $E \leq 10$  J and  $D = 100$  mm was focused to the surface of thin metallic foil target with help of  $f/4.2$  parabolic mirror in the vacuum chamber. Target arranged at an angle of  $45^\circ$  to the incident radiation.

We used two different methods of energetic proton beams detection. First were the radiochromic films (RCF) assembled in a stack. Darkening of films by proton radiation allows restoring the energy and angular spectra of accelerated proton beams. Thomson parabola spectrometer in which accelerated particles deviate from its original path under the influence of collinear magnetic and electric fields, depending on speed and charge-mass ratio, also allowed to identify the variety and energy spectra of accelerated light positive ions.

Maximum energies of accelerated protons measured by the RCF-stack are in the range of 43.3 to 44.1 MeV. This is a world record for these laser parameters. Thomson parabola spectrometer registered the signs of accelerated with protons carbon ions  $C^{1+} - C^{6+}$  and oxygen ions  $O^{1+}$  and  $O^{6+}$ .

## HELICITY ESTIMATIONS IN THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER

Vazaeva N.V.<sup>1,2</sup>, Chkhetiani O.G.<sup>1,3</sup>, Maksimenkov L.O.<sup>1</sup>, Kurgansky M.V.<sup>1</sup>

[ifanataly@gmail.com](mailto:ifanataly@gmail.com)

<sup>1</sup>A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Space Research Institute, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

In this work the calculating of the helicity based on experiment data, the comparison with theoretic estimates, and research of the helicity applicability as diagnostic factor were carried out.

There is a good correlation between the integral helicity, obtained on ABL acoustic sounding experiment data (Kalmykia (2007), the Rostov region(2012) and Svalbard (2009)), with the square of the wind velocity on the higher sounding levels (400-800 m) in slightly unstable or neutral stratification conditions.

The mean value for the large-scale motions helicity density were obtained (0.3-0.4  $m/sec^2$ ). The helicity is appreciably higher during the nocturnal low-level jet events - up to 0.8  $m/sec^2$ . The layer average helicity in the ABL is closed to estimates of turbulent helicity (0.02-0.12  $m/sec^2$ ).

According to re-analysis data (ECMWF) for extratropical latitude of the Northern hemisphere in 2010 the global helicity fields in the ABL were investigated.

This study was supported by the Russian Science Foundation (projects №14-17-00124, №14-17-00806).

## NONLINEAR REGIMES OF PLASMA CYCLOTRON MASER IN NONEQUILIBRIUM PLASMA

Viktorov M.E., Golubev S.V., Gospodchikov E.D., Mansfeld D.A., Shalashov A.G.

[mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru](mailto:mikhail.viktorov@appl.sci-nnov.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

The results of a study of electromagnetic waves generation as result of the cyclotron instability development in the plasma, created and sustained by powerful gyrotron radiation in an open axially symmetric magnetic trap under electron cyclotron resonance condition (ECR discharge) are presented. The dynamic spectrum of electromagnetic radiation of

nonequilibrium plasma was studied in a wide range of frequencies with the use of modern experimental technics. Five different regimes of plasma cyclotron maser operation have been found at various stages of a discharge. We analyzed the quasi-linear stage of cyclotron instability development for different physical conditions implemented in the experiment. It is shown that instability regimes at various stages of a discharge can be described on the basis of the two-level maser equations. The report also discusses the relationship between dynamic regimes of the cyclotron instability observed in the laboratory plasma with similar events taking place in the inner magnetosphere of the Earth.

## **CONSTRUCTION OF MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR DYNAMICAL MODES OF SPACE-DISTRIBUTED SYSTEMS**

Gavrilov A., Mukhin D., Loskutov E., Feigin A.

[gavrilov@ipfran.ru](mailto:gavrilov@ipfran.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Empirical modeling approaches to investigation of complex systems require efficient methods of phase variables construction taking into account dynamical properties of the system. Recent study shows that nonlinear dynamical mode (NDM) expansion is able to solve this problem in climate data analysis [1].

A single NDM is logical extension of linear spatio-temporal structure: it is constructed as nonlinear transformation of hidden scalar signal to the space of observed variables. Both the hidden time series and the parameters of the transformation are learned simultaneously using Bayesian approach with dynamical prior requirement.

In this work the next step is made: hidden signal is assumed to be vector instead of scalar. Dimension of the hidden signal is optimized. The efficiency of the method is demonstrated on simple model examples and results of application to climate data are discussed.

The study is supported by Government of Russian Federation (agreement #14.Z50.31.0033 with the Institute of Applied Physics of RAS).

1. Mukhin, D., Gavrilov, A., Feigin, A., Loskutov, E., & Kurths, J. (2015). Principal nonlinear dynamical modes of climate variability. *Scientific Reports*, 5, 15510. <http://doi.org/10.1038/srep15510>

## **PECULIARITIES OF MAGNETIC FIELD GENERATION IN COLLISIONLESS SHOCK WAVES IN ASTROPHYSICAL PLASMA**

Garasev M.A., Derishev E.V.

[garasyov@gmail.com](mailto:garasyov@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

We present the results of numerical modeling of Weibel instability in the region upstream of the shock wave obtained with the use of PIC-code. We find out the dependence of the magnitudes and the spatial scales of the magnetic field in saturation on the thickness of the shock wave. Also, we have investigated how the rate of decay of the magnetic field depends on the parameters of shock wave. The application of obtained results to the relativistic shock waves arising during the afterglow of gamma-ray bursts is discussed.

## **NONLINEAR DYNAMICS OF THE FREE SURFACE OF DIELECTRIC LIQUID IN AN OBLIQUE ELECTRIC FIELD**

Gashkov M.A., Zubarev N.M., Kochurin E.A.

[gashkov@iep.uran.ru](mailto:gashkov@iep.uran.ru)

Institute of Electrophysics, UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The nonlinear dynamics of the free surface of an ideal dielectric liquid that is exposed to an external oblique electric field has been studied theoretically. In the framework of the Hamiltonian formalism, a system of nonlinear integro-differential equations has been derived that describes the dynamics of nonlinear waves in the small-angle approximation. It is established that for a liquid with high dielectric permittivity, these equations have a solution in the form of plane waves of arbitrary shape that propagate without distortion in the direction of the horizontal component of the external field.

## **THE ROLE OF SUPERREGULAR BREATHERS IN THE DEVELOPMENT OF MODULATION INSTABILITY**

Gelash A.A.

[agelash@gmail.com](mailto:agelash@gmail.com)

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

We discuss the recent progress in the theory of modulation instability in the frame of integrable nonlinear Schrodinger equation. We present our recent results of experimental observation of superregular breathers in hydrodynamics and optics experiments [1]. Also we discuss the role of superregular breathers in general scenario of modulation instability and present new results of many-soliton dynamics and new scenario of rogue waves formation from superregular breathers.

This work was supported by the Russian Science Foundation (Grant "Wave turbulence: theory, numerical simulation, experiment" No 14-22-00174).

[1] B. Kibler, A. Chabchoub, A. Gelash, N. Akhmediev and V.E. Zakharov. Superregular Breathers in Optics and Hydrodynamics: Omnipresent Modulation Instability beyond Simple Periodicity, *Physical Review X*, 5(4), 041026, 2015.

## **BEAM LOADING OF A BUBBLE IN A DEEP PLASMA CHANNEL**

Golovanov A.A.<sup>1,2</sup>, Kostyukov I.Yu.<sup>1,2</sup>, Thomas J.<sup>3</sup>, Pukhov A.M.<sup>2,3</sup>

[agolovanov@appl.sci-nnov.ru](mailto:agolovanov@appl.sci-nnov.ru)

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup>Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Deutschland

We develop an analytical model for beam loading in a bubble generated by a short laser pulse or a relativistic electron bunch in radially inhomogeneous plasma. The influence of a flat-top accelerated electron bunch on the bubble shape is described. The conversion efficiency from the fields of the bubble to the electrons is calculated and the optimal values of bunch charge and its position relative to the bubble that result in the efficiency of nearly 100% are derived. The bunch profile needed to produce a homogeneous accelerating field is also calculated. Our results are applied to deep plasma channels with various radial density

profiles, namely a profile with the power-law dependence on the radial coordinate and a step-like profile for a hollow channel. The model predictions are verified by 3D particle-in-cell simulations and are in good correspondence with them.

### **VORTEX-SOLITON FORMATION IN SWIRLING FLOW UNDER THE INFLUENCE OF AN ACOUSTIC FIELD**

Gorbunova A.O., Zavershinskii I.P.  
[anastasiia.gorbunova@s-5.ru](mailto:anastasiia.gorbunova@s-5.ru)  
Samara State Aerospace University

This work presents a mechanism of soliton structure formation of discharge in swirling flow. The experiment showed, that discharge at pulse modulation frequency close to the eigenfrequency of acoustic resonator led to the excitation of standing acoustic wave. In this case the discharge took the form of a plasma filament with a large single loop traveling in the main flow direction. Such formation of spiral structures is caused by a parametric amplification of bending modes with azimuthal wavenumbers  $m=+1$ ,  $m=-1$  due to the resonant three-wave interaction between the main acoustic mode and these two bending modes. By means of perturbation analysis it was shown, that in disturbed flow with such kind of resonance the deformed vortex line can turn into a helix, bounded by an envelope. The change in helix parameters, determined by the amplitude of acoustic field and the width of disturbance wave, lead to the transition of the helix to the filament with a single loop. The loop form of vortex-soliton and the way of its variation with parameters can be related to the Hashimoto soliton. The dependency of the soliton form and its estimated size are in good coincidence with experimental data.

### **FREQUENCY SELECTIVE MULTIMODE COUPLER BASED ON LATERALLY COUPLED MULTIFERROIC WAVEGUIDES**

Grachev A.A., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sheshukova S.E., Sharaevskii Yu.P.  
[stig133@gmail.com](mailto:stig133@gmail.com)  
Saratov State University

Modern progress in the investigation of the multilayered structures composed of ferrite and ferroelectric materials (multiferroics) lead to miniaturize passive microwave components. A number of linear and nonlinear devices (microwave phase shifters, filters, delay lines and resonators) can be fabricated using the multiferroic structures. The characteristics of such devices can be tuned using both the static magnetic and electric fields over a wide frequency range.

In this work we report the experimental and numerical investigations of spin-electromagnetic waves propagating in finite-width multiferroic waveguide. Numerical simulation was provided by the developed finite-element method (FEM) of electromagnetic eigenspectrum calculation. Experimental study of eigenmodes of laterally confined multiferroic was performed by using space-resolved Brillouin light scattering (BLS) spectroscopy. We show that the spatial distribution of magnetization of the width-modes in laterally confined multiferroic structure changes due to the electrodynamic coupling between the spin waves (SW) localized mainly in the finite-width ferrite layer and the electromagnetic waves propagating in the ferroelectric layer. The transformation of eigenmodes spatial distribution was demonstrated with the modes decomposition analysis. In particular,

transformation of spatial distribution of third width-mode leads to the localization of SW intensity in the center of finite-width waveguide.

### **MODEL OF ELECTRIC DYNAMO IN BOUNDARY LAYER**

Dementyeva S.O.

[svetadem91@mail.ru](mailto:svetadem91@mail.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

The theory of large-scale turbulent electric dynamo describing the conversion of kinetic energy into electric energy in a weakly conducting turbulent medium containing different types of particles is considered. We have found that in the case of the inductive mechanism the large-scale dynamo occurs with exponential growth of the electric field strength if the medium conductivity is low, while the electrification processes determined by the turbulence intensity and particle sizes are sufficiently strong. For the non-inductive mechanism we have found the conditions for the linear growth of electric field strength, this growth being caused by the additional term in the charging current equation, which is due to the intense charge fluctuations. One of the main ideas of this research is considering of the large-scale turbulent electric dynamo theory in a turbulent boundary layer. The result is development of the model, which demonstrates the conditions of the large-scale electric field generation and its peculiarities with different charge separation mechanisms.

### **THE PROCESS OF MASS TRANSFER BY AN ELECTRIC FIELD IN THE CASE OF QUASILINEAR EQUATIONS OF ELLIPTIC TYPE**

Dolgikh T.F., Zhukov M.Yu., Shiryeva E.V.

[dolgikh@sfedu.ru](mailto:dolgikh@sfedu.ru)

Southern Federal University

For systems of two quasilinear equations of elliptic type the numerically-analytical method is proposed. This method allows to transform the problem for equations in PDE's to the Cauchy problem for ODE's. We use a variant of the hodograph method which allows to obtain the analytical solution in implicit form. To transform the solution to an explicit form by we use integration of the Cauchy problem for ODE's for level lines of implicit solution. The method allows us to construct a multivalued solution. For example we solve the zonal electrophoresis equations with spatially periodic initial data. It is shown that the solution of the problem corresponds to the stationary cnoidal waves. The amplitude of these waves grows in time.

### **SUPERLUMINAL GENERATOR MICROWAVE PULSES GENERATION AND DETECTION**

Dolmatov T.V., Garnov S.V., Brendel V.M., Bukin V.V.

[timohodik@gmail.com](mailto:timohodik@gmail.com)

A.M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences

A FTL microwave pulse generator based on a parabolic vacuum photodiode configured as a photocathode of CuI copper iodide and a mesh anode was realized. Photodiode was charged by voltage pulses of amplitude up to 80 kV, and then discharged by ultrashort (less

than 20 ps) optical pulse with a wavelength of 193 nm, uniformly distributed over the surface of the photocathode by the mirror-diffuser. A layer of electrons emitted from the photocathode was accelerated by anode potential and at the time of passage through the mesh formed a dipole moving along the mesh with a velocity greater than the speed of light, thus generating an ultra-wideband pulse of microwave radiation. The resulting microwave pulse was registered via stripline antenna by an oscilloscope. The peak value of the electric field of generated microwave pulses was 50 kV / m at a distance of 3 meters from the transmitter. The width of the spectrum obtained in maximum of pulses at a level of 90% of the energy was 5 GHz (2 to 7 GHz) with a center frequency around 5 GHz. Also the spatial spectral distribution of the generator radiation is shown.

## **REACTIVE NITROGEN SOURCE BASED ON ECR DISCHARGE SUSTAINED BY GYROTRON RADIATION**

Dubinov I.D.

[Goshadub@gmail.com](mailto:Goshadub@gmail.com)

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences

A3B5 compounds have become very popular owing to their unique and promising properties. The most challenging among these compounds is indium nitride. The only way to grow InN is layer-by-layer deposition. This method needs a reactive nitrogen source. I describe features of reactive nitrogen source based on ECR discharge plasma, sustained by technological gyrotron radiation. Measurements of atomic nitrogen flux were conducted by mass-spectrometric analysis of the products of the reaction with nitrogen monoxide. Electron temperature and density was measured by Langmuir probe.

## **NUMERICAL MODELLING OF A VERTICAL TURBULENT JET IMPINGING ON A THERMOCLINE**

Ezhova E.V.

[eezhova@mech.kth.se](mailto:eezhova@mech.kth.se)

Linné FLOW Centre and SeRC (Swedish e-Science Research Centre),  
KTH Mechanics, Stockholm, Sweden

We study the behaviour of an axisymmetric vertical turbulent jet in an unconfined stratified environment by means of well-resolved large eddy simulations. The stratification is two uniform layers separated by a thermocline. We consider two cases: when the thermocline thickness is small and of the order of the jet diameter at the thermocline entrance.

The Froude number of the jet at the thermocline varies from 0.6 to 1.9 corresponding to the class of weak fountains. We quantify mean jet penetration, stratified turbulent entrainment, jet oscillations and the generation of internal waves. The mean jet penetration is predicted well by a simple model based on the conservation of the source energy in the thermocline. The entrainment flux for the thin thermocline is consistent with the theoretical model for a two-layer stratification with a sharp interface, while for the thick thermocline entrainment is larger at low Froude numbers. We report the presence of a secondary horizontal flow in the upper part of the thick thermocline, resulting in the entrainment of fluid from the thermocline rather than from the upper stratification layer.

