



Российская Академия Наук

**Институт
Прикладной
Физики**

**ОТЧЕТ
О НАУЧНОЙ
И НАУЧНО-
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЗА 2014 г.**



**Нижний Новгород
2014**

ОТЧЕТ

О НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИПФ РАН за 2014 г.

Директор ИПФ РАН
академик

А. Г. Литвак

Ученый секретарь
д. ф.-м. н.

В. Е. Шапошников

СОДЕРЖАНИЕ

I.	Результаты, представляемые в отчет РАН по разделу «Наиважнейшие результаты»	5
II.	Результаты, представляемые в отчет РАН по разделу «Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук»	10
	1. Отделение физики плазмы и электроники больших мощностей	11
	2. Отделение гидрофизических исследований. Центр гидроакустики	29
	3. Отделение нелинейной динамики и оптики	66
III.	Результаты, представляемые в отчет РАН по разделу «Основные исследования и разработки научных учреждений РАН, готовые к практическому применению»	84
IV.	Научно-организационная деятельность	88
	1. Основные направления научной деятельности	89
	2. Сведения об основных научных исследованиях (программы, гранты, хоздоговоры)	89
	3. Сведения о количестве статей и монографий, опубликованных сотрудниками, количестве защищенных диссертаций, докладов на конференциях	92
	4. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	92
	4.1. Работы, финансируемые из базового бюджета	92
	4.2. Федеральные целевые научно-технические программы	108
	4.2.1. «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы»	108
	4.2.2. «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»	112
	4.2.2.1. Мероприятие 1.1. «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров»	112
	4.2.2.2. Мероприятие 1.2.1. «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук»	118
	4.2.2.3. Мероприятие 1.2.2. «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук»	124
	4.2.2.4. Мероприятие 1.3. Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук	129
	4.2.2.5. Мероприятие 1.3.2. «Проведение научных исследований целевыми аспирантами»	133
	4.2.2.6. Мероприятие 1.5 Проведение научных исследований коллективами под руководством приглашенных исследователей	135
	4.3. Работы по программам фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук	136
	4.3.1. Программа фундаментальных научных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы нелинейной динамики»	136
	4.3.2. Программа «Экстремальные световые поля и их приложения»	141
	4.3.3. Программа «Квантовая физика конденсированных сред»	143
	4.3.4. Программа «Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики»	144
	4.3.5. Программа «Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов»	145

4.3.6. Программа «Фундаментальные проблемы физики высокотемпературной плазмы с магнитной термоизоляцией»	148
4.3.7. Программа «Фундаментальные науки – медицине»	151
4.3.8. Программа «Молекулярная и клеточная биология»	151
4.3.9. Программа «Фундаментальные проблемы импульсной сильноточной электроники»	152
4.3.10. Программа «Нестационарные явления в объектах Вселенной».....	158
4.3.11. Программа «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология»	159
4.3.12. Программа «Фундаментальные проблемы исследования и освоения Солнечной системы»	159
4.3.13. Программа международных исследований РАН в рамках проекта EraNet.ru	164
4.4. Программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН ...	165
4.4.1. Программа «Фундаментальные основы акустической диагностики искусственных и природных сред».....	165
4.4.2. Программа «Нелинейно-оптические методы и материалы для создания лазерных систем нового поколения».....	167
4.4.3. Программа «Современные проблемы радиофизики»	172
4.4.4. Программа «Физические и технологические исследования полупроводниковых лазеров, направленные на достижения предельных параметров».....	179
4.4.5. Программа «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов»	179
4.4.6. Программа «Радиэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека».....	182
4.4.7. Программа «Активные процессы и стохастически структуры во Вселенной»	183
4.4.8. Программа «Плазменные процессы в лаборатории икосмосе»	184
4.5. Гранты Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ.....	185
4.6. Гранты Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – докторов наук.....	190
4.7. Гранты Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук.....	190
4.8. Гранты Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (Мегагранты)	
4.9. Гранты Российского фонда фундаментальных исследований	195
4.10. Гранты Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области (У.М.Н.И.К.).....	283
4.11. Проекты, выполняемые в соответствии с международными соглашениями РФ, с зарубежными научными организациями, международными грантами.....	284
5. Премии и награды.....	291
6. Диссертации	296
7. Сотрудники института – члены научных обществ и организаций.....	297

8. Интеллектуальная собственность института (поддерживаемые в силе патенты и заявки).....	304
9. Состав и возрастная структура научных работников.....	311
10. Подготовка научных кадров	313
11. Организация конференций и школ.....	323
12. О работе Ученого совета	325
13. О работе общеинститутского семинара по теоретической физике	327
14. Издательская деятельность	328
15. О работе инженерно-эксплуатационной службы	329
16. Опытное производство	333
Приложение	335

**I. РЕЗУЛЬТАТЫ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫЕ
В ДОКЛАД ПРЕЗИДЕНТА РАН**

1. Показана принципиальная возможность захвата колебаний мегаваттного гиротрона внешним сигналом. Ввод сигнала осуществляется новой квазиоптической системой, обеспечивающей оптимальную связь внешнего источника с резонатором гиротрона. Первый эксперимент выполнен с импульсным гиротроном на частоте 35 ГГц. Измеренные полоса и время захвата колебаний находятся в согласии с расчетом. Использование режима захваченных колебаний позволяет обеспечить работу генератора на очень высоких модах, стабилизировать частоту при нестабильных параметрах высоковольтных источников, повысить КПД, обеспечить когерентность нескольких гиротронов мегаваттного уровня мощности.

Авторы: В.Л.Бакунин, Ю.Гузнов, Г.Г.Денисов, Н.И.Зайцев, А.Н.Куфтин, С.А.Запевалов, С.Ю.Корнишин, Ю.В.Новожилова, А.В.Чирков, А.Шевченко

2. Впервые в ИК диапазоне были получены изображения разрядов, генерируемых внутри искусственного заряженного аэрозольного облака. Наряду с типичными стримерными и лидерными разрядами, наблюдаемыми в лабораторных экспериментах с искровыми разрядами, внутри заряженного облака обнаружено множество разрядов с отличными от обычных разрядов характеристиками. Эти разряды, названные «сталкерами», образуют новый класс разрядных явлений внутри электризованной облачной среды. Проведены классификация и анализ многообразия сталкеров.

Авторы: Н.А. Богатов, Е.А. Мареев, В.А. Раков (ИПФ РАН), М.Г.Андреев, Л.М.Макальский, Д.И.Сухаревский, В.С.Сысоев (Всероссийский электротехнический институт), А.Ю. Костинский (Высшая школа экономики).

3. Разработана CVD технология выращивания комбинированных пластин большой площади (диаметром до 76 мм), содержащих более 100 монокристаллов CVD алмаза, вращенных в поликристаллическую алмазную основу. Разработанная технология включает соединение поли- и монокристаллических областей в процессе CVD роста, снятие механических напряжений между областями путем высокотемпературного отжига и выращивание на монокристаллических областях комбинированных пластин эпитаксиальных слоев CVD алмаза, легированных бором. Применение технологии позволяет получать комбинированные пластины пригодные для создания электронных приборов на основе полупроводникового CVD алмаза в существующих технологических линиях.