The spectra of the jet oscillations in the thermocline display two peaks, at the same frequencies for both stratifications at fixed Froude number. For the thick thermocline, internal waves are generated only at the lower frequency, since the higher peak exceeds the maximal

buoyancy frequency. For the thin thermocline, conversely, the spectra of the internal waves show the two peaks at low Froude numbers, whereas only one peak at the lower frequency is observed at higher Froude numbers.

## **HIGH-ORDER HARMONIC GENERATION IN GASES DRIVEN BY MID-IR LASER SOURCES: THE EFFECT OF MAGNETIC FIELD OF THE PULSE ON THE SHAPE OF HARMONIC SPECTRUM**

Emelina A.S., Emelin M.Yu., Ryabikin M.Yu.

[emelin@ufp.appl.sci-nnov.ru](mailto:emelin@ufp.appl.sci-nnov.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

Recently created mid-IR laser sources open up new possibilities for high harmonics generation. With increasing laser wavelength, it is possible to expand the plateau in the spectrum of generated harmonics to keV region and to construct X-ray waveforms with the duration of 1 as and even shorter.

However, with increasing laser wavelength, the role of nondipole effects grows. The magnetic component of the Lorentz force is known to lead to the deflection of the electron trajectory from the straight path. As a result, it reduces the probability of electron recombination with the parent ion, thereby reducing the efficiency of optical frequency conversion into the X-ray range. With increasing laser wavelength, the above-mentioned effect increases due to the increase of both the electron velocity and the time interval of its free motion. That is why the nondipole effects are typically crucial for high harmonic generation driven by mid-IR laser sources.

In this contribution it is shown that the magnetic field of mid-IR laser pulse affects the shape of the spectrum of generated radiation. It is also demonstrated that the electron magnetic drift does not play a negative role only; in some cases it has a positive effect.

## **HIGH HARMONICS GENERATION IN GASES WITH TWO-COLOR CROSSED LASER FIELDS**

Emelina A.S.<sup>1</sup>, Emelin M.Yu.<sup>1</sup>, Strelkov V.V.<sup>2</sup>

[ana\\_b@rambler.ru](mailto:ana_b@rambler.ru)

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institution of Science A. M. Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences

Laser sources of mid-IR radiation open up new perspectives for the creation of compact sources of coherent X-ray radiation with photon energies of the order of several keV through the high harmonics generation (HHG) in gases. However, there are several factors that lead to a significant decrease in the efficiency of HHG with increasing laser wavelength. Thus, increasing the efficiency of the HHG with the mid-IR sources is an actual problem.

In this contribution it is shown that the efficiency of HHG can be significantly increased in case of two-color laser fields with crossed configuration. Our theoretical studies clarify the origin of the HHG enhancement in this configuration. In the two-color case the total field maximum is shifted so that all electrons detached near the field maximum return with high energies. Moreover, hence deflected in the orthogonal direction by the second field, the returning electronic wave-packets are large enough to recombine almost as efficient, as in the single-color case.

## **MODELLING OF KURAMOTO ENSEMBLE WITH ACTIVE WIRELESS NETWORKS**

Dmitriev A.S., Yemelyanov R.Yu., Chibisov V.V.

[chaos@cplire.ru](mailto:chaos@cplire.ru)

Kotel'nikov Institute of Radio-engineering and Electronics of RAS

Moscow Institute of Physics and Technology

The paper deals with a new multi-element processor platform for modelling the behaviour of interacting dynamical systems, i.e., active wireless network. Each dynamical system in the modelling process is associated with a node of an active network. Interaction between the dynamical systems is achieved by transmitting the state of the modelled dynamical system via radio channels between network nodes. Kuramoto model of coupled phase oscillators was chosen to demonstrate the capabilities of an active network by implementing various dynamical regimes of the model.

## **TRANSITIONS BETWEEN METASTABLE STATES IN ENSEMBLES OF BISTABLE NEURONS IN THE PRESENCE OF NOISE**

Esir P.M., Simonov A. Yu., Gordleeva S.Yu.

[esirpavel@gmail.com](mailto:esirpavel@gmail.com)

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

In this work dynamics of ensembles of coupled bistable Hodgkin-Huxley neurons was studied in the presence of noise and coupling delay. The neurons were distributed in a volume and had delays proportional to distance between them. We found, that durations of staying in the different stable states for big time scales have exponential statistics, while for small times scales the statistics obey power law function. When the noise was switched off the system switched to a stable state in which partial synchronization between set of neurons can be observed.

## **QED CASCADES AND $e^- e^+$ PLASMA DYNAMICS IN A MULTIPETAWATT CONVERGING E-DIPOLE LASER WAVE**

Efimenko E.S., Bashinov A.V., Gonoskov A.A., Muraviev A.A., Kim A.V., Sergeev A.M.

[evgeny.efimenko@gmail.com](mailto:evgeny.efimenko@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

To obtain extreme laser fields, the XCELS project proposes focusing 12 multipetawatt beams that can be modeled by a converging E-dipole wave. It is known that QED cascades initiated in the high field region may strongly influence electromagnetic field structures, thus limiting attainable laser intensities. In this work we discuss two regimes of QED cascades and pair plasma dynamics in the converging E-dipole wave. Firstly, we analyse the linear stage, when QED cascades develop in the given field structure, which is realised when the back reaction of the produced pair plasmas can be neglected. Secondly, by using supercomputer modeling we study in details plasma-field structures generated during the interaction of a converging E-dipole wave with a target, particularly their evolution at the transient stage towards the quasistationary regime.

## INVESTIGATION OF NONLINEAR MAGNETOACOUSTIC WAVE EVOLUTION IN HEAT-RELEASING PLASMA

Zavershinskiy D.I.<sup>1,2</sup>, Molevich N.E.<sup>1,2</sup>, Ryashchikov D.S.<sup>1,2</sup>

[dimanzav@mail.ru](mailto:dimanzav@mail.ru)

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute

The nonlinear wave dynamics in the active plasma with temperature and density dependent non-adiabatic processes is under investigation. Analysis is conducted by the use of modified full system of magnetohydrodynamic equations in the Cartesian coordinate system in order to take into account non-adiabatic process. It is considered that waves propagate along  $z$ -axis and magnetic field lies in  $x$ - $z$ -plane at an arbitrary angle to  $z$ -axis. The dissipation caused by the thermal conduction and finite electrical conduction is taken into account.

We obtain the nonlinear equation using the perturbation theory up to the second order of smallness values. The main feature of the obtained equation is the opportunity to describe the full spectrum of perturbations. Moreover, this equation can describe some stationary nonlinear structures which cannot exist in the equilibrium medium. The form, parameters and realization conditions of these structures are derived analytically. The most interesting solution has the form of shock autowave (self-sustained) pulse. Weak shock waves with amplitude below the threshold value disintegrate on the sequence of magnetoacoustic autowave pulses. The wave dynamics is investigated by the numerical modelling of obtained nonlinear equation and full system of magnetohydrodynamic equations. The form restoration of autowave pulse after interaction is shown numerically.

## NUMERICAL SIMULATION OF WHISTLER WAVES' PROPOGATION THROUGH PLASMA AREA WITH SMALL-SCALE DENSITY INHOMOGENITIES

Zudin I.Y., Aidakina N.A., Gushchin M.E., Korobkov S.V.

[zudiniy@appl.sci-nnov.ru](mailto:zudiniy@appl.sci-nnov.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

This report devoted to investigation of whistler waves' propagation through area of magnetized plasma with small-scale density irregularities extending along external magnetic field. Numerical study shows that area with irregularities is a waveguide for whistler waves. Like large-scale density ducts area with small scale density depletions can carry cone refraction waves. Inhomogenities with increased density can carry longitudinal whistlers.

## GENERATION OF HIGH PEAK POWER LASER PULSES WITH 1.25 $\mu\text{m}$ CENTRAL WAVELENGTH

Zuev A.S., Yakovlev I.V., Stepanov A.N., Shaykin A.A.

[Alan.zuev@yandex.ru](mailto:Alan.zuev@yandex.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod.

In the course of amplification of signal radiation, idle pulses with central wavelength of 1.25  $\mu\text{m}$  are generated in the last parametric stage of the laser system PEARL. Possible modifications of the system that allow compensating angular chirps of these pulses and compressing them to femtosecond duration are considered. The obtained short pulses may be used to generate high peak power terahertz radiation that has a number of promising

applications, such as spectroscopy of substances, study of the interaction of terahertz radiation with matter, and others.

### **MODELING OF THE DYNAMICS OF A DISPLACEMENT FRONT IN A POROUS MEDIUM UNDER VIBRATIONS USING BUCKLEY-LEVERETT MODEL**

Ivantsov A.O., Lyubimova T.P.

[aivantsov@icmm.ru](mailto:aivantsov@icmm.ru)

Institute of continuous media mechanics UB RAS

The modeling of the dynamics of displacement front and isolated liquid inclusion in a porous medium saturated with another liquid, under the influence of vibrations is carried out using Buckley-Leverett model. The functions of phase saturation are introduced for description of the multi-phase medium dynamics. The filtration process is described according to Darcy's law and the laws of mass conservation for each phase. It is assumed that the value of flow velocity in a pore for certain phase is linearly dependent on the saturation function of this phase. We obtained the data on front evolution in gravity for different ratios of fluids viscosity and density and found the parameters of vibrations that suppressed the instability at the forefront of the isolated inclusion in porous medium.

The work was supported by RSF (project № 14-21-00090).

### **ABOUT METHODS OF REMOTE DETECTION OF DISCRETE INHOMOGENITIES ON THE OCEAN FLOOR**

Ivashchenko E.N.

[en.ivashchenko@gmail.com](mailto:en.ivashchenko@gmail.com)

N. I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

The article studies the dependence of the average backscatter acoustic intensity on the discrete scatterer average size and the variance of the scatterer size distribution. Author also consider the influence of correlation in the mutual arrangement of particles and the inhomogeneity size distribution on the interference component of the average backscatter intensity which arises when taking into account the reflection from the bottom surface where the scatterers are located.

### **NONLINEAR REGIME OF OPERATION ON POWER CONCENTRATOR BASED ON IRREGULAR FERRITE WAVEGUIDE WITH LINEARLY CHANGED WIDTH**

Igangaliev A.N., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sharaevskii Yu.P., Nikitov S.A.

[igangaliev@mail.ru](mailto:igangaliev@mail.ru)

Saratov State University

Using the space-resolved Brillouin light scattering spectroscopy we study the linear and nonlinear regime of operation on power concentrator based on irregular ferrite waveguide with linearly changed width. We demonstrate the focusing of spin-wave in the tapered magnonic waveguide, formed from the yttrium iron garnet film. We show the control over spin-wave propagation characteristics by the variation of the value of bias magnetic field. Fabricated tapered magnonic waveguide can be used as a magnonic concentrator for signal processing applications.

## COHERENT ELECTRO-OPTIC SAMPLING OF TERAHERTZ WAVES BY FEMTOSECOND LASER PULSES WITH NON-GAUSSIAN SPECTRUM

Ilyakov E.<sup>1</sup>, Kitaeva G.Kh.<sup>2</sup>, Shishkin B.V.<sup>1</sup>, Akhmedzhanov R.A.<sup>1</sup>

[igor\\_ilyakov@mail.ru](mailto:igor_ilyakov@mail.ru)

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow

Electro-optic (EO) crystals are widely used for terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS) based on Pockels effect. Under this effect terahertz wave radiation (TWR) influence a polarization of femtosecond laser pulses that is used for terahertz waveform measurements. However, TWR in EO crystal can also influence energy and spectrum of the laser pulses. In the report, we present our recent theoretical and experimental study of new THz-TDS schemes based on the changes of the laser pulse spectrum. It is shown that under TWR impact in EO crystal energy and phase changes of the spectral components of the laser pulse differ at different frequencies and depend from the spectrum shape of the initial laser pulse. The use of the femtosecond pulse with special spectrum shape gives an ability to increase significantly their relative changes at certain optical frequencies and to improve the sensitivity of the coherent measurements of TWR.

## CHAOTIC DYNAMICS AND REVERSE IN NONHOLONOMIC SUSLOV TOP MODEL IN A GRAVITATIONAL FIELD

Kazakov A.O.

[kazakovdz@yandex.ru](mailto:kazakovdz@yandex.ru)

National Research University Higher School of Economics, Nizhny Novgorod

In this talk, we present some results on chaotic dynamics in the Suslov problem which describe the motion of a heavy rigid body with a fixed point, subject to a nonholonomic constraint, which is expressed by the condition that the projection of angular velocity onto the body-fixed axis is equal to zero. Depending on the system parameters, we find cases of regular (in particular, integrable) behavior and detect various attracting sets (including strange attractors) that are typical of dissipative systems. We construct a chart of regimes with regions characterizing chaotic and regular regimes depending on the degree of conservativeness. We examine in detail the effect of reversal, which was observed previously in the motion of rattlebacks.

## THE AXISYMMETRIC OSCILLATIONS OF A CYLINDRICAL BUBBLE WITH DYNAMICS OF A CONTACT LINE

Alabuzhev A.A.<sup>1,2</sup>, Kaysina M.I.<sup>2</sup>

[alabuzhev@icmm.ru](mailto:alabuzhev@icmm.ru)

<sup>1</sup>Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS (Perm, Russia)

<sup>2</sup>Perm State University (Perm, Russia)

We consider the eigen and forced axisymmetric oscillations of a cylindrical gas bubble surrounded by an incompressible fluid with free deformable interface. The bubble has a cylindrical shape in equilibrium and is bounded axially by two parallel solid surfaces. Dynamics of contact line is taken into account by an effective boundary condition: velocity of the contact line is assumed to be proportional to deviation of the contact angle from the equilibrium value. The equilibrium contact angle is right. Depending on the eigen frequency and damping rates of the parameters of the problem are investigated. It has been found that

for the main even mode of eigen oscillations (which describes the radial compression of the bubble) the frequency of eigen oscillations can vanish in some interval of Hocking parameter. The length of this interval increases with increasing ratio of the equilibrium bubble radius to the height. The existence of «anti-resonance» frequencies is demonstrated, i.e. there are the values of external frequencies when the bubble interface does not deviate from the equilibrium value.

## **NONLINEAR EVOLUTION OF SYNCHRONOUS PERTURBATIONS IN ELECTROCONVECTIVE SYSTEMS**

Kartavykh N.N.  
[kartavykh@psu.ru](mailto:kartavykh@psu.ru)  
Perm State University

The nonlinear dynamics of a poorly conducting fluid in a horizontal capacitor under harmonic external electric field is investigated using the generalized Lorentz low mode model. The electroconductive mechanism of instability associated with the dependence of the electrical conductivity on temperature is considered. The finite relaxation time of the charge is taken into account. Numerical simulation is carried out for the parameters of such poorly conducting fluids as the capacitor and transformer oils.

The nonlinear evolution of synchronous perturbations is studied. The spectral composition of the response of the dynamic system is found using a fast Fourier transform. Mode properties is analyzed using obtained data on evolution of flow function, temperature and charge fields. The map of modes of electroconvection in the poorly conducting fluid under an alternating harmonic electric field is built. It is shown that subharmonic response is absent at the boundary of the instability region.

## **NEW COMPACT EQUATION FOR SIMULATION OF SURFACE GRAVITY WAVES IN EXPERIMENTAL CONDITIONS**

Kachulin D.I.  
[d.kachulin@gmail.com](mailto:d.kachulin@gmail.com)  
Novosibirsk State University

Considering surface gravity waves which propagate in same direction we applied canonical transformation to a water wave equation and drastically simplify the Hamiltonian. After this transformation, corresponding equation of motion is written in x-space in a compact form. This new equation is suitable for analytical studies and numerical simulations. We observed the freak wave formation in numerical simulations of sea surface waving in the framework of new equation.