Авторы: А.Б. Мучников, А.Л. Вихарев, Д.Б. Радищев, В.А. Исаев, О.А. Иванов, А.М. Горбачев

4. Предложен и экспериментально реализован метод адаптивного синтеза апертуры с помощью приемной бортовой антенны разработанной для корабельных гидроакустических комплексов. В натуральных условиях продемонстрирована возможность создания для низкочастотного диапазона виртуальной апертуры приемной системы в десять раз превышающей продольный размер корпуса корабля. В ходе испытаний изготовленной аппаратуры в режиме шумопеленгации выполнено обнаружение и определение координат (дальности и пеленга) малозумной цели на дистанции, большей, чем достижимая с помощью существующих гидроакустических средств.

Авторы: Иваненков А.С., Коротин П.И., Родионов А.А., Турчин В.И.

5. Создан автоматизированный комплекс для спектроскопии и диагностики различных сред с рекордной мощностью микроволнового излучения. Источником излучения является непрерывный гиротрон, использующий криомагнит с охлаждением газообразным гелием, и генерирующий мощность до 1 кВт на частоте 263 ГГц. Изменение температуры хладагента в контуре охлаждения резонатора и рабочего напряжения позволяет осуществлять плавную перестройку частоты излучения в полосе 0.2 ГГц. Требуемая для ряда приложений мощность на уровне 10 Вт получена при низких рабочих токах (0.02 А) и напряжениях (14 кВ), что позволяет работать с относительно простыми и компактными высоковольтными источниками питания.

Авторы: Денисов Г.Г., Глявин М.Ю., Соколов Е.В., Тай Е.М., Солуянова Е.А., Чирков А.В., Куфтин А.Н., Лучинин А.Г., Морозкин М.В., Запевалов В.Е., Еремеев А.Г., Малыгин В.И., Седов А.С., Цветков А.И., Плотников А.И., Холопцев В.В., Манулов В.Н., совместно с ЗАО НПП Гиком

6. Предложена новая схема электронно-циклотронного нагрева для крупномасштабных прямых магнитных ловушек, основанная на эффекте захвата излучения в трехмернонеоднородной гиротропной плазме. Схема реализована в системе дополнительного ЭЦ нагрева плазмы на установке ГДЛ (ИЯФ им. Будкера, Новосибирск), что позволило поднять температуру электронов до рекордного для этого класса установок значения 650 эВ. Эксперименты на установке ГДЛ подтвердили высокую эффективность ЭЦ нагрева в узком диапазоне углов ввода излучения в полном соответствии с предсказаниями теории.

Авторы: Е.Д. Господчиков, Г.Г. Денисов, В.И. Малыгин, О.Б. Смолякова, А.Г. Шалашов (ИПФ РАН), M.Thumm, А.Л. Соломахин, П.А. Багрянский, Д.В. Яковлев (ИЯФ им. Будкера СО РАН)

7. Впервые показано, что в широком диапазоне плотностей мощности лазерного излучения (от $2 \cdot 10^{-2}$ до $1.6 \cdot 10^6$ Вт/см²) наблюдается дозовый механизм фотовыгорания в опухолевых сфероидах флуоресцентного белка KillerRed (ИБХ РАН), фототоксическое действие которого основано на генерации им активных форм кислорода. Обнаружено, что при импульсном режиме воздействия гибель клеток наступает вследствие апоптоза, в отличие от непрерывного режима лазерного воздействия, которое активирует некроз. Сравнение непрерывного и импульсного режимов воздействия на опухоли животных, экспрессирующих белок KillerRed, показало наличие выраженных патоморфологических изменений в случае импульсного лазерного воздействия, указывающих на терапевтический эффект.

Авторы: В.А. Каменский, И.В. Турчин, П.В. Субочев, В.В. Дуденкова (ИПФ РАН), Д.С. Кузнецова, М.В. Ширманова, Е.В. Загайнова (НижГМА), С.А. Лукьянов (ИБХ РАН)

8. Разработан способ получения высокоплотной (плотность порядка 99 % от теоретической) оксидной керамики с субмикронным размером зерна за время порядка нескольких минут при микроволновом нагреве. При скоростях нагрева 100 ... 3000 °С/мин и отсутствии изотермической выдержки характерное время процесса сокращается в 10...100 раз по сравнению со значениями, типичными для спекания с использованием традиционных методов нагрева.

Авторы: Ю.В. Быков, С.В. Егоров, А.Г. Еремеев, И.В. Плотников, К.И. Рыбаков, А.А. Сорокин

9. Осуществлены первые количественные исследования спектра одной из важнейших атмосферных молекул - димера воды - в условиях, соответствующих атмосферным, что позволило существенно продвинуться в понимании природы атмосферного континуума. Спектр поглощения димера наблюдался в водяном паре и в воздухе при различных температурах, давлениях и влажностях. Полученные экспериментальные данные позволили уточнить значения основных термодинамических и спектроскопических констант димера, важных для создания физически обоснованной модели распространения излучения в атмосфере, необходимой для точных расчетов радиационного баланса Земли и прогнозирования климата, а так же разработать модель вращательного спектра димера, обосновывающую возможность прямого радиометрического наблюдения и анализа димерного поглощения в атмосфере Земли с помощью современных приёмных комплексов.

Авторы: М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, А.Ф. Крупнов, Т.А. Одинцова
Е.А. Серов, В.В. Паршин.

10. Разработана и изготовлена бортовая измерительная система (БИС) для оценки потенциала конформных гидроакустических антенн, определения характеристик и построения модели акустических помех работе бортовых приемных систем. Впервые в отечественной практике в результате натурных испытаний корабля с помощью БИС получены данные о величинах и характере поведения корабельных, гидродинамических и фоновых помех. Для анализа результатов измерений подготовлена теоретическая база в виде совокупности алгоритмов адаптивной и оптимальной обработки сигналов с антенных приемных систем.

Авторы: Артельный П.В., Балалаев А.Я., Иваненков А.С., Кибардин Г.А., Коротин П.И., Наседкин А.В., Потапов О.А., Турчин В.И., Цибереv А.В., Чащин А.С.

11. Впервые выполнено экспериментальное исследование процессов электризации вертолетов в полете. Разработаны вибрационные электрические датчики, с помощью которых измерена напряженность статического электрического поля на поверхности земли, создаваемого зарядами на фюзеляже вертолета. Установлено, что фюзеляж вертолета заряжается положительно, а выхлопная струя выносит отрицательный заряд, то есть механизм электризации – двигательный. Предложена модель двигательной электризации, заключающаяся в зарядке сажевых частиц в слабоионизированной плазме камеры сгорания газотурбинного двигателя с их последующим выносом с потоком выхлопных газов.