## **THE FORCED OSCILLATIONS OF “SANDWICH” DROP UNDER THE INFLUENCE OF A NONUNIFORM ALTERNATING ELECTRIC FIELD**

Alabuzhev A.A.<sup>1,2</sup>, Kashina M.A.<sup>2</sup>  
[ya.kashina-marina@yandex.ru](mailto:ya.kashina-marina@yandex.ru)

<sup>1</sup>Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS (Perm, Russia)

<sup>2</sup>Perm State University (Perm, Russia)

The forced oscillations of “sandwich” fluid drop under the alternating non-uniform electric field are considered. In equilibrium, the drop has the form of a circle cylinder bounded axially parallel solid planes. The equilibrium contact angle between the lateral surface of drop and the solid plane is right. The drop is surrounded by an incompressible fluid with another density. The external electric field acts as an external force that causes motion of the contact line. The dynamics of contact line describes by the modified Hocking boundary condition: the contact line velocity is proportional to the speed of the fast relaxation processes and the deviation of the contact angle, which frequency is proportional to twice the frequency of the electric field. It is shown that under weak nonuniform electric field the translational mode is excited. In the case of strong nonuniform electric field the some azimuthal modes are excited.

### **SAW-TOOTH ACOUSTIC WAVES IN MEDIA WITH A SATURATION OF HYSTERETIC LOSSES**

Kiyashko S.B., Nazarov V.E.

[sergei-kiyashko@mail.ru](mailto:sergei-kiyashko@mail.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

On the basis of experimental data of the study of amplitude-dependent internal friction phenomena in polycrystalline solids the inelastic hysteretic state equation with a saturation of nonlinear losses is proposed. Theoretical analysis of the periodical saw-tooth acoustic waves propagation in such media is carried out. Analytical exact solution for nonlinear equation describing the evolution and propagation of these waves has been obtained. The regularities (amplitude dependent losses and changes in the propagation velocity) are determined for the characteristics of nonlinear wave and its higher harmonic amplitudes. The graphical analysis of form of the wave and evolution of its spectral components is carried out.

### **MODELING OF THE IMMOBILIZATION PROCESS BY THE RANDOM WALKS METHOD**

Klimenko L.S., Maryshev B.S.

[lyudmilaklimenko@gmail.com](mailto:lyudmilaklimenko@gmail.com), [bmaryshev@mail.ru](mailto:bmaryshev@mail.ru)

Institute of continuous media mechanics UB RAS, Perm state university

The work is dedicated to the development of a macroscopic model describing the blockage dynamics and aggregate structure in microchannel for arbitrary values of the initial impurity concentration. The main and most common cause of clogged filters is the sorption of impurity particles by microchannel walls or adsorption. We investigated the drift of solid particles in the microchannel filled by viscous liquid. The fluid motion inside the microchannel is generated by the constant pressure drop between the inlet and the outlet. At the beginning inside the channel the Poiseuille flow occurred. The initial particles location at the channel inlet was specified randomly in time and space. The modeling of particles interaction with the liquid flow was made using the Stokes approximation. In addition, the model takes into account the random collisions induced by diffusion. The problem is solved numerically using the random walk model. As a result the evolution of the liquid flow during blockage dynamics was obtained. The estimation of the time for channel blockage was made.

### **MULTISTABLE JITTERING IN OSCILLATORS WITH PULSE DELAYED FEEDBACK**

Klinshov V.V.  
[vladimir.klinshov@ipfran.ru](mailto:vladimir.klinshov@ipfran.ru)  
Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

The dynamics of an oscillator with pulse delayed feedback are studied. When the output of the oscillator exceeds the threshold a pulse is sent to the delay line which arrives to the input of the oscillator after some delay. The base regime of the system is periodic emission of pulses with a period close to the native one of the oscillator. A new mechanism of destabilization of this regular regime is discovered accompanied with the emergence of complex irregular oscillations. The emergent regimes are characterized by non-equal inter-spike intervals, which led us to call them “jittering” regimes. Stable jittering regimes were observed consisting of short and long inter-spike intervals which constitute a periodical binary sequence. Theoretically and experimentally is shown that for each periodical binary sequence there exists a parameter domain where the corresponding jittering regime is stable. The developed theory allows to find these areas, and the experimental results for electronic analog-digital circuits corroborate the theoretical predictions. High multistability of the jittering regimes is demonstrated, the number of the coexisting regimes grows exponentially with the delay. This feature led us to adopt the name “multi-jitter bifurcation” for the discovered scenario. The obtained results are applicable for oscillators of an arbitrary nature and provide an easy criterion to predict the emergence of the multi-jitter instability.

1. Klishov, V. et al // Physical Review Letters. 2015. 114(17). P. 178103.
2. Klishov, V. et al // Physical Review E. 2015. 92(4). P. 042914.

## **LASER ION ACCELERATION AS A UNIQUE TOOL FOR HIGH ENERGY DENSITY PHYSICS**

Korzhimanov A.V.  
[kav@ufp.appl.sci-nnov.ru](mailto:kav@ufp.appl.sci-nnov.ru)  
Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

It is shown that current high power lasers are able to generate ion bunches capable to rapidly heat solid matter to the temperatures as high as hundreds electron-volts. These temperatures are unattainable by convenient ion sources neither existed nor planned to be built in near future. A self-consistent model of ion stopping in matter in case of ultra-high bunch current densities is proposed. The model accounts for elementary acts of ionization and ion-electron scattering as well as for collective dynamics due to interaction with plasma produced by the bunch itself.

## **EFFICIENCY OF GRANGER CAUSALITY METHOD WHEN USING POLYNOMIAL AND LOCAL LINEAR APPROXIMATING FUNCTIONS**

Kornilov M.V., Sysoev I.V.

[kornilovmv@gmail.com](mailto:kornilovmv@gmail.com)

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya str., Saratov  
Saratov Branch of Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian  
Academy of Sciences, 38, Zelyonaya street

In this paper the efficiency of Granger causality method, applied for task of identification of unidirectional coupling, is investigated on etalon dynamical models using two different types of approximating functions: polynomials and local linear functions.

## **NEW METHOD OF SINGLE-MODE GENERATION CONTROL IN THE Q-SWITCH LASERS**

Korobeynikova A., Burdonov K., Shaykin A., Khazanov E.

[nastya.k2594@gmail.com](mailto:nastya.k2594@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Frequency pulsed solid-state laser generator with a Q-switch is one of the elements of the subpetawatt laser complex PEARL, which is based on the parametrical chirped-pulse amplification (OPCPA). The generator is used for parametrical amplifier pumping.

One of the requirements is a single-mode generation. The instability of the cavity optical length leads to parasitic generation of the nearby longitudinal mode. In the case of simultaneous generation of two laser pulses at similar frequencies interference occurs, leading to the pulse time profile modulation and increasing of the peak intensity several times. This regime of generation may become the cause of destruction of the optical elements of the laser. Consequently, an important task is to suppress the two-frequency generation. In this work, we propose a new method for diagnostic and suppression of two-mode generation.

## **NUMERICAL SIMULATION OF DEVELOPMENT OF BURSIAIN INSTABILITY IN RELATIVISTIC ELECTRON FLOW IN EXTERNAL MAGNETIC FIELD WITH THE HELP OF CST PARTICLE STUDIO**

Koronovskii A.A., Badarin A.A., Kurkin S.A., Hramov A.E.

[alexander.koronovskiy@gmail.com](mailto:alexander.koronovskiy@gmail.com)

Saratov State University  
Saratov State Technical University

In this paper we investigate the interaction of bursian and diokotron instabilities. The interaction of these instabilities leads to an appearance of virtual cathode with complex structure and several areas of reflection (electron clusters) in azimuthal direction, which rotate around the drift space axis and form a vortex structure in the span space. The control parameters of system (current beam, induction of external magnetic field) determine the number of electron clusters, which rotate in azimuthal direction of electron clusters in relativistic electron beam, with the number of electron clusters increasing with the growth of the value of current beam.

This work has been supported by the Russian Science Foundation (Grant No. 14-12-00222).

## SEQUENTIAL AND CHAOTIC DYNAMICS IN THE MOTIF OF EXCITATORY COUPLED ELEMENTS

Korotkov A.G.

[koral81@bk.ru](mailto:koral81@bk.ru)

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

In this work a new model of motif (small ensemble) of neuron-like elements is proposed. It is built with the use of the generalized Lotka–Volterra model with excitatory couplings. The main motivation for this work comes from the problems of neuroscience where excitatory couplings are proved to be the predominant type of interaction between neurons of the brain. In this paper it is shown that there are two modes depending on the type of coupling between the elements: the mode with a stable heteroclinic cycle and the mode with a stable limit cycle. Our second goal is to examine the chaotic dynamics of the generalized three-dimensional Lotka–Volterra model.

## STABILITY ANALYSIS OF RICH HYDROGEN-AIR LAMINAR FLAMES IN A MODEL WITH DETAILED KINETIC MECHANISM

Korsakova A.I.<sup>1,2</sup>, Gubernov V.V.<sup>1</sup>

[korsakova@lpi.ru](mailto:korsakova@lpi.ru)

<sup>1</sup>P.N. Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences,

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

The diffusive-thermal stability of combustion waves in rich hydrogen-air mixtures is investigated in a model with detailed kinetic mechanism and detailed transport in an isobaric approach. The mathematical problem is a system of nonlinear partial differential equations for temperature and mass species that is solved numerically with finite-difference method. While pressure is increased the Andronov-Hopf bifurcation occurs. In a parameter space Hopf frequency and critical pressure is found. Different kinetic mechanisms of hydrogen oxidation are used, it is demonstrated that stability boundary differs significantly depending on mechanism choice.

The sensitivity of that parameters on mechanism choice shows that finding of these parameters experimentally offers a new way for the verification of kinetic mechanisms. It is demonstrated that Andronov-Hopf bifurcation is supercritical and as a result of that bifurcation pulsating combustion waves occur. The properties of given solutions are investigated, it is shown that pulsating combustion waves are propagating averagely with a constant velocity but reagents mass species profiles is a periodic function of the time. Temperature oscillations amplitude depends on supercritical parameter as a root law. As well the cross-diffusion influence on the onset of diffusional-thermal instability is investigated.

## COMPRESSION OF HIGH-POWER FEMTOSECOND LASER PULSES AFTER SPM IN PLASTIC (POLYETHYLENE TERAPHTHALATE)

Kochetkov A.A., Ginzburg V.N., Zuev A.S.

[antkoch2012@gmail.com](mailto:antkoch2012@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

High-power femtosecond laser pulses can be compressed after SPM. Industrially-produced material plastic (polyethylene terephthalate) can be use as non-linear medium for

this method. It has shown good linear and non-linear qualities. We have measured dispersion coefficient and found optimal phase correction for the system PEARL-10. Laser pulse compression up to two times with one plate of plastic and six chirp mirror reflections has been demonstrated.

## **SPONTANEOUS FORMATION OF SQUARE OPTICAL VORTEX LATTICE IN THE BROAD-AREA LASER MODEL**

Krents A.A.<sup>1,2</sup>, Anchikov D.A.<sup>1</sup>, Pakhomov A.V.<sup>1,2</sup>

[krenz86mailu.ru](mailto:krenz86mailu.ru)

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

In this paper, we study the square optical vortex lattice (SVL) formation in a broad-area single-mode homogeneously broadened two-level ring laser. The transversely extended two-level laser system used for investigation is described by the Maxwell–Bloch equations, in which transverse coupling through diffraction of the electric field in the cavity is included. This model when spatially constrained is isomorphic to the Lorenz system, so it is referred to as the Lorenz–Haken laser. We study the formation of SVL both analytically and numerically. The nonlinear SVL solution is obtained analytically for arbitrary values of the pump parameter. The split step Fourier method is used for numerical simulation of the Maxwell–Bloch equations. The correctness of the analytically obtained SVL solution is demonstrated. The SVL is stationary for the near threshold pump parameter. The SVL becomes unstable if the pump parameter is increased. In this case, the motion of vortices around equilibrium points is observed. The frequency of vortex vibrations is calculated. Also, we obtain the necessary condition for the existence of SVL vibrations.

## **X-RAY LOOPS IN THE CORONA OF THE RED DWARF AD LEO**

Kronshtadtov P.V.

[KronshtadtovPavel@yandex.ru](mailto:KronshtadtovPavel@yandex.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Possible origin of the long lasting soft X-ray flares on the AD Leo, observed by the Extreme Ultraviolet Explorer (EUVE) spacecraft for the period of 1993-2000 [Mullan et al., 2006], is investigated. These flares have the relatively large time of the intensity growth and decay ( and , respectively), as well as the relatively big value of emission measure , which exceeds in 1-3 orders of magnitude the emission measure of soft X-ray flares on the Sun. This report is devoted to plasma heating due to the electric current dissipation in the coronal magnetic loops of the star, induced by the photospheric convection. The large inductance of the loop as an equivalent electric circuit determines the great time of the current increase in the source and explains the observed time of plasma heating as well as the time of the X-ray intensity growth. It is shown that the properties of the X-ray sources in the AD Leo atmosphere can be understood under the assumption about simultaneous “work” of a great number of loops ( ) with electric current , which exceeds the electric currents in the solar coronal magnetic loops in 1-3 orders of magnitude. Such an excess can be associated with the greater values of the photospheric convection velocity on the late-type stars compared with the Sun.

This research was supported by RFBR grant № 14-02-00133.

## **MODELS OF DISTRIBUTED SYSTEMS WITH ATTRACTOR OF SMALE-WILLIAMS TYPE**

Kruglov V.P.

[kruglovyacheslav@gmail.com](mailto:kruglovyacheslav@gmail.com)

Saratov State University,

The Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Saratov Branch

Three models of distributed systems with Smale-Williams attractor are introduced. Models are described by partial differential equations with periodic boundary conditions. The first system is autonomous and based on a modified Swift-Hohenberg equation. The second system is modified non-autonomous Brusselator model. The third system is a string with parametrically pumped standing waves. Finite-dimensional models were derived from distributed systems that describe the most important spatial harmonics. The distributed and reduced systems were studied numerically. Portraits of attractors in Poincaré cross-section and iterational diagrams for phases were obtained. Lyapunov exponents were calculated. Distributions of angles between stable and unstable manifolds of attractors for finite-dimensional models were evaluated. Obtained results suggest the existence of attractor of Smale-Williams type in the proposed systems.

## **INFLUENCE OF HIDDEN THIRD PROCESS ON QUANTITATIVE ESTIMATES OF DIRECTIONAL COUPLINGS BETWEEN OSCILLATORS**

Krylov S.N.<sup>1,2</sup>, Smirnov D.A.<sup>2</sup>, Bezruchko B.P.<sup>1,2</sup>

[krylov.sn@nxt.ru](mailto:krylov.sn@nxt.ru)

<sup>1</sup>Saratov State University

<sup>2</sup>Saratov Branch of V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS

Quantification of directional couplings between oscillating systems from time series is important in a variety of applications including problems of geophysics and neurophysiology. The normalized improved prognosis (PI) from “Granger causality” is often used and considered as an estimation of the impact force. Nonzero PI in both directions is often considered a sign of bidirectional link, although some false conclusions are possible, e.g. in the case of a hidden third process. In such cases it's important to take into account a priori information on the availability and the dynamics of such system.

We propose a practically useful approach to find out how the numerical values of PI in wrong direction depends on the physical parameters of the systems observed and the hidden one using fairly simple and broad class of oscillatory systems.

The effect of false couplings may be strong enough even with moderate cross-correlation of the observed signals. The effect takes place in a certain range of values of the third process impact force. It's width increases with the relaxation time of a hidden process.

Our results are useful as an indicator of the need to consider the influence of a hidden third process in practical cases.

## **INVESTIGATION OF MECHANISMS OF LOCALIZED STATIONARY AND OSCILLATING STRUCTURES FORMATION IN NONLINEAR DISSIPATIVE SYSTEMS**

Kuznetsov M.B., Polezhaev A.A.

[kuznetsovmb@mail.ru](mailto:kuznetsovmb@mail.ru)

Spatio-temporal structures arising in systems, which are far from thermodynamic equilibrium, are widely-spread in nature. The majority of the observed patterns occupy the entire space of the system, while localized patterns, stationary structures, oscillating ones – the oscillons, and localized waves, are rather an exception. Localized structures are found in a variety of physical systems as well as in the BZ-reaction taking place in the reversed water-in-oil microemulsion of Aerosol OT [1].

We demonstrate that in the reaction-diffusion system close to the subcritical Turing bifurcation the formation of localized stationary structures can take place due to strong rigid local excitation. When the parameters approach bifurcation values the arising patterns are no longer localized and in the course of time occupy the entire modelling region. Under the variation of parameters different types of structures are observed – dotted aggregates, quasi-one-dimensional labyrinthine structures, and various transitional regimes as well.

We suggest a new formal model description of oscillons formation through the parametric influence of localized stationary structures arising in the first system on the second system being in potentially oscillating state.

1. Vanag V. K., Epstein I. R. Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 92 (12). 128301.

### **COUPLINGS IN ENSEMBLES OF TIME-DELAY SYSTEMS FROM EXPERIMENTAL DATA**

Kulminskiy D.D.<sup>1,2</sup>, Sysoev I.V.<sup>2</sup>, Karavaev A.S.<sup>1,2</sup>, Ponomarenko V.I.<sup>1,2</sup>, Prokhorov M.D.<sup>1</sup>  
[kulminskydd@gmail.com](mailto:kulminskydd@gmail.com)

<sup>1</sup>Saratov Branch of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Saratov State University

We have proposed a method to recover the parameters of elements and architecture of couplings in ensembles of coupled time-delay systems from their time series. The method is based on the minimization of the objective function characterizing the distance between the points of the recovered nonlinear function ordered with respect to abscissa. The proposed method can be applied to ensembles composed of nonidentical elements with an arbitrary number of unidirectional and bidirectional couplings. We test our method by applying it to time series produced by model equations of ensembles of coupled time-delay systems in the presence of noise and experimental time series of ensembles of electronic delayed feedback oscillators with different types of coupling.

### **INVESTIGATION OF INTERMITTENT BEHAVIOR CHARACTERISTICS OF KURAMOTO OSCILLATORS' NETWORK IN SYNCHRONOUS REGIME DESTRUCTION**

Koronovskii A.A.<sup>1,2</sup>, Kurovskaya M.K.<sup>1</sup>, Hramov A.E.<sup>1,2</sup>  
[mariakurovskaya@gmail.com](mailto:mariakurovskaya@gmail.com)

<sup>1</sup>Saratov State University,

<sup>2</sup>Saratov State Technical University

In the present work the peculiarities of the dynamics of Kuramoto oscillators' ensemble in synchronous regime destruction have been studied numerically. The procedure of

synchronous clusters extraction allowing the detection of numbers of oscillators synchronized with each other has been developed. Using this procedure the dependence of the size of maximal cluster on coupling parameter value has been obtained for different types of network topology (random graph, small-world, scale-free) and different numbers of oscillators in ensemble.

An influence of character and intensity of coupling fluctuation between the elements of an ensemble on the size and structural stability of synchronous clusters has been investigated. The dependence of the average laminar phase length on the criticality parameter has been obtained with the presence of noise and without it, which allows finding out peculiarities of the coupling parameter fluctuation influence on intermittent behavior appearing in synchronous regime destruction in the ensemble of Kuramoto oscillators with a complex topology of relations.

### **ABOUT EFFICIENCY OF VERTICAL ANTENNA ARRAYS IN THE UNDERWATER SOUND CHANNEL**

Labutina M.S.

[labutya@mail.ru](mailto:labutya@mail.ru)

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

In this paper the spatial coherence function of acoustical signal is simulated in the vertical plane of the inhomogeneous underwater sound channel using the mode approximation. It is showed its dependence on basic physical factors of signal propagation in inhomogeneous oceanic waveguides, such as the amount of energy carriers modes and values of mode amplitude correlation for a specific distance.

### **RAMAN SELF-COMPRESSION OF LASER PULSES IN PLASMA**

Levin D.S.

[levdmit@gmail.com](mailto:levdmit@gmail.com)

Nizhny Novgorod State University by name of N.I. Lobachevsky (UNN)

In this work Raman compression with plasma wave-breaking is considered in terms of hydrodynamic description. Like in the classical description, monochromatic approximation for laser pulses and plasma oscillations, as well as non-relativistic limit are used.

Plasma oscillations in this work are described by two waves: of density and velocity. Similar waves with double frequency were introduced to the form of a solution. Equations for the amplitude of plasma oscillations with cubic nonlinearity, which can lead to a phase shift, have been obtained.

In this paper, the assumption of a non-linear media response, leading to an effective breaking of the three-wave synchronism and shortening of the output laser pulse, has been checked with the help of numerical simulation.

As a result, the forms of pulses at different values of parameters were obtained, as well as the dependence of the maximum output pulse intensity and efficiency of its generation on the plasma frequency.

This work may be useful for determining the optimal parameters of the plasma in the generation of powerful and short laser pulses.

### **DEPENDENCE OF THE REGRESSION COEFFICIENT BETWEEN INTERPLANETARY AND MAGNETOSPHERIC FIELD BY SELECTION**

## CRITERIA OF DATABASE

Lukin A.S., Petrukovich A.A.  
[apetruko@iki.rssi.ru](mailto:apetruko@iki.rssi.ru)  
Space Research Institute, Moscow

The azimuthal component  $B_y$  of the magnetic field in the magnetotail (in the direction of east-west) is mainly determined by a similar component of the interplanetary magnetic field and the dynamics of the magnetosphere. According to the observations of the project Geotail 1995-2005 formed the database, which allows to analyze the impact of various factors on the field dependence of the magnetospheric  $B_{ym}$  and interplanetary  $B_{yi}$ . The coefficient of regression between  $B_{yi}$  and  $B_{ym}$  is shown to be depended on the conditions for selecting a set of data for analysis. Set composed only intersections satellite equatorial plane of the magnetic observations, comprises more measurements made in a magnetized period (at the southern interplanetary field) when the configuration of the tail is constantly changing. Set consisting of long crossings satellite plasma layer (equatorial zone) includes more measurements made in the period of magnetic activity. As a result, reporting the regression coefficient is significantly different for the two sets of data, which is associated with the presence of some gain to the magnetically  $B_{ym}$  time.

## INFLUENCE OF THE WAVEFRONT SAG ON THE FILAMENTATION OF FOCUSED NEAR-IR FEMTOSECOND LASER PULSE IN CONDENSED MATTER

Mareev E.I., Potemkin F.V., Gordienko V.M.  
[mareev.evgeniy@physics.msu.ru](mailto:mareev.evgeniy@physics.msu.ru)  
Faculty of Physics and International Laser Center M.V. Lomonosov Moscow State University

We report the influence of the wavefront sag on the filamentation of powerful near-IR femtosecond laser pulse focused in condensed matter. When the laser beam waist is located in air the efficiency of incoming energy transformation to supercontinuum radiation overcomes one, when laser beam waist is located inside the sample. The effect becomes stronger in the case of small energies and tight focusing of the laser beam.

## PUMP NOISE INFLUENCE ON THE ENTANGLEMENT GENERATION PROCESS IN THE SYSTEM OF PARAMETRICALLY COUPLED QUANTUM OSCILLATORS

Martynov V.O.  
[votolm@gmail.com](mailto:votolm@gmail.com)  
Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences

A system of two parametrically coupled oscillators with a partially coherent pumping is considered. This system is an example of open systems discussed in the recent literature as a source of long-living entangled states. Existence of entangled states with an infinite lifetime is demonstrated in the case of coherent pumping and certain parameters. We obtained that noise in the pump results in the finite lifetime of entanglement. The dependence of the lifetime of entanglement on the amplitude of the parametric pump, the ambient temperature and the spectral width of the pump noise is discussed.

## **THE STABILITY OF VERTICAL MIXTURE PRESSURE FLOW INTO POROUS MEDIA WITH PORE BLOCKAGE**

Maryshev B.S.

[bmaryshev@mail.ru](mailto:bmaryshev@mail.ru)

Department of Theoretical Physics, Perm State University, ICMM, Institute of Continuous Media Mechanics, Russian Academy of Science, Ural Branch

The considered problem is the stability of slow vertical pressure flow of mixture into the vertical porous filter with taking into account the pore blockage effect. This filtration generates the transition layer between pure fluid and mixture because of the diffusion phenomena. The depth of this layer increases with time. When this depth reaches the critical value, the flow becomes unstable and the Rayleigh-Taylor fingering instability is observed. The solute transport in porous media is complicated by the immobilization of solute. The immobilization slows down the diffusion process and the porosity of media decreases because of clogging of media by the immobilized solute particles. These two effects lead to increase in the critical time which is needed to form unstable transition layer.

The work is devoted to obtaining the solution which is described the slow vertical seepage of mixture and to solving the stability problem of such solution. The instability conditions are investigated. The neutral curves, critical times and stability maps are obtained.

## **NONLINEAR DISPERSION CHARACTERISTICS OF HYBRID SPIN-ELECTROMAGNETIC WAVES IN BILAYERED MULTIFERROICS**

Matveev O.V., Morozova M.A.

[olvmatveev@gmail.com](mailto:olvmatveev@gmail.com)

Saratov State University

This report presents the mathematical model for investigating of dispersion characteristics of hybrid spin-electromagnetic waves (HSEW) in two types of structures: ferromagnetic film – ferroelectric slab (FF-FE) and magnonic crystal – ferroelectric slab (MC - FE). This model accounts nonlinear dependence of the dispersion from input power. Magnetic nonlinearity was considered as nonlinear dependence of magnetic moments from magnetization of ferromagnetic film. Electric nonlinearity was represented on nonlinear dependence of permittivity from external electric field. Nonlinear properties of FF and FE significantly effect on dispersion of HSEW: band gaps shift, its position changes. Investigated structures MC-FE and FF-FE can be interested for development of tunable microwave filters with double electric and magnetic control. Taking into account nonlinear phenomena allows specify characteristics such devices if they operate with high power signals.

## **ESTIMATION OF LARGEST LYAPUNOV EXPONENT FROM EEG OF RATS – GENETIC MODELS OF ABSENCE EPILEPSY**

Medvedeva T.M.<sup>1</sup>, Luttjohann A.<sup>2</sup>, Luijtelaar G.<sup>3</sup>, Sysoev I.V.<sup>1</sup>

[golovatanya@rambler.ru](mailto:golovatanya@rambler.ru)

<sup>1</sup>Saratov State University, Saratov, Russia.

<sup>2</sup>University of Münster, Germany

<sup>3</sup>Radboud University Nijmegen, Netherlands

Absence seizures are known to be highly non-linear large amplitude oscillations with a well pronounced main time scale. Whilst the appearance of the main frequency is usually considered as a transition from noisy complex dynamics of baseline EEG to more regular absence activity, the dynamical properties of this type of epileptiform activity in genetic absence models was not studied precisely.

The estimation of the largest Lyapunov exponent from intracranial EEGs of 10 WAG/Rij rats (genetic model of absence epilepsy) was performed. Fragments of 10 seizures and 10 episodes of on-going EEG each of 4s length were used for each animal, 3 cortical and 2 thalamic channels were analysed. The positive values of the largest Lyapunov exponent were found both for baseline and spike wave discharges (SWDs), with values for SWDs being significantly less than for on-going activity.

## **CONTROL OF THE PHOTOELECTRON DYNAMICS FOR THE EFFICIENT CONVERSION OF SHORT-PULSE, TWO-COLOR OPTICAL RADIATION INTO X-RAYS**

Meshkov O.V.<sup>1,2</sup>, Emelin M.Yu.<sup>2</sup>, Ryabikin M.Yu.<sup>2</sup>

[meshkov-oleg@rambler.ru](mailto:meshkov-oleg@rambler.ru)

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod – National Research University”,

<sup>2</sup> Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Synthesis of few-cycle optical waveforms with an arbitrary time dependence of the electric field offers new opportunities for the control of the laser-driven microscopic dynamics of electrons in atoms and molecules. This, in particular, is of great interest as a means to control the process of attosecond pulse generation.

In this contribution, using the quantum-mechanical treatment of high-order harmonic generation (HHG) within the strong-field approximation modified properly to adequately take into account the depletion of atomic ground state, we studied the possibility to enhance the efficiency of HHG using tailored few-cycle two-color optical waveforms.

We demonstrate that the use of an optimized two-color field offers an opportunity to increase by up to order of magnitude the efficiency of optical frequency conversion into any prescribed frequency interval within the x-ray range up to the harmonic photon energies exceeding 3 keV. High efficiency of HHG process in optimal conditions is explained by the peculiarities of the photoelectron dynamics, which are in this case characterized by a combination of high-probability detachment of the electron responsible for highest-order harmonic production and its subsequent strong acceleration accompanied by a relatively low probability of the medium depletion during the time interval between ionization and recollision.

## **ADVANTAGES OF THE NONSPHERICAL-PARTICLE ARRAYS FOR LASER- PARTICLE LITHOGRAPHY**

Mitin N.N., Pikulin A.V.

[mitiay5@mail.ru](mailto:mitiay5@mail.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

Laser particle lithography is a recently developed method of producing surface nanostructures by means of arrays of microparticles deposited on various substrates. Here, the dielectric microspheres are typically employed. However, the sphere proves to be not the

optimal shape for the beam focusing due to strong aberrations. For silica or polymeric microspheres with refractive index of about 1.5, the maximum of laser intensity is close to the surface of the sphere, which allows obtaining only shallow nanostructures. In case of particles with a higher refractive index, the electric field maximum is located inside the sphere, thus making such particles inapplicable for the surface nanostructuring. We showed that problem of the laser radiation focusing can be solved using close-packed arrays of spheroidal microlenses. The numerical finite-difference time-domain (FDTD) simulation was made. It was shown that by using the spheroidal microlenses of a material with a high refractive index (e.g., titanium dioxide) the field maximum within the substrate can be obtained and the intensity of the electric field at the maximum can be increased. Using spheroidal particles instead of spherical ones allows to obtain nanostructures with improved aspect ratio.

## **THE DIFFERENCE IN THE NOISE CHARACTERISTICS OF THE SYSTEMS OF A SYNCHRONIZATION OF A SPIN-TRANSFER NANOOSCILLATOR**

Mitrofanov A.A.<sup>1</sup>, Safin A.R.<sup>1,2</sup>, Udalov N.N.<sup>1</sup>

[mitrofanov\\_alexander@mail.ru](mailto:mitrofanov_alexander@mail.ru)

<sup>1</sup>National Research University MPEI, Moscow, Russia

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

We have studied two kind of a synchronization systems of a spin-transfer nanooscillator (STNO) - a phase synchronization system (phase-lock loop, PLL) and phase-locking to an external periodic signal. Spectral characteristics of the amplitude and phase noises of the isochronous and nonisochronous STNO are obtained and compared to the analogous characteristics of an autonomous (nonsynchronized) oscillator.

## **GENERATOR OF NEURON-LIKE OSCILLATIONS**

Bolshakov D.I., Mishchenko M.A.

[mischenko@neuro.mnov.ru](mailto:mischenko@neuro.mnov.ru)

National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

We observe the neuron-like generator model based on phase-locked loop with band-pass filter and its hardware implementation. Different oscillating regimes are demonstrated: regular spiking, regular bursting and chaotic spike-bursting behavior.