Авторы: М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Костров, С.Э. Привер,
А.В. Стриковский

12. Разработана и реализована в Нижегородской области региональная система наукастинга опасных быстроразвивающихся метеорологических явлений, которая включает многопунктовую систему грозопеленгации, датчики квазистатического электрического поля, инфраструктуру и алгоритмы сбора и обработки данных. Функционирование системы обеспечивается сверхоперативным прогнозом с помощью мезомасштабной модели высокого разрешения WRF и анализом радиолокационных данных в режиме реального времени. Система позволяет исследовать статистические характеристики электрических полей и климатологию грозовых разрядов в среднеширотной атмосфере.

Авторы: А.А. Булатов, С.О. Дементьева, Н.В. Ильин, В.В. Клименко, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, М.В. Шаталина, Ю.В. Шлюгаев (Институт прикладной физики РАН), В.В. Соколов (Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу).

13. В методе спектральной оптической когерентной томографии разработан новый подход к объемной визуализации микрососудистой сети в биоткани (ангиографии) с разделением сосудов по скоростям движений. Движущиеся рассеиватели выделяются по амплитудно-фазовым изменениям в спеклах за счет фильтрации пространственного спектра двухкоординатных изображений, формирующих трехкоординатный массив данных. Высокая плотность и скорость получения элементов изображения позволяют эффективно компенсировать крупномасштабные движения живой ткани, что, в отличие от известных доплеровского и корреляционного подходов, обеспечивает повышенную робастность и чувствительность предложенного метода.

Авторы: Л.А. Матвеев, В.Ю. Зайцев, Г.В. Геликонов, А.Л. Матвеев, А.А. Моисеев С.Ю. Ксенофонтов, В.М. Геликонов (ИПФ РАН), В.В. Демидов, А. Виткин (Университет Торонто, Канада)

14. Разработан эмпирический подход к созданию моделей климатической динамики, в основе которого лежит построение низкоразмерной стохастической модели оператора эволюции путем прямого анализа пространственно распределенных временных рядов. На серии модельных примеров показана способность таких моделей описывать ключевые динамические свойства системы, ответственные за наблюдаемые режимы поведения. Продемонстрированы предсказательные свойства моделей применительно как к прогнозу критических переходов – резких качественных изменений поведения – в динамике климатических моделей различной сложности, так и к прогнозу климатических индексов по данным климатического мониторинга. Выведен байесов критерий оптимальности модели, позволяющий выбрать модель, сложность которой наиболее адекватна анализируемой выборке данных. Ключевым шагом разработанного подхода является конструирование низкоразмерного базиса фазовых переменных модели по временным рядам, определенным на пространственной сетке. Для этой цели предложены новые методы разложения данных, основанные на выделении пространственно-временных и/или нелинейных мод, вносящих принципиальный вклад в наблюдаемую динамику.

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

15. Предложен новый метод формирования двухцветных оптически синхронизированных импульсов высокого качества с помощью разработанной полностью волоконной лазерной системы, состоящей из эрбиевого задающего источника, нелинейно-оптического конвертора длины волны и тулиевого усилителя. Продемонстрированы импульсы, один из которых имеет центральную длину волны 2,0 мкм и реализован с энергией микроджоульного уровня, а другой плавно перестроен в диапазоне 2,0...2,3 мкм непосредственно в тулиевом активном волокне. Двухцветные импульсы востребованы в экспериментах типа «накачка-зондирование», а также при разработке мощных твердотельных лазерных усилителей на кристаллах Cr:ZnSe и Cr:ZnS в качестве затравки с синхронной накачкой. При использовании германатных волокон после тулиевого усилителя импульсы могут быть перестроены вплоть до 3 мкм. С помощью FROG-измерений экспериментально продемонстрированы спектрально ограниченные импульсы с sech-формой длительностью 125, 145 и 160 фс на 2, 2,25 и 2,7 мкм, соответственно.

Авторы: Анашкина Е.А., Андрианов А.В., Коптев М.Ю., Муравьев С.В., Ким А.В

16. Разработана высокочувствительная нелинейно-акустическая методика наблюдения макроскопических проявлений наномасштабных медленных спонтанных процессов в гранулированной среде. Выявленные эффекты объяснены бистабильностью находящихся на поверхностях гранул микроконтактов, для переключения которых между положениями равновесия достаточно энергии тепловых флуктуаций. Предложенная физическая модель таких контактов с адгезией описывает их бистабильность как механический гистерезис, где роль «мягкого» элемента играет нелинейная упругость самого растягиваемого контакта, которая уравнивает его притяжение к другой поверхности. Предсказываемое моделью существование неровностей радиусом ~ 100 нм подтверждено атомно-силовым зондированием поверхности гранул. Проведенное Монте-Карло моделирование коллективной динамики таких бистабильных элементов хорошо воспроизводит особенности медленных релаксаций в различных режимах, включая эффекты «старения» отклика и накопление поврежденности от повторяющихся слабых воздействий с подведением к порогу разрушения материала.

Авторы: В.Ю. Зайцев (ИПФ РАН), В.Э Гусев, В. Турна (Университет Дю Мэн, Франция), П. Ришар (университет Ренн-1, Франция)

17. Сформулированы принципы построения «идеальных» систем видения в воде и через взволнованную границу раздела воздух/вода, минимизирующие влияние поверхностного волнения и рассеяния в воде на качество изображения подводных объектов. Разработана модель системы, основанной на применении сложно модулированных пучков подсветки и пространственно-временной согласованной обработки сигналов, формирующих изображение. Показано, что 3D разрешение такой системы видения существенно превышает возможности систем видения на стационарных и импульсных пучках подсветки и практически не зависит от расстояния до наблюдаемого объекта.

Авторы: Л.С. Долин, А.Г. Лучинин.

18. Показано, что когда напряженность лазерного поля превышает определенный порог, взаимодействие такого поля с твердотельными мишенями происходит в радиационно-доминантном режиме, сопровождаемым новыми эффектами: радиационном захвате электронов лазерным импульсом и эффективной генерацией гамма-квантов. Выше порога: (i) доля лазерной энергии, конвертируемой в энергию гамма-квантов, превышает долю лазерной энергии, передаваемой электронам, (ii) пондеромоторная сила со стороны лазерного импульса на электроны сильно подавлена силой реакции излучения, в результате часть электронов мишени захватываются внутрь импульса. Найден режим взаимодействия, когда при высокой степени конверсии лазерной энергии в энергию гамма-квантов диаграмма направленности гамма-излучения становится узкой, что может быть использовано для создания гамма-источников, превосходящих по яркости существующие источники.

Авторы: Е.Н. Неруш, И.Ю. Костюков, L.L. Ji, A. Pukhov, B.F. Shen, K.U. Alki (ИПФ РАН, ННГУ, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Ohio State University, Columbus).