## **GENERATION OF CURRENT SHEETS AND GIANT QUASISTATIC MAGNETIC FIELDS DURING IONIZATION OF VACUUM IN ULTRAINTENSE LASER FIELDS: EMISSION AND RELAXATION**

Muraviev A.A., Bashinov A.V., Efimenko E.S., Kim A.V., Sergeev A.M.

[sashamur@gmail.com](mailto:sashamur@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Recent progress in ultra intense laser technologies stimulated research of high intensity laser-plasma interaction, for which cascade generation of electron-positron pairs becomes crucial. Such research is conducted mostly by numerical modeling.

In a recent work [1] an effect of generation of current sheets and giant quasistatic magnetic fields was predicted in colliding linearly-polarized laser pulses in 1D geometry. It was determined that the life span of this structure may exceed pulse duration and wave period.

In this work properties of emission and relaxation of this structure are studied.

1. Muraviev A.A. et al // JETP Letters. August 2015. Vol. 102. Issue 3, P. 148-153

## **NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF NOVEL CHALCOGENIDE GLASSES OF Ge-S-I COMPOSITION**

Murzanev A.A.<sup>1</sup>, Korytin A.I.<sup>1,2</sup>, Yashunin D.A.<sup>1,2</sup>, Malkov Yu.A.<sup>1</sup>, Mochalov L.A.<sup>1,2</sup>,  
Stepanov A.N.<sup>1,2</sup>

[alex\\_murz@mail.ru](mailto:alex_murz@mail.ru)

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev

The chalcogenide glasses are one of perspective material class for elements of nonlinear photonics and fiber optics in the infrared region. We studied the nonlinear refractive index  $n_2$  and two-photon absorption coefficient  $\beta$  for  $\text{Ge}_x\text{S}_{90-x}\text{I}_{10}$  composition. We examined samples with different stoichiometric composition using Z-scan based methods and nonlinear phase contrast method. The nonlinear properties of glasses depends on their stoichiometric coefficients, leading to an opportunity of creation defined nonlinear properties of chalcogenide glasses.

## **INVESTIGATION OF NONLINEAR PROPERTIES OF MEDIA WITH KERR NONLINEARITY BY EXAMINATION OF TRANSVERSE LASER BEAM STRUCTURE DISTORTION AND THE CONTRAST OF AMPLITUDE OBJECT IMAGE**

Murzanev A.A., Martynov V.O.

[alex\\_murz@mail.ru](mailto:alex_murz@mail.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

We have studied the relationship between nonlinear phase shift in Kerr media and distortion of transverse laser beam structure in case of continuous and pulsed radiation. Also we investigated the contrast image of amplitude object in the optical scheme with nonlinear Kerr media as Zernike filter. These calculations lead to opportunity of nonlinear properties characterization of the nonlinear medium with local in space and time Kerr nonlinearity.

## **DISK LASER WITH COMPOSITE ACTIVE ELEMENT**

Mukhin I.B.

[mib\\_1982@mail.ru](mailto:mib_1982@mail.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

Using of the composite Yb:YAG/YAG active element (Yb:YAG thin disk with anti-ASE cap) is a promising way to overcome challenges with thermal effects and amplified spontaneous emission in high average and peak power thin-disk lasers. We investigated thermal induced phase distortions and small signal gain in the composite Yb:YAG/YAG active element theoretically and experimentally under lasing and non-lasing conditions. Effect of phase aberrations induced by anti-ASE cap is analyzed. High small signal gain is achieved that makes it attractive for using in amplifiers. Thin-disk laser with 440 W average power is developed.

## **THE RISE AND EVOLUTION OF A DENSITY WAVE DURING THE EXPANSION OF A HOT PLASMA THROUGH A TENUOUS IONIZED MEDIUM**

Nechaev A.A., Garasyov M.A., Kocharovskiy V.I.V.

[ant.a.nech@gmail.com](mailto:ant.a.nech@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhniy Novgorod

We study the one-dimensional collisionless expansion of a dual-temperature plasma layer through the half-space occupied with a cold tenuous plasma. It is found out that the presence of the latter may lead to the formation of a supersonic particles density wave. Similar effects has been observed in recent laser-plasma experiments.

With the help of PIC-simulation we analyze the dynamics of the concentration and the temperature of particles of both fractions and trace the development of electric and magnetic fields generated meanwhile. In this report results of a typical simulation are presented. The simulation is initiated with the configuration of a background plasma of a density of  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  and a temperature of 3 eV occupying the half-space and a hot plasma layer with a density of  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$ , placed near the reflecting boundary. Electron and ion temperatures in the layer are 3 Kev and 3 eV respectively.

It is shown that during the expansion of the layer local maxima and minima in spatial dependencies of concentrations and temperatures arise, spanning several Langmuir wavelengths and moving at speed higher than the ion-acoustic one. The directional speed of these particles groups is sustained with the longitudinal electrostatic field of charge separation. Strong anisotropy in electron distribution function behind them leads to the Weibel instability and the generation of magnetic field, which energy density reaches 10% of the energy density of particles.

## **PECULIARITIES OF OPTICALLY DETECTED MAGNETIC RESONANCE OF NV-CENTERS IN DIAMOND UNDER RESONANT EXCITATION AT CRYOGENIC TEMPERATURE**

Akhmedzhanov R.A., Gushchin L.A., Zelenskiy I.V., Nizov V.A., Nizov N.A., Sobgayda D.A.

[nizovva.w@gmail.com](mailto:nizovva.w@gmail.com)

Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhni Novgorod

Ensembles of NV color centers in diamond are promising materials for magnetometry and quantum frequency standards. Owing to the specific structure of optical transitions the most commonly used technique for that purpose is the optically detected magnetic resonance (ODMR). This method is based on observation of change in fluorescence, caused by continuous optical excitation, under resonant microwave radiation.

The aim of our work was to investigate ODMR spectra under resonant optical excitation. We performed measurements at cryogenic temperature and discovered essential difference from the conventional ODMR: inversion of the effect (a rise in fluorescence, instead of a decrease), and a significant increase in contrast. Increasing the contrast is of great interest for magnetometry, as it allows to perform more precise measurements.

We propose a theoretical model describing this feature.

We also measured ODMR temperature dependence, and found the inversion point at  $\sim 35\text{K}$ . At this temperature each of NV-center's optical resonant frequency jumps (due to spectral diffusion) are comparable to the microwave resonant frequency. So at higher temperatures resonant optical excitation operates as non-resonant.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project 14-29-07152.

## **MOTIONS OF WATER LAYER IN TSUNAMI WAVES BY RECORDS OF DENSE NETWORK OF DEEPWATER SEA-LEVEL STATIONS**

Nurislamova G.N., Nosov M.A.

[nurislamova@physics.msu.ru](mailto:nurislamova@physics.msu.ru)

Faculty of Physics M.V.Lomonosov Moscow State University

Several years ago, the agency JAMSTEC implemented the "dense" network of deepwater station DONET. The DONET system includes 20 bottom stations connected by cable lines with a data-processing center on the shore. Each station is equipped with a pressure sensor – tsunami-meter. An important feature of the DONET system is that the distance between stations is 15 to 20 km, which is considerably less than the tsunami wavelength. Therefore, according to the network data, a tsunami wave field and, in particular, horizontal flow velocity field can be uniquely reconstructed.

The main purpose of the present work is to develop methods for reconstruction the flow velocity making use of a set of closely spaced deepwater sea-level stations. The method is used for reconstruction of water layer motions during the passage of tsunami waves, caused by the 2011 Tohoku-oki earthquake.

## **INTERCIRCUIT CONNECTION IN PLANAR MAGNONIC NETWORKS: 2D MAGNONIC CRYSTAL OF FINITE WIDTH**

Odincov S.A., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Grishin S.V., Sheshukova S.E.,  
Sharaevskii Yu.P.

[Odinoff@gmail.com](mailto:Odinoff@gmail.com)

Saratov State University

Using the space-resolved Brillouin light scattering spectroscopy we study the frequency and wavenumber selective spin-wave channeling. We demonstrate the self-collimation of spin-wave in an array of magnonic waveguides, formed between the adjacent magnonic crystals on the surface of yttrium iron garnet film. We show the control over spin-wave propagation length by the variation of the angle of an in-plane bias magnetic field. Fabricated array of magnonic crystal can be used as a magnonic platform for multidirectional frequency selective signal processing applications.

## **OPTICALLY INDUCED TERAHERTZ GENERATION FROM METALS AS A METHOD OF ELECTRON SCATTERING INVESTIGATION**

Oladyshkin I.V.

[oladyshkin@gmail.com](mailto:oladyshkin@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

A new experimental method of studying electron scattering process in metals based on the phenomenon of optical-to-terahertz conversion is proposed. It is shown that a low-frequency metal response on the action of a femtosecond laser pulse can be used for determination of the electron scattering temperature dependence up to 1-2 eV. Moreover the dynamics of electron temperature near the surface can be obtained from the terahertz pulse

waveform. Available experimental data on the optical-to-terahertz conversion were analyzed in terms of scattering diagnostics. Weakly defined scattering parameters were estimated and compared to data from previous studies.

## **THE 2D TURBULENCE ON THE WATER SURFACE. OBTAINING OF THE INVERSE ENERGY CASCADE**

Orlov A.V.

[arturor@issp.ac.ru](mailto:arturor@issp.ac.ru)

The Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Solid State Physics of the Russian Academy of Science (ISSP RAS)

An experiment is studying an evolution of an inverse energy cascade at a turbulent motion of a thin fluid layer in a square cell.

There are 1588 magnets at the cell's bottom. The fluid is an electrolyte – an 8-10 % soda solution in which platinum electrodes is lowered. The electrical current is started up within them. Due to the Lorentz force fluid areas around the magnets is spinning and vortices are appearing. Due to the nonlinear interaction with each other, they are merging and eventually a small number of large vortices are appearing. There is the inverse cascade.

The experiment is studying the evolution of this process and a speed distribution in large vortices. For this, small balls of niomide are added in the solution; they have a very good light reflectivity and may be detectors of the vortices' motion. The definite fluid layer is highlighted by red and green lasers in the definite turn, and at this moment a high-speed camera is making a photo. Two layers (red and green) are picked up from this photo via a computer and from the correlation between the positions of the particles on them, the angle and distance distribution of the vortices' speed is computed.

## **SPONTANEOUS FORMATION OF NONLINEAR AUTOWAVE PATTERNS IN TRANSVERSE SECTION OF BROAD-AREA LASERS EMISSION**

Pakhomov A.V.<sup>1,2</sup>, Krents A.A.<sup>1,2</sup>, Anchikov D.A.<sup>1</sup>

[pahomov\\_91@mail.ru](mailto:pahomov_91@mail.ru)

<sup>1</sup>S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute of RAS, Samara branch

Presented article is devoted to analytical and numerical investigation of spontaneous formation of nonlinear spatio-temporal patterns in broad-area lasers resulting from the stability loss of the steady lasing. It is shown that depending on the type of spatio-temporal instability different autowave patterns may be observed in the system together with self-oscillating processes. Main principles and formation scenarios of these optical patterns in the transverse section of the broad-area laser emission are considered.

## **THE ESTABLISHMENT OF GENERALIZED SYNCHRONIZATION IN A NETWORK OF NONLINEAR OSCILLATORS**

Koronovskii A.A.<sup>1,2</sup>, Moskalenko O.I.<sup>1,2</sup>, Pivovarov A.A.<sup>1</sup>

[vostochny@list.ru](mailto:vostochny@list.ru)

<sup>1</sup>Saratov State University

<sup>2</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

the transition from synchronous to asynchronous dynamics while increasing the communication parameter.

## **COHERENCE OF NOISE-DRIVEN OSCILLATORS SUBJECT TO DELAY FEEDBACK CONTROL INDUCING MULTISTABILITY**

Pimenova A.V.<sup>1</sup>, Goldobin D.S.<sup>1,2</sup>

[Anastasiya.Pimenova@gmail.com](mailto:Anastasiya.Pimenova@gmail.com), [Denis.Goldobin@gmail.com](mailto:Denis.Goldobin@gmail.com)

<sup>1</sup>Institute of Continuous Media Mechanics, UB RAS, Perm 614013, Russia

<sup>2</sup>Department of Theoretical Physics, Perm State University, Perm 614990, Russia

For self-sustained oscillators subject to noise the coherence, understood as a constancy of the instantaneous oscillation frequency, is one of the primary characteristics. The delay feedback has been previously revealed to be an efficient tool for controlling coherence of noise-driven self-sustained oscillator. The effect of the delay feedback control on coherence is stronger for a longer delay time. Meanwhile, the instantaneous frequency of a noise-free oscillator can exhibit multistability for long delay time. In this work, we construct the analytical theory of the effect of delay feedback on the phase diffusion in the presence of multistability. In agreement with the results of numerical simulation we analytically derive that the phase diffusion constant has giant peaks close to the point where the residence time in two states are equal. Remarkably, while the width of the peaks linearly decreases with the noise strength, their height growth exponentially as noise strength decreases; thus, the integral peak strength explosively grows as noise intensity tends to zero.

The authors acknowledge support by the Russian Science Foundation (grant no. 14-21-00090).

## **DYNAMIC REGIMES OF TWO FREQUENCY DIFFERENT CHEMICAL BZ-OSCILLATORS COUPLED VIA PULSE COUPLING BY USING THE FOLLOWING TYPES OF LINK: INHIBITORY, ACTIVATOR AND "NEGATIVE" INHIBITORY**

Proskurkin I.S.

[megavolt007@mail.ru](mailto:megavolt007@mail.ru)

Center of Nonlinear Chemistry, Immanuel Kant BFU

The work is done on research of dynamic regimes of two chemical relaxation oscillators which represent a Belousov-Zhabotinsky reaction in a flow reactor. Oscillators coupled via pulse (by fast injection solutions of activator and inhibitor in single reactor in response to a spike in the reactor) with a time delay. The delay set between the time spike in one oscillator and the moment of injection of the inhibitor or activator in other oscillator. For inhibitory coupling theoretically and experimentally been found modes oscillators with resonances: 1:1, 2:3, 1:2, 2:5, 1:3. When considering the resonance of 1:2 depending on the time delay was found a sharp transition from one synchronized regime, which we call the "0 / 0.5" to another, "0.2 / 0.7". For the 1:1 resonance found pattern of switches between anti-phase regime (AP) to the in-phase (IP), and found the area of birhythmicity. For activator coupling were also found resonant regimes: 1: 1, 2: 3, 1: 2, 2: 5, 1: 3 and 1: 4. Birhythmicity was also found for the regime 1:2 using a high strength bond. To explain the emergence of different resonant

regimes we got curves reinstallation phase, PRC (Phase Response Curve) for each type of connection.

We have also developed a new type of activator coupling by using modulation of concentration of inhibitor. The concentration of inhibitor in the chemical oscillator must be constantly maintained at a certain level, to keep periodic oscillations. Pulse activating the oscillator in this method will be a decrease in the concentration of the inhibitor for short period of time. For the case of two oscillators close such a connection was made through the off for a short time constant flow inhibitor in the flow reactor with the BZ reaction. The study of the dynamics of the resonant modes PRC and we made sure that the nature of such a link is activator.

## MEASUREMENT OF CHARACTERISTICS OF WAVE PACKETS ON WATER SURFACE BY OPTICAL METHODS

Razumov D., Salin M., Stulenkov A.