19. Разработан гидрофон устойчивый к вибрационной помехе. За счет конструктивных особенностей, дополнительных чувствительных элементов и вибрационных калибровок балансировка выходного сигнала обеспечивает понижение чувствительности к вибрациям на величину до 20 дБ в диапазоне до 1 кГц по трем степеням свободы. Выход акустического давления датчика унифицирован, при этом с

помощью встроенного микропроцессора могут быть реализованы режимы векторного приемника и измерителя ускорений. Изделие не требует дополнительных мер по виброизоляции при использовании на кабельных антенных, бугах и вибрирующих конструкциях. Достигнутые показатели подавления вибрационной чувствительности превосходят соответствующие характеристики известных импортных и отечественных изделий.

Авторы: Кияшко Б.В., Чащин А.С., Емельянов М.Б.

20. Впервые теоретически и экспериментально изучена синхронизация высших порядков в системе осцилляторов с импульсными запаздывающими связями. Построены зоны синхронизации в пространстве параметров. Ширина зон зависит линейно от силы связи и периодически от времени запаздывания. Показано, что синхронизация возможна при сколь угодно больших величинах задержки, что было подтверждено экспериментально вплоть до сотен периодов собственных колебаний. Установлено, что в определенных интервалах задержек может сосуществовать несколько различных устойчивых режимов синхронизации одного порядка. Данный эффект является новым и ранее в теории синхронизации описан не был. Изучение влияния запаздывающих связей на режимы синхронизации высших порядков имеет большое значение для понимания процессов в нейронных сетях мозга и физических системах, в которых возникает задача синхронизации импульсов.

Авторы: Клиньшов В.В., Щапин Д.С., Некоркин В. И.

**II. РЕЗУЛЬТАТЫ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫЕ В ОТЧЕТ РАН
ПО РАЗДЕЛУ
«ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
В ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ,
ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК»**

1. Отделение физики плазмы и электроники больших мощностей

1.1. Разработана CVD технология выращивания комбинированных пластин большой площади (диаметром до 76 мм), содержащих более 100 монокристаллов CVD алмаза, вращенных в поликристаллическую алмазную основу. Разработанная технология включает соединение поли- и монокристаллических областей в процессе CVD роста, снятие механических напряжений между областями путем высокотемпературного отжига и выращивание на монокристаллических областях комбинированных пластин эпитаксиальных слоев CVD алмаза, легированных бором. Применение технологии позволяет получать комбинированные пластины пригодные для создания электронных приборов на основе полупроводникового CVD алмаза в существующих технологических линиях.

Авторы: А.Б. Мучников, А.Л. Вихарев, Д.Б. Радищев, В.А. Исаев, О.А. Иванов, А.М. Горбачев

Аннотация. Алмаз является перспективным материалом, обладающим совокупностью исключительных свойств, благодаря которым он рассматривается как высокотехнологичный материал для широкого круга научных и промышленных применений. Технология газофазного синтеза алмазных пленок (CVD – chemical vapor deposition – осаждение из газовой фазы) активно развивается в последнее время в основном с использованием микроволновой плазмы. CVD реакторы с микроволновой плазмой позволяют выращивать поликристаллические алмазные пленки и пластины высокого качества (с низким содержанием не алмазной фазы), которые применяются в электронике больших мощностей, оптике, микроэлектронике. Поликристаллический CVD алмаз в настоящее время доступен в виде пластин диаметром до 150 мм, и вполне пригоден для промышленного применения. Однако область применения поликристаллического алмаза ограничивается наличием в нем дефектов в виде границ кристаллов. Поэтому привлекательным является использование монокристаллического CVD алмаза, который относится к широкозонным полупроводникам и обладает: рекордной подвижностью основных носителей, самой высокой теплопроводностью, прозрачностью в широком диапазоне длин волн.

К сожалению, на сегодняшний день распространенные размеры монокристаллических пластин CVD алмаза находятся в диапазоне от 3x3 до 5x5 мм². Технология производства пластин монокристаллического CVD алмаза большей площади еще находится в стадии разработки, а рекордный размер пластины CVD алмаза (сращенного из нескольких CVD пластин-«клонов») составляет 40x60 мм.

Для применения алмаза в приборостроении альтернативой сращиванию нескольких монокристаллов CVD алмаза в одну пластину может являться получение комбинированной пластины поли- и монокристаллического CVD алмаза, то есть пластины поликристаллического алмаза со вращенными в нее включениями из монокристаллического алмаза. Использование комбинированного поли- и монокристаллического CVD алмаза позволит значительно расширить применение монокристаллических пластин небольших размеров. Так, например, для создания электронных приборов на комбинированных пластинах большого диаметра (75 мм и более) могут быть использованы технологические линии, уже разработанные для кремниевой технологии. Активную часть прибора можно изготавливать на участке монокристаллического алмаза, а «матрица» из поликристаллического алмаза, будет являться держателем, обладающим высокой теплопроводностью.

Рост поликристаллических алмазных подложек (поликристаллической матрицы), а также комбинированных пластин, осуществлялся в плазмохимическом CVD реакторе на основе СВЧ резонатора, возбуждаемого на частоте 2.45 ГГц, рисунок 1(а). Полученные

пластины комбинированного CVD алмаза были использованы для эпитаксиального выращивания на них беспримесных, а также легированных бором слоев CVD алмаза.

Фотография комбинированной пластины после процесса роста приведена на рисунке 1(б). Одной из важных задач, возникающих в процессе получения комбинированного CVD алмаза, является минимизация механических напряжений, которые возникают в процессе сращивания моно- и поликристаллического алмаза. Поэтому после процесса роста проводились дальнейшие эксперименты по минимизации напряжения в комбинированной пластине, используя термический отжиг. Для измерения механических напряжений, возникающих в монокристаллических участках комбинированных алмазных пластин, были сняты рамановские спектры с пространственным разрешением, см. рисунок 2.

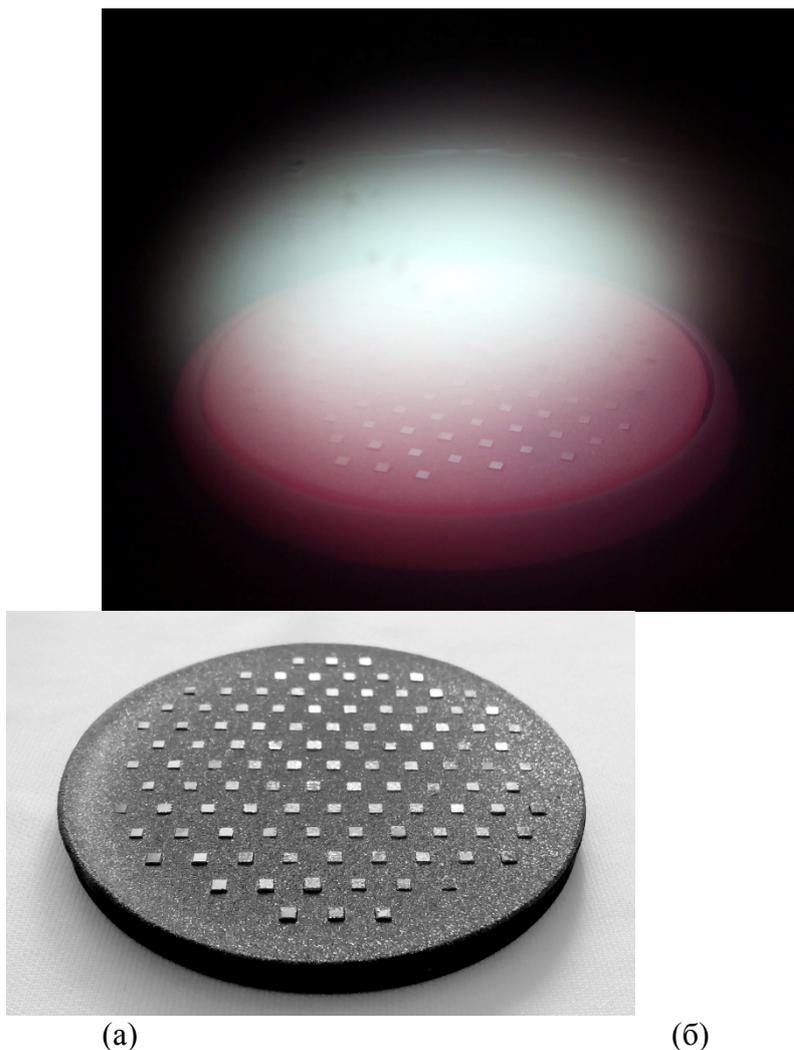


Рисунок 1. Фотография комбинированной пластины моно- и поликристаллического CVD алмаза: (а) в реакторе в процессе сращивания поликристаллических и монокристаллических областей и (б) после процесса роста.

Рамановский спектр природного алмаза имеет чёткую линию первого порядка с волновым числом около 1332 см^{-1} . Внутренние напряжения в алмазной плёнке приводят к изменению положения алмазного пика в спектре: сжатие приводит к смещению пика в сторону больших волновых чисел, растяжение - в сторону меньших, с коэффициентом пропорциональности, по разным источникам, от 0.3 до 0.6 ГПа/см^{-1} . Из рисунка 2 следует, что после отжига значения напряжений в моно- и поликристаллических участках комбинированной пластины уменьшились, и практически сравнялись между собой.

Таким образом, разработана CVD технология выращивания комбинированных пластин большой площади (диаметром до 76 мм), содержащих более 100 монокристаллов CVD алмаза, вращенных в поликристаллическую алмазную основу. Разработанная технология включает соединение поли- и монокристаллических областей в процессе CVD роста, снятие механических напряжений между областями путем высокотемпературного отжига и выращивание на монокристаллических областях комбинированных пластин эпитаксиальных слоев CVD алмаза, легированных бором. Применение технологии позволяет получать комбинированные пластины пригодные для создания электронных приборов на основе полупроводникового CVD алмаза в существующих технологических линиях.

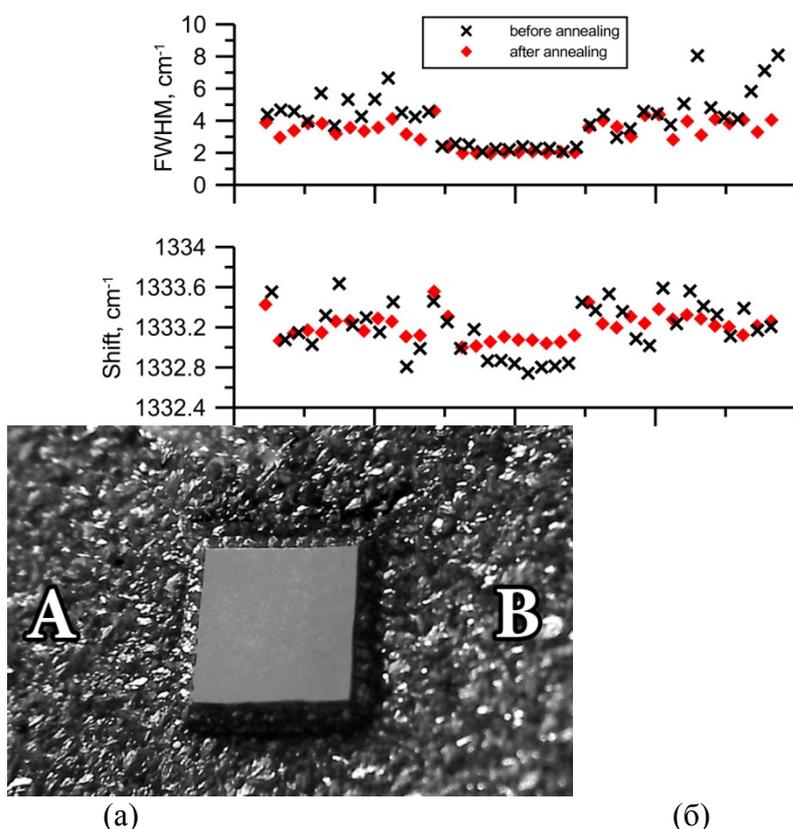


Рисунок 2. Рамановская пространственная характеристика (а) вдоль линии АВ одной из комбинированных пластин: монокристалл №16 и около него (б). Черными символами показаны значения, снятые после процесса роста, красным – после процесса термической обработки (отжига на железе при температуре 1140С в атмосфере азота в течение 6 часов).

Публикации:

1. A.B. Muchnikov, A.L. Vikharev, D.B. Radishev, V.A. Isaev, O.A. Ivanov, A.M. Gorbachev, A wafer of combined single-crystalline and polycrystalline CVD diamond, Materials Letters, 2015, 139, pp.1-3; <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2014.10.022>

1.2. Создан автоматизированный комплекс для спектроскопии и диагностики различных сред с рекордной мощностью микроволнового излучения. Источником излучения является непрерывный гиротрон, использующий криомагнит с охлаждением газообразным гелием, и генерирующий мощность до 1 кВт на частоте 263 ГГц. Изменение температуры хладагента в контуре охлаждения резонатора и рабочего напряжения позволяет осуществлять плавную перестройку частоты излучения в полосе 0.2 ГГц. Требуемая для ряда приложений мощность на уровне 10 Вт получена при низких рабочих

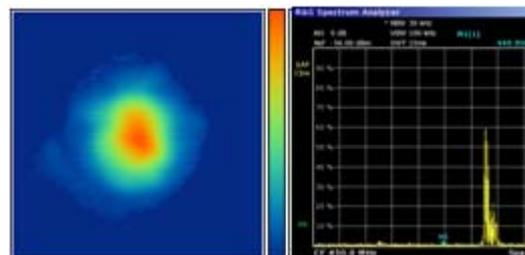
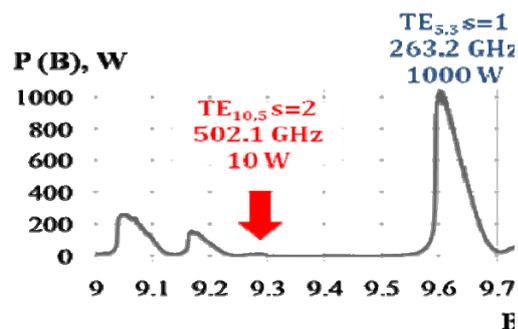
токах (0.02 А) и напряжениях (14 кВ), что позволяет работать с относительно простыми и компактными высоковольтными источниками питания.