[ddrazumov@gmail.com](mailto:ddrazumov@gmail.com), [mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:mikesalin@hydro.appl.sci-nnov.ru), [andrey\\_stulenkov8@mail.ru](mailto:andrey_stulenkov8@mail.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

We present the results of research of characteristics of the surface gravity waves, carried out in the Bay of Lake Ladoga in the year 2015. There were waves of different nature at a full-scale experiments: a swirl from a small boat (wave from the determinate source) and wind waves (which is characterized by wide directional diagram and weak spatial coherence). The dispersion of the surface waves is clearly observed in spectrum of waves from the determinate source, for example, spread of the packets passing a large distance. The dependence of the direction of wave propagation on its frequency that occurs as a result of the synchronism with the speed of the source was also observed, which correlates with the theory. Theory imposes restrictions on the kinematical parameters of the waves from a moving source, but the amplitude of the excited wave depends on the settings of the source and should be a subject of a pilot study. Full-scale study of the ship waves and other correlated wave packets requires separating them from the wind waves as a background noise. This becomes possible when simultaneous measurements at multiple points are conducted. In particular, optical measurement methods can cover a large area.

We use combined optical measurement scheme including synchronous video recording of the surface. At first, the image of the area with the size of the rough surface of about 10x10 lengths of the energy-waves is recorded - a video review. Secondly, the video recording is carried out with a high zoom of an optical spar buoy (analog of a string wave recorder registering wave height optically rather than electrically).

## SPIN WAVES CONTROL IN AN IRREGULAR MAGNETIC WAVEGUIDE

Romanenko D.V.<sup>1</sup>, Sadovnikov A.V.<sup>1</sup>, Davies C.S.<sup>1</sup>, Grishin S.V.<sup>1</sup>,  
Sharaevskii Yu.P.<sup>1</sup>, Nikitov S.A.<sup>1</sup>, Kruglyak V.V.<sup>1</sup>

[dmitrii.romanenk@mail.ru](mailto:dmitrii.romanenk@mail.ru)

<sup>1</sup>Saratov State University, Saratov

<sup>2</sup>Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics, Moscow

<sup>3</sup>School of Physics, University of Exeter, Exeter, United Kingdom

We study the propagation and transformation of spin-wave in translational symmetry broken magnonic bend. We propose three planar topologies of the bend yttrium-iron garnet waveguide that supports the spin-wave steering over the curvature: square corner, rounded

tail by the means of Brillouin light scattering technique. Experimental results are verified using micromagnetic simulation. We show that improvement of the spin-wave transmission is achieved by the control over the internal field profile in the bend area. This control can be realized both through the geometry of the bend and the direction of applied bias magnetic field. Integration of bend magnonic waveguides opens the possibilities of molding the flow of spin waves in magnonic networks.

## QUANTUM-MECHANICAL CALCULATIONS OF THE RESIDUAL CURRENT DENSITY EXCITED BY GAS IONIZATION WITH AN ULTRASHORT LASER PULSE

Vvedenskii N.V.<sup>1,2</sup>, Romanov A.A.<sup>1,2</sup>, A.A. Silaev<sup>1,2</sup>

[vved@appl.sci-nnov.ru](mailto:vved@appl.sci-nnov.ru), [romanov.alexander.al@gmail.com](mailto:romanov.alexander.al@gmail.com), [silaev@appl.sci-nnov.ru](mailto:silaev@appl.sci-nnov.ru)

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

<sup>2</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

Excitation of the residual current density by gas ionization with two-color laser pulse was investigated on the basis of analytical and numerical solution of three-dimensional Schrödinger equation using the strong-field approximation and the imaginary time method. Dependences of the residual current density on the phase shift between the components of the field and on the intensity of the fundamental wave were found. The quantitative agreement between the results based on the strong-field approximation taking into account the interaction of photoelectrons with the parent ion and the results of direct numerical calculation was shown.

## THREE-WAVE INTERACTIONS BETWEEN ALFVEN AND ACOUSTIC WAVES IN HEAT-RELEASING PLASMA

Zavershinskiy D.I.<sup>1,2</sup>, Molevich N.E.<sup>1,2</sup>, Ryashchikov D.S.<sup>1,2</sup>, Belov S.A.<sup>1</sup>

[dimanzav@mail.ru](mailto:dimanzav@mail.ru)

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute

The nonlinear interaction process between Alfvén and acoustic waves in heat-releasing plasma is under investigation. Wave interaction analysis is conducted by the use of modified full system of magnetohydrodynamic equations in the Cartesian coordinate system in order to take into account non-adiabatic process. We take into account dissipation caused by the thermal conduction and finite electrical conduction. Using linear analysis we have obtained dispersion relation for Alfvén, fast and slow magnetoacoustic, and thermal waves.

Here we investigate interaction process between two linearly polarized Alfvén waves and powerful acoustic waves which satisfy the exact resonant condition. It is shown that interaction processes depend on the ratio of the acoustic wave speed to Alfvén wave speed. In the case of equal speeds, the interaction can be only between three waves propagating in one direction. On other occasions, Alfvén waves must propagate in opposite directions.

In course of our investigation, we derive the reduced system of differential equations for describing interaction processes using the perturbation theory and method of slowly varying amplitudes. The analysis of stationary and nonstationary wave dynamics predicts possibility of Alfvén wave amplification in high-beta plasma. Some astrophysical applications are described as well.

## **PLANAR TOPOLOGY OF MAGNONIC NETWORK BASED ON DISCRETE SYSTEM OF SIDE-COUPLED MAGNETIC MICROWAVEGUIDES**

Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Grachev A.A., Sharaevskii Yu.P.

[sadovnikovav@gmail.com](mailto:sadovnikovav@gmail.com)

Saratov State University

Discrete diffraction was studied in optics both theoretically and experimentally by scanning tunneling optical microscopy in arrays of equally spaced identical waveguide elements. Coupled Yttrium iron garnet (YIG) structures are of great interest at the modern time due to extremely small spin-wave loss in this material and the possibility of spin wave (SW) propagation control. Coupled YIG waveguides can be used as components in the tunable signal processing devices (nonlinear couplers, nonlinear switches, phase shifters).

This report shows the results of investigation of the spatio-temporal dynamics of magnetization in the laterally coupled planar YIG waveguide array by Brillouin light scattering (BLS) spectroscopy. It was shown that the degree of system discreteness could be regulated by changing the external bias magnetic field angle. The dependence of coupling between the waveguide channels on the parameters of spin wave (wavenumber, frequency, power) makes the continuous regulation of spin wave path possible.

Nonlinear propagation, interactions between waves and generation of discrete solitons are interesting field for further studies

## **THE LONGWAVE MARANGONI CONVECTION IN THE “LIQUID-GAS” SYSTEM HEATED FROM BELOW WITH A DEFORMABLE INTERFACE**

Samoilova A.E.

[annsomeoil@gmail.com](mailto:annsomeoil@gmail.com)

Perm State University

We investigate a longwave Marangoni convection in a two-layer system which consists of a liquid layer and a poorly conductive gas layer. The system is heated from below and confined between two rigid walls: the upper wall is ideally conductive, the lower one is thermally insulated. We aim at finding the analogue of the novel oscillatory mode that was detected analytically within the one-layer approach previously. To properly account for the influence of processes in gas on deformation of the interface we apply the two-layer approach. Considering only the heat transfer in gas phase we derive nonlinear amplitude equations that describe the coupled evolution of the layer thickness and temperature perturbation. Linear stability analysis of these equations yields the results similar to those obtained for a single layer whereas nonlinear equations reveal certain differences. The new oscillatory mode is found to be critical in a certain range of parameters, which allows us to provide the recommendations for a possible experiment. The weakly-nonlinear analysis was provided within the amplitude equations. Pattern selection on square and hexagonal lattices shows that supercritical branching is possible.

## **DYNAMICAL REGIMES OF A NETWORK OF FOUR CHEMICAL OSCILLATORS UNIDIRECTIONALLY COUPLED VIA PULSE EXCITATORY COUPLING WITH TIME DELAY**

Safonov D.A.

[dem.safonov@gmail.com](mailto:dem.safonov@gmail.com)

Center of Nonlinear Chemistry, Immanuel Kant BFU

Dynamical regimes of a mathematical model of four unidirectionally coupled via pulse excitatory coupling chemical oscillators with time delay was investigated. Each isolated oscillator sets by a system of four differential equations, which describe the Belousov-Zhabotinsky reaction. Pulse coupling is introduced by separate equations and characterized by two parameters:  $C$ , the coupling strength and  $\tau$ , time delay between a spike in one oscillator and the spike-induced perturbation of another oscillator. For this type of coupling (unidirectional ring), there exist three regimes: OS (oscillation-suppression – only part of the oscillators fires), splay (each oscillator immediately excites after receiving the pulse from the neighboring oscillator) and bursting (all oscillators fire almost simultaneously, in a narrow time interval, which is followed by a long pause). If we change parameter  $C$  smoothly, two types of OS can be found: (i) all oscillators except one fires and (ii) only two diagonal oscillators fire and another two are silent. Considered here excitatory type of connectivity does not demonstrate multistability.

### **INVESTIGATION OF THE STABILITY OF OWN FUNCTIONS TRANSIENT THERMAL STRUCTURES ARISING IN THE RADIATION COOLING OF DISPERSE SYSTEMS OF ARBITRARY OPTICAL THICKNESS**

Safronov A.A.

[saftrandrey@gmail.com](mailto:saftrandrey@gmail.com)

Moscow Institute of Physics and Technology

*Keldysh Research Center* - Federal State Unitary Enterprise- engineer

The formation of non-stationary heat dissipation structure in radiation cooling of drip flow was studied. Investigations were carried out analytical and with the help of constructed by the author of the computer simulation. Eigen function transient thermal structures. The stability of Eigen functions of transient thermal structures was studied by changing the control parameter. The decisive role of distant radiative interaction of particles dispersed medium in the phenomenon of instability was revealed. It is shown that under certain conditions the temperature profile of drip flow can be multistability.

### **PREDICTING ENSO VARIABILITY WITH COMPLEX-VALUED ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

Seleznev A.

[aseleznev@appl.sci-nnov.ru](mailto:aseleznev@appl.sci-nnov.ru)

Lobachevsky University, Advanced school of general and applied physics, Nizhny Novgorod

This work is devoted to empirical modeling dynamics of the El-Nino-Southern Oscillation (ENSO). As an evolution operator, the universal model in the form of complex-valued artificial neural network is suggested. The effectiveness of this model is demonstrated by predicting both critical transitions in the Jin-Neelin-Ghil ENSO model [1] and real ENSO variability from sea surface temperature anomalies data [2].

The study is supported by Government of Russian Federation (agreement #14.Z50.31.0033 with the Institute of Applied Physics of RAS).

1. Jin, F.-F., J. D. Neelin, and M. Ghil, 1996: El Niño/Southern Oscillation and the annual cycle: subharmonic frequency locking and aperiodicity. *Physica D*, 98, 442–465.
2. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.KAPLAN/.EXTENDED/.v2/.sst/>

## OCEAN GRAVITY WAVES EXCITED BY RAYLEIGH AND LOVE WAVES

Sementsov K.A., Nosov M.A., Kolesov S.V.

[sebbest@yandex.ru](mailto:sebbest@yandex.ru)

Moscow State University, Faculty of Physics, Moscow, Russia

Weak gravity waves that preceded the arrival of tsunami were registered by the DONET (JAMSTEC) stations during the 2011 Tohoku earthquake. The amplitude and period of these gravity waves amounted to 3 cm and 150 s, respectively. These gravitational waves are clearly manifested in ocean-bottom pressure variations recorded by DONET stations that were in operation during the 2011 event.

We assume physical mechanism of generation of these gravity waves is related to low-frequency seismic surface waves. Theoretical estimates of parameters of these gravity waves carried out on the base of this assumption are in a good agreement with the observed values. Results of 3D numerical simulation of tsunami these gravity waves carried out in the framework of linear potential theory are presented and analyzed.

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research (project 13-05-00337).

## INCREASE IN SYNCHROTRON GAMMA-RAY GENERATION EFFICIENCY IN OBLIQUE INCIDENCE OF INTENSE LASER PULSE ON A FLAT TARGET

Serebryakov D.A., Nerush E.N.

[dmserebr@gmail.com](mailto:dmserebr@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

We consider oblique incidence of relativistically intense laser pulse on a flat target. In this process the electrons in the ionized target are accelerated up to relativistic speeds having Lorentz factor  $\gamma$  on the order of dimensionless laser field amplitude  $a_0 = eE_0/mc\omega$ . During laser-plasma interaction, energetic electrons emit X-rays and gamma-rays with synchrotron-like spectrum. This process was studied numerically with particle-in-cell code that takes into account electron synchrotron emission. We have observed efficient conversion of laser pulse energy into gamma-rays. An efficiency optimization by incidence angle and plasma density was performed, maximum conversion efficiency was 29% for  $30^\circ$  incidence angle. It was also observed that for high incidence angles ( $> 70^\circ$ ), electrons gain very high  $p_y$  momentum, and gamma-ray radiation becomes focused along  $y$ -axis which may be important for many applications. Possible reasons for that are analyzed.

## NUMERICAL STUDY OF THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE DIRECT CASCADE IN TWO-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC TURBULENCE

Sereshchenko E.

[s\\_evgeniy@yahoo.com](mailto:s_evgeniy@yahoo.com)

National Research University Novosibirsk State University

Numerical method for the study of two-dimensional hydrodynamic turbulence in the presence of pumping and viscous-like damping is developed. Simulations were performed with the use of the NVIDIA CUDA technology at the Computer Center of the Novosibirsk State University. It is shown that quasi-shocks of vorticity and their Fourier partnerships in the form of jets introduce an essential influence in turbulence leading to strong angular dependencies for correlation functions. The energy distribution as a function of modulus  $k$  for each angle in the inertial interval has the Kraichnan behavior,  $\sim k^{-4}$ , and simultaneously a strong dependence on angles. However, angle average provides with a high accuracy the Kraichnan turbulence spectrum  $E_k = 1.3\eta^{2/3}k^{-3}$ . Familiar situation takes place for third-order velocity structure function  $S_3^L$  which, as for the isotropic turbulence, gives the same scaling with respect to separation length  $R$  and  $\eta$ ,  $S_3^L = C_3\eta R^3$ , but the mean over angles and time  $C_3^*$  differs from its isotropic value.

### **MODELING OF THE DYNAMICS OF A DISPLACEMENT FRONT IN A POROUS MEDIUM UNDER VIBRATIONS USING BUCKLEY-LEVERETT MODEL**

Sidak E.V.<sup>1</sup>, Smirnov D.A.<sup>2</sup>, Bezruchko B.P.<sup>1,2</sup>

[sidakev@gmail.com](mailto:sidakev@gmail.com)

<sup>1</sup>Saratov State University, Saratov, Russia

<sup>2</sup>Institute of Radio-engineering and Electronics RAS, Saratov branch

Possibilities to detect directional couplings between two oscillators from their time series (exhibiting multiple spectral peaks) in the case of a hidden third oscillator influencing both observed ones, are investigated on an exemplary mathematical system. Application of the previously known method of phase dynamics modeling to such a situation is shown to lead to false coupling detections. A threshold intensity of the third oscillator influence above which false detections occur, is determined versus the basic frequencies and spectral peak widths of the observed oscillators. A diagnostic criterion of the possible false conclusions is suggested based on the autocorrelation function of the residual errors of the phase dynamics model. In order to detect directional couplings between observed oscillators in such cases, the method is modified in such a way that the phases of the oscillators are calculated after a rejection filter eliminates spectral components in the frequency band containing the basic spectral peak of the hidden oscillator. This modification is shown to be effective to detect couplings in a wide range of the hidden oscillator influence intensity and of the coupling strength between the observed.

### **INVESTIGATION OF THE PLASMA ACTIVATION OF NITROGEN FOR THE GROWTH OF INDIUM NITRIDE BY ORGANOMETALLIC VAPOR PHASE EPITAXY**

Sintsov S.V.