Авторы: Денисов Г.Г., Глявин М.Ю., Соколов Е.В., Тай Е.М., Солуянова Е.А., Чирков А.В., Куфтин А.Н., Лучинин А.Г., Морозкин М.В., Запевалов В.Е., Еремеев А.Г., Малыгин В.И., Седов А.С., Цветков А.И., Плотников А.И., Холопцев В.В., Манулов В.Н., совместно с ЗАО НПП Гиком

Аннотация. Разработка компактных, относительно простых и доступных источников мощного терагерцового (ТГц) излучения важна для многочисленных приложений, включающих диагностику плазмы, спектроскопию, обнаружение и визуализацию взрывчатых веществ и оружия, новые медицинские технологии, атмосферный контроль, производство материалов высокой чистоты и т.д. Наиболее активно сегодня развивается ЯМР/ДПЯ спектроскопия высокого разрешения. Разработка источников излучения для этих целей ведется в США (CPI-Bruker Biospin), Японии (FIR FU), Европе, Китае. В непрерывном режиме генерации мощности на уровне десятков и сотен ватт на частотах выше 250 ГГц могут быть получены только при использовании гиротронов – электровакуумных приборов, основанных на стимулированном циклотронном излучении электронов, движущихся в магнитном поле.

В ИПФ РАН уже был реализован гиротрон мощностью до 400 Вт на частоте 258 ГГц с прямым выводом излучения в виде рабочей моды. В экспериментах с этим гиротроном продемонстрирована возможность в 80 раз увеличить чувствительность спектрометра. Настоящая работа была направлена на совершенствование гиротрона и создание автоматизированной системы управления режимами генерации. В качестве основного элемента магнитной системы в новом варианте использован криомагнит с охлаждением газообразным гелием по замкнутому циклу. Получена генерация на частотах 263 ГГц на основном циклотронном резонансе и 502 ГГц на второй гармонике гирочастоты. На частоте 263 ГГц получена мощность до 1 кВт, излучение рабочей моды преобразуется встроенным квазиоптическим преобразователем в узконаправленный пучок с содержанием гауссовой компоненты 93%. Для спектроскопических приложений, требующих мощностей порядка 10 Вт, реализованы режимы генерации при низком рабочем токе 20 мА и напряжении 14 кВ, что позволяет использовать компактные и относительно простые источники питания. Ширина линии излучения составила $df/f \sim 2 \cdot 10^{-6}$. Изменение температуры хладагента резонатора и рабочего напряжения позволяет осуществлять плавную перестройку частоты в полосе 0.2 ГГц. Экспериментальные данные свидетельствуют о правильности использованных технологических решений и позволяют рассчитывать в дальнейшем на успешное освоение подобными гиротронами частотного диапазона вплоть до 1 ТГц.

Для управления режимами генерации гиротрона создана автоматизированная система защиты, управления, сбора и обработки данных на основе АЦП ADAM и персонального компьютера.



Общий вид микроволнового комплекса: приборная стойка и криомагнит с гиротроном (слева), зависимость выходной мощности от магнитного поля (справа сверху), распределение микроволновой мощности на расстоянии 250 мм от окна гиротрона и спектр излучения

Публикации:

1. Глявин М.Ю., Денисов Г.Г., Запезалов В.Е., Куфтин А.Н., Лучинин А.Г., Мануилов В.Н., Морозкин М.В., Седов А.С., Чирков А.В. Терагерцовые гиротроны: состояние и перспективы, Радиотехника и электроника, 59, 8, 745-751 (2014)
2. M.Glyavin, G.Denisov, E.Tai, V.Zapevalov 16-th International Conference Laser Optics, Seminar on Terahertz Photonics St.-Peterburg, Russia, June 30 - July 4, 2014, MoSm2-04 (invited)
3. Glyavin M.Yu., Chirkov A.V., Denisov G.G., Kuftin A.N., Luchinin A.G., Sedov A.S., Zapevalov V.E., Manuilov V.N., Tai E.M 10th International Vacuum Electron Sources Conference Saint-Petersburg, Russia, 2014, Th0407 S9

1.3. Показана принципиальная возможность захвата колебаний мегаваттного гиротрона внешним сигналом. Ввод сигнала осуществляется новой квазиоптической системой, обеспечивающей оптимальную связь внешнего источника с резонатором гиротрона. Первый эксперимент выполнен с импульсным гиротроном на частоте 35 ГГц. Измеренные полоса и время захвата колебаний находятся в согласии с расчетом. Использование режима захваченных колебаний позволяет обеспечить работу генератора на очень высоких модах, стабилизировать частоту при нестабильных параметрах высоковольтных источников, повысить КПД, обеспечить когерентность нескольких гиротронов мегаваттного уровня мощности.

Авторы: В.Л.Бакунин, Ю.Гузнов, Г.Г.Денисов, Н.И.Зайцев, А.Н.Куфтин, С.А.Запезалов, С.Ю.Корнишин, Ю.В.Новожилова, А.В.Чирков, А.Шевченко

Аннотация. Для мощных гиротронов (например, 170 ГГц, 2МВт) численно исследован захват внешним монохроматическим сигналом частоты и фазы колебаний очень высокой высокой рабочей моды ($TE_{28.12}$). Показано, что в широкой области значений магнитного поля и напряжения даже при относительно малой мощности

внешнего сигнала происходит установление одномодовой генерации с высоким КПД на частоте внешнего сигнала. Наиболее мощные гиротроны разрабатываются для использования в системах электронно-циклотронного нагрева будущих плазменных установок УТС. Использование режима захваченных колебаний позволяет обеспечить работу генератора на очень высоких модах, стабилизировать частоту при нестабильных параметрах высоковольтных источников, повысить КПД. Стабилизация фазы излучения генератора внешним сигналом представляется перспективной также для создания большого числа когерентных источников излучения - синхронизации (сложении мощностей) нескольких мощных гиротронов.

Разработан и изготовлен макет гиротрона с квазиоптическим преобразователем, обеспечивающим трансформацию в гауссов волновой пучок рабочих мод гиротрона ($TE_{\pm 28,12}$, 170 ГГц) обоих направлений вращения. Пучки, соответствующие волнам противоположных вращений выходят через вакуумное окно прибора под углами ± 10 градусов. Гиротрон испытан в режиме импульсной (100 мкс) генерации с мощностью до 2 МВт. Смена направления вращения рабочей моды осуществлялась небольшим – около 0.2 мм - изменением радиуса электронного пучка в резонаторе полем катодной катушки. На модах обоих направлений вращения в эксперименте показан КПД более 30%. Разработанная квазиоптическая схема используется для эффективного ввода внешнего сигнала в резонатор мегаваттного гиротрона для реализации режима стабилизации частоты и фазы излучения. При этом внешний сигнал вводится в гиротрон квазиоптическим пучком, соответствующим моде одного вращения, а выводится пучком, соответствующим моде противоположного вращения.