[sintcovs@mail.ru](mailto:sintcovs@mail.ru)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

Since a few years, indium nitride (InN) has attracted great interest of researches. InN has the narrowest band gap energy (0.6-0.8 eV) and highest electron mobility among the III – nitride semiconductors, which make it ideal for high efficiently solar cells, infrared light-emitting diodes and electrical devices for THz emission. The main problem of growth InN concerned with its thermal decomposition, which becomes excessive above 600°C. So plasma-assisted molecular beam epitaxy (MBE) is a suitable method for producing InN,

because low growth temperatures are possible. The aim of this work is investigate and compare methods of nitrogen activation by electron cyclotron resonance (ECR) discharge at a frequency of 24 GHz and induction heating at a frequency of 13.56 MHz. Methods efficiency was evaluated by measuring the vibrational temperature of nitrogen. Based on these results, it was shown that the activation method using nitrogen induction heating is more effective excited vibrational temperature of nitrogen and vibronic transitions in the ultraviolet region.

### **MAGNETIC CONTROL OF PLASMAS INDUCED BY HIGH-ENERGY NANOSECOND LASER PULSE**

Sladkov A.D., Burdunov K.F., Yeremeyev A.A., Korzhimanov A.V., Safronova M.I.,  
Solov'yev A.A., Starodubtsev M.V.

[andrey.sladkov1992@gmail.com](mailto:andrey.sladkov1992@gmail.com)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Modern trend in high-energy physics is to create states of matter with the extreme values of energy and density using high-power laser pulses. The research is conducted on an experimental basis of petawatt laser complex PEARL (IAP RAS, Nizhny Novgorod). The purpose of the experiments is to study the influence of external magnetic field (maximum value is 20T) on the laser plasma. This problem is directly related to the modeling of the conditions in inertial confinement fusion. In experiments plastic target is irradiated by laser pulse with energy of the order of ten Joules and with duration of the order of one ns. Comparison of the results obtained by numerical simulation and on an experimental stand was carried out. The basis of the work uses available publicly high-performance computing code FLASH.

### **DYNAMICAL REGIMES OF FOUR ALMOST IDENTICAL CHEMICAL OSCILLATORS COUPLED “ALL-TO-ALL” VIA PULSE INHIBITORY COUPLING WITH TIME DELAY**

Smelov P.S.

[sipanes@rambler.ru](mailto:sipanes@rambler.ru)

Center of Nonlinear Chemistry, Immanuel Kant BFU.

We study dynamical regimes in networks of four almost identical spike oscillators with pulsatile coupling via inhibitor with introducing a time delay  $\tau$  between a spike in one oscillator and spike-induced inhibitory perturbation of another oscillator. As an oscillator, we use chemical reaction of Belousov-Zhabotinsky. For the “ALL-TO-ALL” coupling type, five main regular rhythms were found: W (=4 clusters), 3 Clusters (=2+1+1, 2 oscillators are in-phase), AP (=2+2, 2 clusters, anti-phase), «3+1» (=2 clusters, 3 oscillators are in-phase), IP (=1 cluster). Increasing of coupling strength and/or time delay leads to a decrease of clusters quantity: 4Cl (=W)  $\rightarrow$  3Cl  $\rightarrow$  2Cl (=AP/«3+1»)  $\rightarrow$  1Cl (=IP). Except main regimes, complex were found – regimes with different combinations of number of spikes. For example, “3+1/2”-mode. At which three oscillators are always in-phase, while the 4-th oscillator has doubled period and give in-phase spikes with the other three oscillators each second spike.

Tri- or bi-stability is a common feature for regarded type of connectivity – different regimes can be found with the same parameters (coupling strength and time delay).

### **THERMALLY INDUCED EFFECTS IN FARADAY DEVICES AND NEW MAGNETOACTIVE MATERIALS**

Snetkov I.L.  
[snetkov@appl.sci-nnov.ru](mailto:snetkov@appl.sci-nnov.ru)  
Institute of Applied Physics RAS

An overview of studies of magnetically active materials, specific of their using in a high average power laser radiation and the last our results of the study of two new promising magnetically active materials: terbium scandium aluminum garnet TSAG and terbium sesquioxide  $Tb_2O_3$  were done.

### **MICROMAGNETIC SIMULATION OF INFLUENCE OF DZYALOSHINSKII-MORIYA INTERACTION ON SPIN WAVE EXCITATION AND PROPAGATION IN THIN FILM MAGNETIC WAVEGUIDE**

Stetsur-Mova G.I., Sadovnikov A.V., Beginin E.N., Sharaevskii Yu.P.  
[stetsur@yandex.ru](mailto:stetsur@yandex.ru)  
Saratov State University

Using the FDTD micromagnetic simulation we study the spatial dynamics of spin-wave propagation in the presence of Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI). We study the influence of DMI on the dispersion characteristics of the transverse modes of the confined magnetic stripe. We show the control over spin-wave propagation length by the variation of the value of the bias magnetic field.

### **MODELING OF NEGATIVE STEPPED LIGHTENING LEADER'S DEVELOPMENT**

Syssoev A.A.  
[zaratustrann@yandex.ru](mailto:zaratustrann@yandex.ru)  
Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

For almost a century it is known that the negative leader, in contrast to positive one, develops in a stepwise manner using a mechanism of the so-called space leaders. However, a comprehensive understanding of the reasons responsible for this asymmetry is still not achieved. The physics of the emergence of a new negative leader's step as well as the mechanism of the so-called space stems' formation in a relatively weak electrical fields causes lots of questions too.

In this paper a probabilistic approach was used to develop the phenomenological model which for the first time allowed carrying out the numerical simulation of the negative stepped leader's evolution. The calculations took into consideration the asymmetry of positive and negative spark discharges and the potential influence of the space charge injected into the discharge gap by the streamer corona. This allowed reproducing in simulations such plasma formations as stems with the possibility of their subsequent transformation into the space leaders which, in turn, lead to appearance of new negative leader's steps.

### **MODELLING RAT ELECTROENCEPHALOGRAMS AT ABSENCE EPILEPSY IN APPLICATION TO TASK OF COUPLING DETECTION**

Syssoev I.V., Syssoeva M.V., Kuznetsova G.D.  
[ivssci@gmail.com](mailto:ivssci@gmail.com)

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya str., Saratov  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Simple models were proposed, which reproduce a number of features of intracranial electroencephalograms of WAG/Rij rats at absence epilepsy. The applicability of nonlinear Granger causality method to the task of analysis of coupling between different brain structures from experimental signals was investigated.

### **COUPLING ANALYSIS BETWEEN BRAIN STRUCTURES BY ADAPTED GRANGER CAUSALITY METHOD IN ABSENCE EPILEPSY**

Sysoeva M.V.

[bobrichkek@mail.ru](mailto:bobrichkek@mail.ru)

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Spike and wave discharges (SWDs), generated within cortico-thalamo-cortical networks, are the electroencephalographic biomarker of absence epilepsy. The current work aims to identify mechanisms of SWD initiation, maintenance and termination by the analyses of dynamics and directionality of mutual interactions between neocortex and various functionally different thalamic nuclei. The *SWD initiation process* was characterised by an early pre-ictal increase in coupling within the intracortical layers of somatosensory cortex. Many channel pairs showed a temporary drop immediately after the SWD onset (*decoupling stage*). The *SWD maintenance process* started from cortical (ctx5, ctx6) influence to cRTN less than 1 s after the onset. So, cRTN worked as a transmitter, immediately starting to drive PO and ATN (also < 1 s after onset). A little bit later cRTN became coupled with thalamic nuclei: PO, VPM, ATN (all bidirectional). Also intracortical communications appeared and all cortical layers began to drive ATN. Note, that there was no driving from thalamus to cortex during the first 3 s of seizure. The *SWD termination process* can be seen in all rRTN ↔ cortex pairs. During the second half of seizure the cortex drove rRTN. When the rRTN responded to this coupling, the seizure terminated, most likely via a negative feedback loop.

### **CHERENKOV RADIATION OF TERAHERTZ WAVES BY TIGHTLY FOCUSED ULTRASHORT LASER PULSES**

Sychugin S.A., Bakunov M.I.

[ssychugin@gmail.com](mailto:ssychugin@gmail.com)

N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod

Cherenkov radiation of terahertz waves by an ultrashort laser pulse propagating as a Gaussian beam in an electro-optic crystal is theoretically studied. By applying the developed theory to a Ti:sapphire laser pulse in an lithium niobate crystal we demonstrate the existence of an optimal size of the laser beam waist which maximizes the terahertz yield. The optimal size depends on the time duration of the laser pulse.

### **INEQUIVALENCE OF THE CANONICAL AND GRAND CANONICAL ENSEMBLES: STATISTICS AND THERMODYNAMICS OF A BOSE-EINSTEIN CONDENSATE IN THE CRITICAL REGION**

Tarasov S.V., Kocharovsky V.I.V., Kocharovsky V.V.

[serge.tar@gmail.com](mailto:serge.tar@gmail.com)

We analytically find a universal, self-similar structure of the statistical and thermodynamic quantities of any mesoscopic ideal-gas system in the critical region of Bose-Einstein condensation (BEC) within the grand canonical and canonical ensembles. The properly scaled critical functions of all statistical and thermodynamic quantities quickly converge to those universal functions with increasing system's size and number of trapped particles  $N$ , starting already from  $N \sim 100$ .

Moreover, those critical functions remain the smooth and well-defined universal functions in the BEC critical region even in the thermodynamic limit. We calculate the aforementioned self-similar structure analytically for an arbitrary trapping potential and find that all traps fall into two universality classes with essentially different self-similar structures.

The remarkable conclusion is that the grand-canonical-ensemble result differs from the exact canonical-ensemble result typically by a factor on the order of unity even in the thermodynamic limit. Thus, the grand-canonical approach is not valid in the critical region of BEC for the systems with a fixed number of trapped particles.

### **SELF-TRAPPING AND BREATHERS IN KLEIN-GORDON AND FRÖHLICH-SPENCER-WAYNE DISORDERED LATTICES**

Tikhomirov A.A., Lapteva T.V., Savchenko M.V., Kononov O.I.  
[andreyenn2006@yandex.ru](mailto:andreyenn2006@yandex.ru)

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

Conditions of wave packets self-trapping on the one hand, and of discrete breather existence on the other, are comparatively studied in two nonlinear disordered oscillatory lattice models: Fröhlich-Spencer-Wayne and Klein-Gordon lattices. It is shown that wave packet self-trapping near the certain lattice site takes place if a discrete breather (time-periodic, spatially localized solution) centered on this site exists. The set of initial conditions leading to self-trapping is located in some neighborhood of the breather.

### **WAVES OF C-FOS AND ARC PROTEINS EXPRESSION IN NEURONAL POPULATIONS OF MOUSE HIPPOCAMPUS IN RESPONSE TO A SINGLE EPISODE OF NEW EXPERIENCE**

Toropova K.A., Ivashkina O.I., Roshchina M.A., Anokhin K.V.  
[xen.alexander@gmail.com](mailto:xen.alexander@gmail.com)

NRC "Kurchatov Institute", Moscow

Mapping the neuronal expression of activity-induced transcriptional genes c-Fos and Arc is one of the major approaches to cellular brain imaging. However, no systematic comparison was performed between dynamics of expression of these proteins in different brain regions in response to cognitive stimuli. Here we used immunohistochemical staining to study accumulation of c-Fos and Arc proteins in neurons of different regions of the mouse hippocampus following a single trial of contextual fear conditioning. Our data showed two waves of c-Fos and Arc expression, with a maximal peak at 15-30 min and a second less pronounced peak at 1-3 hours after learning. Induction of Arc occurred earlier than c-Fos and the overall dynamics of two waves slightly varied in the dentate gyrus, CA1 and CA3 fields of hippocampus. These results open a possibility for immunohistochemical mapping of brain

neuronal activity with much higher temporal precision and draw attention to wave fluctuation of hippocampal activity after a single episode of new experience.

### **DIAGNOSTICS OF THE LASER PLASMA UNDER THE FEMTOSECOND RADIATION FILAMENTATION UNDER THE HIGH PRESSURES BY THE PROBE INTERFEROMETRIC METHOD**

Chizhov P.A.<sup>1</sup>, Ushakov A.A.<sup>1,2</sup>, Bukin V.V.<sup>1</sup>, Garnov S.V.<sup>1</sup>  
[ushakov.aleksandr@physics.msu.ru](mailto:ushakov.aleksandr@physics.msu.ru)

<sup>1</sup>A. M. Prokhorov General Physics Institute RAS

<sup>2</sup>Physics Department, M. V. Lomonosov Moscow State University

The dynamics of the electron concentration in the femtosecond optical breakdown plasma channel in the air and nitrogen under the different pressures on the times up to the some tens of picoseconds from the start of the ionization has been studied by the interferometric probe technique. The nonlinear increase of the initial electron density in the air and nitrogen under the pressures from 3 to 4 atm. has been observed.

### **TRANSIENT CHAOS IN A SYSTEM WITH ARNOLD WEB IN THE PHASE SPACE**

Felk E.V.<sup>1</sup>, Kuznetsov A.P.<sup>1,2</sup>, Savin A.V.<sup>1</sup>  
[FelkEkaterina@yandex.ru](mailto:FelkEkaterina@yandex.ru)

<sup>1</sup>N.G. Chernyshevsky Saratov State University

<sup>2</sup>Institute of Radio Physics and Electronics

We investigate the effect of weak dissipation on the hamiltonian system with more than two degrees of freedom. It is well known that in such systems the resonance stochastic layers cross each other forming some web in the phase space. This makes the unlimited diffusion possible for any small values of non-integrable perturbation unlike the systems with 2 degrees of freedom. This diffusion was revealed by V.I. Arnold and is known as Arnold's diffusion. We consider two coupled twist maps with periodic function.

The aim of this work is to investigate the effect of weak dissipation on the system's dynamics. The finite time Lyapunov exponents are used to analyze the dynamics.

We observe the phenomenon of transient chaos and the changes in the phase space structure including the disappearance of some resonances. Also the dependence of the duration of the transition process from the initial position was investigated. Structure of the phase space takes the form of a square lattice and the diffusion along the diagonal directions disappears.

### **FORMATION OF VORTEX FLOW WAVES ON THE LIQUID SURFACE**

Filatov S.V.

[fillsv@issp.ac.ru](mailto:fillsv@issp.ac.ru)

Institute of Solid State Physics RAS, Nizhny Novgorod

The formation of a vortex flow in a vessel with a liquid executing harmonic oscillations in a vertical direction has been studied experimentally. It has been found that the vortex flow does not occur in a cylindrical vessel until the amplitude of the oscillations exceeds a threshold value, at which the Faraday parametric instability develops and azimuthal modes

emerge on the surface. The vortices appear in a square vessel and in a cylindrical vessel with broken symmetry at amplitudes below the parametric instability threshold. The formation of a vortex flow is presumably caused by the interaction of surface waves propagating at an angle with respect to each other

### **ANALYSIS OF PHASE SYNCHRONIZATION IN MULTILAYER ADAPTIVE NETWORKS OF KURAMOTO OSCILLATORS**

Kharchenko A.A.<sup>1,2</sup>, Makarov V.V.<sup>2,1</sup>

[ainadil@mail.com](mailto:ainadil@mail.com)

<sup>1</sup>Saratov State University, Russia

<sup>2</sup>Saratov State Technical University, Russia

The paper is devoted to numerical research of a complex multilayer adaptive network of coupled oscillators (Kuramoto oscillators). The problem of diagnostics of phase synchronization in a network by means the wavelet spectra of integral signal distribution of the phase difference in the clusters multilayer adaptive network. Analyzed the process of the emergence of clusters of integral characteristics.

### **PHASE PROPERTIES OF THE CUT-OFF HIGH HARMONICS**

Khokhlova M.A.