Первый эксперимент выполнен с импульсным гиротроном на частоте 35 ГГц. Относительно низкая частота для этого эксперимента выбрана по причине доступности источника внешнего сигнала - магнетрона с мощностью до 25 кВт. При выходной мощности гиротрона 0.9 МВт измеренные полоса (11 МГц) и время захвата (100-200 нс) колебаний находятся в согласии с численными расчетами.

Публикации

1. V. Bakunin, G. Denisov, Y. Novozhilova. Zones of Locked Oscillations in a MW-Power Gyrotron Driven by External Microwave Signal. Proceedings of 38 Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2013, Mainz, Germany, USA.
2. A.G.Litvak, G.G.Denisov, V.L.Bakunin, A.V.Chirkov, A.N.Kuftin, et al. New Results and New Trends in Development of Gyrotrons for Fusion. Proceedings of 39 Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2014, Tucson, USA.
3. Бакунин В.Л., Денисов Г.Г., Новожилова Ю.В. Стабилизация частоты и фазы многомодового гиротрона мегаваттного уровня мощности внешним сигналом. ПЖТФ, 2014, том 40, выпуск 9, 41-47.
4. V.L. Bakunin, G.G. Denisov, Yu.V. Novozhilova. Synchronization of MW-level power gyrotron by external signal and zones of stable single-frequency generation. Journal on Infrared, Millimeter and THz Waves, 2014.
5. G.G.Denisov. Recent results and new trends in development of gyrotrons for fusion. Proceedings of SMSA, Nizhny Novgorod, Russia, 2014.
6. G.G. Denisov, S.V. Samsonov, S.V. Mishakin, I.G. Gachev. Microwave system for feeding and extracting power to and from a gyrotron traveling-wave tube through one window. IEEE Electron Device Letters. Volume: 35, Issue 7, 789 - 791.
7. A.V.Chirkov, G.G.Denisov, and A.N.Kuftin. Perspective gyrotrons with mode converter for co- and counter-rotation operating modes. Направлена в Applied Physics Letters.

1.4. При использовании синтезированного квазиоптического преобразователя, обеспечивающего высокоэффективный вывод излучения мод различных вращений,

показана возможность электронного переключения направления выходного волнового пучка мегаваттного гиротрона

Авторы: А.В.Чирков, Г.Г. Денисов, А.Н.Куфтин

Аннотация. Мощные квазинепрерывные гиротроны коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн используются в качестве источников СВЧ излучения для нагрева плазмы в условиях электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР) в установках управляемого термоядерного синтеза (УТС). В настоящее время выходная мощность разрабатываемых для этих целей гиротронов, работающих на частотах до 170 ГГц, составляет порядка 1 МВт при длительности импульсов генерации до нескольких сотен секунд. Для СВЧ комплексов крупных современных и строящихся токамаков (Asdex-Upgrade, D-III-D, JT-60, JT-60SA, ITER, DEMO) и стеллараторов (LHD, W-7X) требуются десятки таких генераторов с соответствующим комплектом оборудования.

В рамках научно-исследовательской работы, выполняемой ИПФ РАН, разработан, изготовлен и успешно испытан прототип 170 ГГц гиротрона с выходной мощностью до 1.5-2 МВт с возможностью электронного переключения направления выходного волнового пучка. Переключение направления осуществляется изменением вращения рабочей моды на противоположное посредством небольших изменений тока дополнительной катодной катушки. Гиротрон был спроектирован для использования рабочей моды $TE_{28,12}$ при ускоряющем напряжении до 95-100 кВ, токе пучка до 60 А и структуре магнитного поля, соответствующей штатному криомагниту 170 ГГц/1 МВт гиротрона ЭЦР комплекса ITER. Разработанный встроенный синтезированный квазиоптический преобразователь обеспечивает высокоэффективный вывод излучения мод различных вращений в гауссовы волновые пучки под углом $\pm 10^\circ$ к нормали выходного окна гиротрона.

Экспериментальный макет гиротрона был испытан при длительности импульсов генерации 100 мкс и частоте повторения 5-10 Гц. Выходная мощность достигала 2 МВт при КПД 34 % (без рекуперации остаточной энергии). Для всех мод измеренные дифракционные потери в квазиоптическом преобразователе имеют приемлемый уровень $\leq 2\%$, а содержание гауссовой компоненты в выходных пучках составляет $\geq 98\%$. Полученные параметры дают возможность использовать разработанный высокоэффективный синтезированный квазиоптический преобразователь в непрерывном мегаваттном приборе. Результаты испытаний короткоимпульсного макета 170 ГГц гиротрона находятся в хорошем соответствии с расчетными данными. Все элементы гиротрона рассчитаны на освоение непрерывного режима работы.

Предложенная новая схема гиротрона с разработанным синтезированным квазиоптическим преобразователем мод противоположного вращения принципиально расширяет параметры прибора - возможность электронного переключения направления выходного волнового пучка мегаваттного гиротрона, и возможность использования эффективной входной схемы захвата частоты/фазы генерации гиротрона внешним сигналом (синхронизация гиротронов, компенсация нестабильности высоковольтных источников питания, увеличение эффективности одномодовой генерации, стабилизация частоты и фазы, подавление паразитных мод).

Публикации

1. A.G.Litvak, G.G.Denisov, V.L.Bakunin, A.V.Chirkov, A.N.Kuftin, et al. New results and new trends in development of gyrotrons for fusion. Proceedings of 39 Int. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2014, Tucson, USA.

2. G.G.Denisov. Recent results and new trends in development of gyrotrons for fusion. Proceedings of SMSA, p.158 (2014).

3. A.V.Chirkov, G.G.Denisov, and A.N.Kuftin. Perspective gyrotrons with mode converter for co- and counter-rotation operating modes. Направлена в Applied Physics Letters.

1.5. Предложена новая схема электронно-циклотронного нагрева для крупномасштабных прямых магнитных ловушек, основанная на эффекте захвата излучения в трехмернонеоднородной гиротропной плазме. Схема реализована в системе дополнительного ЭЦ нагрева плазмы на установке ГДЛ (ИЯФ им. Будкера, Новосибирск), что позволило поднять температуру электронов до рекордного для этого класса установок значения 650 эВ. Эксперименты на установке ГДЛ подтвердили высокую эффективность ЭЦ нагрева в узком диапазоне углов ввода излучения в полном соответствии с предсказаниями теории.