[MargaritkaKhokhlova@gmail.com](mailto:MargaritkaKhokhlova@gmail.com)

A.M. Prokhorov General Physics Institute of Russian Academy of Sciences

M.V. Lomonosov Moscow State University

The cut-off regime of high harmonic generation (HHG) by atoms in an intense laser field is studied numerically and analytically. We find that the cut-off regime is characterized by equal dephasing between the successive harmonics. The change of the harmonic phase-locking when HHG evolves from the cut-off to the plateau regime determines the optimal bandwidth of the spectral region which should be used for attosecond pulse generation via amplitude gating technique. The cut-off regime is also characterized by a linear dependence of the harmonic phase on the fundamental intensity. The proportionality coefficient grows as the cube of the fundamental wavelength, thus, this dependence becomes very important for the HHG by mid-infrared fields. Moreover, for every high harmonic there is a range of laser intensities providing the generation in the cut-off regime and the atomic response magnitude in this regime can be greater than that in the plateau regime. Thus, the cut-off regime substantially contributes to the harmonic energy emitted under typical experimental conditions where the laser intensity varies in time and space.

### **NONLINEAR REGIMES OF ADMIXTURE CAPTURING FROM THE SATURATED POROUS MEDIUM BY THE OVERLYING FLUID FLOW**

Tsiberkin K.B.

[kbtsiberkin@psu.ru](mailto:kbtsiberkin@psu.ru)

Perm State University

The viscous flow over the porous medium entralls the fluid inside it. Because of the large drag of the porous medium, the velocity changes rapidly near the “porous layer – fluid” interface, and the analogue of Kelvin–Helmholtz instability may develop. It mixes the fluid in

the system. If some admixture saturates the porous medium, it will be carried-over into the outer flow.

The current study considers the viscous fluid flow over the Brinkman porous layer of finite thickness. The linear stability analysis shows the instability threshold exists, and the interface boundary conditions play an important role in flow modeling.

The numerical simulation of the nonlinear regimes proves the linear stability analysis results. The characteristic time of instability is proportional to the Reynolds number. The large-scale vortices cover both the porous layer and overlying fluid, therefore the admixture distributes throughout full volume of the system. Nevertheless, there is no effective fluid mixing at some Reynolds number and porous medium parameters. The relatively weak flow intensification makes slight changes of concentration field, and the admixture distribution becomes almost stationary.

## **PLASMA WAVE EXCITATION AND ELECTRON ACCELERATION AT RELATIVISTIC LASER-PLASMA INTERACTION IN UNDER-CRITICAL PLASMA**

Tsymbalov I.N.<sup>1</sup>, Shulyapov S.A.<sup>1</sup>, Ivanov K.A.<sup>1</sup>, Krestovskikh D.A.<sup>1</sup>,  
Savel'yev A.B.<sup>1</sup>, Ksenofontov P.A.<sup>2</sup>, Brantov A.V.<sup>2</sup>, Bychenkov V.Yu.<sup>2</sup>

[ivankrupenin2@gmail.com](mailto:ivankrupenin2@gmail.com)

<sup>1</sup>Faculty of Physics and International Laser Center of Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russia

<sup>2</sup>P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

We present the results of experimental research of laser-plasma interaction at an intensity around  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup> in an undercritical pre-plasma, formed by additional nanosecond laser pulse with controlled parameters, onto the surface of solid targets. Dependence of the gamma-ray and the scattered optical radiation yield on delay between pulses is obtained. The measured electron energy was around 10 MeV when optimal conditions were archived in experiments. Numerical simulation and experimental results show that relativistic self-focusing leads to electric field increasing, then laser pulse energy transferred into the plasma waves due to forward Raman scattering or two plasmon decay instability. Longitudinal plasma wave field captures and accelerates electrons created in plasma wave breaking. As a result electrons acquire an energy of several MeV.

## **FORMATION OF ATTRACTORS IN THE SYSTEM OF PHASE EQUATIONS WITH SYMMETRY VIOLATION**

Chekmareva A.Zh., Kuznetsov A.P., Savin A.V.

[chekmareva.aliya@mail.ru](mailto:chekmareva.aliya@mail.ru)

Saratov State University, Saratov, Russia

It is known that invertible systems with involutions can demonstrate the conservative dynamics of some manifold in the phase space. We consider the system of phase equations of 4 coupled oscillators and the effect of symmetry breaking on it dynamics.

We revealed that both regular (cycles and invariant curves) and strange attractors occur in the Poincare map plane when the symmetry violated. Also we calculated the dependencies of Lyapunov exponents of the parameter of the system and revealed that the largest Lyapunov exponent demonstrates often and sharp changes with the change of parameters which means

that both bifurcations (such as the birth of resonant cycle on the invariant curve) and crises occur in this system.

### **INVESTIGATION OF POLARIZATION OF TERAHERTZ RADIATION GENERATED IN TOPOLOGICAL INSULATORS $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ AND $\text{Bi}_2\text{Se}_3$**

Chizhov P.A.<sup>1</sup>, Obraztsov P.A.<sup>1</sup>, Kanda N.<sup>2</sup>, Konishi K.<sup>2</sup>, Gonokami M.<sup>2</sup>, Garnov S.V.<sup>1</sup>,  
Tereshchenko O.E.<sup>3</sup>

[pvch@inbox.ru](mailto:pvch@inbox.ru)

<sup>1</sup>A.M. Prochorov General Physics Institute of Russian Academy of Sciences,

<sup>2</sup>University of Tokyo,

<sup>3</sup>Rzhanov Institute of Semiconductor Physics Siberian Branch of Russian Academy of  
Sciences

The results of characterization of terahertz radiation generated in topological insulator crystals  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  under femtosecond laser excitation are presented. Laser illuminated crystal surface at an angle around  $45^\circ$ . Terahertz pulse is detected by electro-optical sampling method in GaP crystal. Terahertz spectra of pulses generated in  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  crystals and in  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  epitaxial film are obtained. The dependencies of terahertz polarization on laser polarization are given. Contributions to result terahertz pulse both due to surface states and to bulk states are revealed.

### **ND:GLASS LASER AMPLIFIER ENERGY INCREASING BY ADDITIONAL PULSE INJECTION**

Shaikin I., Kuzmin A., Burdonov K., Shaykin A., Khazanov E.

[ilya.shaikin@gmail.com](mailto:ilya.shaikin@gmail.com)

Institute of Applied Physics of RAS, Nizhny Novgorod

This work is about petawatt laser complex PEARL pumping laser modernization.

At laser pulse amplification with duration 1ns (pumping pulse for parametrical amplifier) with rod Nd:glass amplifiers the main energy limiting parameters are optical breakdown and small-scale self-focusing. Nowadays, the maximum diameter of commercially available rod active elements is 10 cm. So maximum pulse energy is limited at about 300 J.

We have realized the scheme of income pulse polarizing separation. It makes possible the injection of two consecutive pulses in the multistage amplification system. As a result we increased the total output energy from 300 J to 500 J.

### **TRANSITION TO CHAOS IN THE ONE-DIMENSIONAL MODEL OF A WIDE-APERTURE LASER**

Shakirov A.R.<sup>1</sup>, Chertovskikh R.A.<sup>1</sup>, Krents A.A.<sup>1,2</sup>, Anchikov D.A.<sup>1</sup>

[shakirovar@ssau.ru](mailto:shakirovar@ssau.ru)

<sup>1</sup>Samara State Aerospace University

<sup>2</sup>Samara branch of the Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

Emission regimes of a wide-aperture laser, described by the Maxwell-Bloch model (MB) are studied numerically. The MB model describes spatiotemporal dynamics of a laser with plane mirrors and operating on a single longitudinal mode. The Laplace operator,

involved in the MB model, represents diffraction of radiation and allows to take into consideration interaction of a large number of the transverse modes.

To study transition to chaotic regimes of laser emission, the range of the parameter values corresponding to the short-wave instability was considered; the pump parameter normalized to its threshold value was chosen as a control parameter, other parameters of the system were fixed. For values of the pump parameter from 1 to 230, attractors of the dynamical system (governed by the one-dimensional MB equations for periodic in space electric field, medium polarization and inversion of population) were found numerically and their bifurcations were identified. The governing equations were solved using the pseudospectral and the exponential time differencing Runge-Kutta methods. Increasing the control parameter, we have found steady states, quasiperiodic regimes with two, three and four incommensurate time-frequencies followed by chaotic states. We have also observed coexistence intervals (for the control parameter) of two and three branches of attractors.

### **COMMON LOAD SUPPRESSED STOCHASTIZATION MEDIATED BY NOISE**

Shamporov V.A.<sup>1</sup>, Pankratov A.L.<sup>1,2,3</sup>, Pankratova E.V.<sup>1</sup>, Shitov S.V.<sup>4,5</sup>  
[bacek94@mail.ru](mailto:bacek94@mail.ru)

<sup>1</sup>N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup>Institute for Physics of Microstructures of RAS, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup>Cryogenic Nanoelectronics Center, R.E. Alexeyev Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>4</sup>Institute of Radio-engineering and Electronics of RAS, Moscow, Russia

<sup>5</sup>Laboratory of Superconducting Metamaterials, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

The joint action of the matching to a common RC-load and thermal noise on the spectral properties of parallel Josephson junction array is studied. It is demonstrated that proper matching suppresses the chaotic dynamics of the system. The efficiency of radiation is found to be highest within a limited frequency band, which corresponds to transformation of the shuttle soliton oscillating regime into the linear wave resonance synchronization mode. In this frequency band the spectral linewidth agrees well with a double of the linewidth for a shuttle fluxon oscillator, divided by a number of the oscillators in the array. When the oscillations demonstrate strong amplitude modulation, the linewidth increases roughly by a factor of five compared to this theoretical linewidth formula.

### **MANIPULATING OF BAND GAPS IN THE PERIODIC STRUCTURE OF THE TWO MAGNONIC CRYSTALS**

Morozova M.A., Sharaevskaya A.Yu., Sadovnikov A.V.  
[maluginama@yandex.ru](mailto:maluginama@yandex.ru), [upark@inbox.ru](mailto:upark@inbox.ru)  
Saratov State University, 83 Astrakhanskaya Street, Saratov

The model was developed for calculation of the dispersion characteristics of magnetostatic waves in the periodic structure, that consist of two one-dimensional magnonic crystals, periods of them are shifted with relation to each other in direction of wave propagation. Experimentally to show on the characteristics, up to three band gaps may be formed in band of first Bragg resonance by depending on shift between magnonic crystals in such structure.

## **THE RELEVANCE OF THE MAGNETIC FIELD SHEAR IN THE PLASMA KELVIN-HELMHOLTZ INSTABILITY DEVELOPMENT WITH THE ARBITRARY OSCILLATION PROPAGATION ANGLE**

Shevelev M.M.  
[mposimba@gmail.com](mailto:mposimba@gmail.com)  
Space Research Institute of RAS

The development of the Kelvin-Helmholtz instability (KHI) on the magnetopause has been investigated in the frame of the ideal MHD taking into account the finite scales of the magnetic field shear and the velocity shear, with no restrictions imposed on the oscillations propagation angle. The linear analysis has shown that the disturbances tilted at small angles with respect to the bulk velocity may grow faster than the waves propagating strictly along the velocity. The results also suggest for the density variation between the moving and the rest fluids to affect the unstable oscillations angle span significantly.

## **VARIATION OF WIND FLOW CHARACTERISTICS DUE TO MODULATION OF SURFACE ROUGHNESS**

Shomina O.V., Ermakov S.A., Kapustin I.A., Lazareva T.N.  
[stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:stas.ermakov@hydro.appl.sci-nnov.ru)  
Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Air-ocean interaction is a classical problem in atmosphere and ocean physics, which has important geophysical applications related to calculation of vertical and horizontal humidity, aerosol and gas fluxes, development of global climate models and weather forecasts. The aim of this study was to investigate experimentally the variability of the wind profile structure due to variations of wave characteristics. The surface roughness variations were produced using a) surfactant films (oleic acid) spread on the water surface and b) mechanically generated waves superimposed on wind waves. It was shown, that the presence of a surfactant film leads to an increase of wind speed; presence of MGW results in deceleration of wind flow, the larger MGW amplitude the stronger wind flow reduction is; the wind deceleration effect is more pronounced for MGW with higher frequency; experimentally obtained characteristics of wind flow claimed the growth of the wind friction velocity and the roughness coefficient with RMS.

The work has been supported by the Russian Foundation of Basic Research (Projects 14-05-31535, 14-05-00876, 15-35-20992).

## **MODELING OF PROPAGATION BROADBAND CHIRPED PULSE IN PICOSECOND BEAMLINER OF HIGH-ENERGY LASER**

Shugurov A.I.<sup>1</sup>, Andrianov A.V.<sup>1,2</sup>, Sergeev A.M.<sup>1,2</sup>  
[shugurov1991@gmail.com](mailto:shugurov1991@gmail.com)  
<sup>1</sup>Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
<sup>2</sup>Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod

We developed a universal numeric code for three-dimensional modeling interaction of broadband laser pulse with different nonlinear, dispersion and spatial characteristic. This code is based on a unidirectional wave propagation equation, and makes it possible to model amplification of chirped pulses on personal computer. Using this numerical code we have

modeled scheme, which is correspond to the scheme of a real picosecond beamline of high-energy laser.

## **DYNAMICS OF SOLITONIC FIELDS IN THE FRAMEWORK OF MODIFIED KORTEWEG – DE VRIES EQUATION**

Shurgalina E.G.

[eshurgalina@mail.ru](mailto:eshurgalina@mail.ru)

Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod

Dynamics of solitonic gaz is studied in the framework of modified Korteweg – de Vries equation. Two types of solitonic fields are considered: consisting of unipolar and heteropolar solitons. For unipolar fields the results are compared with the model of Korteweg – de Vries equation. The similarity of soliton dynamics for these two cases is demonstrated: the third and fourth statistical moments are decreased in time, the tails of distribution functions are reduced during nonlinear solitonic interactions. The opposite results are obtained for heteropolar solitonic fields. The interaction of solitons with different polarities leads to increasing of amplitude of resulting impulse. Thus the abnormal waves are appeared during the interaction of solitons with different polarities. The tails of distribution functions are increased showing the possibility of freak wave appearance.

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 16-35-00175 mol\_a.

## **TYPICAL GEOMETRY OF ROGUE WAVES**

Yudin A.V.

[yudinorel@gmail.com](mailto:yudinorel@gmail.com)

Pejples' Friandship University of Russia, Moscow

The report presents geometry results of numerical modeling of rogue waves [1] based on the full nonlinear equations of hydrodynamics. We describe the widespread types of rogue waves in computational experiments.

We received a lot of rogue waves in our computing experiments. About 95% of this waves have the typical form of steep ridge. Other rogue waves have the form of deepest depression ("hole in the sea") or represent several waves of very big height ("three sisters").

Rogue waves from our experiments are one of such individual waves. The most widespread rogue waves have the form of wall of water. Both parts of this wave from the left minimum to the maximum and from the maximum to the right minimum are well-approximated by three-degree polynomials

$$P_3(x) = ax^3 + bx^2 + cx + 1 .$$

It gets the follow type after linear transformation when the ordinate of maximum point is transferred to the point with coordinates.

[1] Kharif, C., Pelinovsky, E., Slunyaev, A.: Rogue Waves in the Ocean, Springer, 2009.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE DEPENDENCE OPTICAL ANISOTROPY PARAMETERS OF THE CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> AND SrF<sub>2</sub> CRYSTALS ON WAVELENGTH AND TEMPERATURE**

Yakovlev A.I.  
[yaknnalex@gmail.com](mailto:yaknnalex@gmail.com)  
Institute of the Applied Physics, Nizhny Novgorod

Optical anisotropy parameter – the material constant which defines the orientation of the crystallographic axes, corresponding to minimum value of the depolarization of transmitted radiation. Optical anisotropy parameters of  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$  and  $\text{SrF}_2$  crystals were measured at three wavelengths and in the temperature range (90-300) °K at 1070 nm.

**Тезисы даны в авторской редакции**

Ответственный за выпуск А.В. Слюняев