Авторы: Е.Д. Господчиков, Г.Г.Денисов, В.И. Малыгин, О.Б. Смолякова, А.Г. Шалашов (ИПФ РАН), M.Thumm, А.Л. Соломахин, П.А. Багрянский, Д.В.Яковлев (ИЯФ им. Будкера СО РАН)

Аннотация. Поглощение электромагнитных волн в условиях электронно-циклотронного (ЭЦ) резонанса широко используется для нагрева высокотемпературной плазмы в крупномасштабных тороидальных магнитных ловушках. Однако применение этого метода в открытых магнитных ловушках до недавнего времени было ограничено либо относительно компактными лабораторными установками, либо задачами стабилизации плазмы достаточно низкой плотности. Эффективный ЭЦ нагрев плотной плазмы в большой открытой ловушке был продемонстрирован лишь в конце 2013 года на установке ГДЛ (газодинамическая ловушка) в Институте ядерной физики им. Г.И.Будкера. Практическая реализация такого нагрева очень нетривиальна, поскольку для эффективного поглощения коротковолновое излучение гиротрона должно распространяться вдоль магнитного поля, однако ввод излучения с торцов ловушки физически невозможно из-за эффекта «отсечки» излучения плазмой. Применяемые в тороидальных ловушках схемы нагрева с вводом излучения поперек магнитного поля тоже неэффективны из-за относительно низкой температуры электронов и компактности прямой ловушки по сравнению с токамаком. Тем не менее, удалось найти новую схему нагрева, решающую все основные проблемы: позволяющую обойти сильную рефракцию при вводе излучения в плазму из вакуума и обеспечивающую квазипродольное распространение излучения в области поглощения. Это возможно, если волновой пучок вводится через боковую поверхность плазменного столба со стороны сильного магнитного поля под специально подобранным углом к магнитному полю так, что пучок захватывается за счет рефракции в трехмерно неоднородной гиротропной плазме и подходит к поверхности ЭЦ резонанса под углом, обеспечивающим хорошее поглощение. Результат состоит в том, что эта довольно нетривиальная схема подтвердилась в эксперименте.

Публикации

[1] A. G. Shalashov, E. D. Gospodchikov, O. B. Smolyakova, P.A. Bagryansky, V. I. Malygin, M. Thumm. Auxiliary ECR heating system for the gas dynamic trap // PHYSICS OF PLASMAS 19, 052503 (2012)

[2] A. G. Shalashov, E. D. Gospodchikov, O. B. Smolyakova, P.A. Bagryansky, V. I. Malygin, M. Thumm Auxiliary ECR heating system for the gas dynamic trap // Problems of Atomic Science and Technology, Series: Plasma Physics. Vol 6, p. 49 (2012)

[3] P.A. Bagryansky, S.P. Demin, E.D. Gospodchikov, Yu.V. Kovalenko, V. I. Malygin, S.V. Murakhtin, V.Ya. Savkin, A.G. Shalashov, O.B. Smolyakov, A.L. Solomakhin, M. Thumm, D.V. Yakovlev. ECR heating system for the gas dynamic trap // Fusion Science and Technology. Vol. 63 (1T), p. 40 (2013)

[4] P.A. Bagryansky, E.D. Gospodchikov, Yu.V. Kovalenko, A.A. Lizunov, V.V. Maximov, S.V. Murakhtin, E.I. Pinzhenin, V.V. Prikhodko, V.Ya. Savkin, A.G. Shalashov, E.I. Soldatkina, A.L. Solovakhin, D.V. Yakovlev First results of auxiliary ECR heating experiments in GDT magnetic trap // Proceedings of 9th International Workshop Strong Microwaves and terahertz waves: sources and applications Nizhniy Novgorod- Perm – Nizhniy Novgorod 24-30.07.2014, p. 127 (2014)

[5] P.A. Bagryansky, E.D. Gospodchikov, Yu.V. Kovalenko, A.A. Lizunov, V.V. Maximov, S.V. Murakhtin, E.I. Pinzhenin, V.V. Prikhodko, V.Ya. Savkin, A.G. Shalashov, E.I. Soldatkina, A.L. Solomakhin, D.V. Yakovlev. Achievement of a record electron temperature for a magnetic mirror device. Submitted to Phys. Rev. Lett. (2014)

1.6. Исследовано взаимное влияние оптических и терагерцовых импульсов при их совместном распространении в электрооптических кристаллах. Показано, что в процессе взаимодействия происходят изменения энергии и спектра оптического импульса, определяемые амплитудой и фазой терагерцового поля. Использование частотной фильтрации при регистрации спектральных изменений оптического излучения позволяет реализовать новый метод когерентного детектирования терагерцового излучения. Для предложенного метода предсказана и продемонстрирована чувствительность, более чем на порядок превышающая чувствительность стандартного метода электрооптического стробирования.

Авторы: Ахмеджанов Р.А., Иляков И.Е., Шишкин Б.В. (ИПФ РАН), Китаева Г.Х. (МГУ)

Аннотация. Теоретически и экспериментально исследовано взаимодействие оптических и терагерцовых импульсов при совместном распространении в электрооптических кристаллах. Показано, что их взаимодействие приводит к изменениям энергии и спектра лазерного импульса, величина которых пропорциональна первой производной по времени от напряженности терагерцового поля. Найдена количественная связь между изменением параметров лазерного и терагерцового импульсов. Результаты теоретического анализа находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными. Исследована возможность реализации новой схемы когерентного детектирования терагерцового излучения, основанная на измерении прошедшей через спектральный фильтр энергии оптического импульса. Экспериментально продемонстрировано, что чувствительность предложенной схемы при использовании оптического фильтра с резким наклоном спектрального пропускания более чем на порядок превышает чувствительность стандартной схемы.

Публикации

1. I. E. Ilyakov, G. Kh. Kitaeva, B. V. Shishkin and R. A. Akhmedzhanov Laser pulse amplitude changes induced by terahertz waves under linear electro-optic effect. Appl.Phys.Lett. **104**, 151107 (2014)

2. I. E. Ilyakov, G. Kh. Kitaeva, B. V. Shishkin and R. A. Akhmedzhanov. Electro-optic sampling based on optical-terahertz energy exchange. Proceedings of Inter. Conf. "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications", July 24-30, 2014, P.

1.7. Разработан способ получения высокоплотной (плотность порядка 99 % от теоретической) оксидной керамики с субмикронным размером зерна за время порядка нескольких минут при микроволновом нагреве. При скоростях нагрева 100 ... 3000 °С/мин и отсутствии изотермической выдержки характерное время процесса сокращается в 10...100 раз по сравнению со значениями, типичными для спекания с использованием традиционных методов нагрева.

Авторы: Ю.В. Быков, С.В. Егоров, А.Г. Еремеев, И.В. Плотников, К.И. Рыбаков, А.А. Сорокин

Аннотация. Уникальная возможность получения керамики с близкой к теоретической плотностью при нулевом времени выдержки при температуре спекания объясняется спецификой поведения материала в интенсивном микроволновом поле. Снижение температуры плавления приграничных областей зерен вследствие присутствия в них повышенных концентраций дефектов и примесных атомов, и преимущественное поглощение в этих областях микроволновой энергии, приводит к их переходу в квазижидкое состояние при среднемассовой температуре образца существенно ниже температуры плавления спекаемого материала. Условием этого является нагрев спекаемого керамического изделия на участке от начала уплотнения до температуры, обеспечивающей достижение максимальной плотности керамики, микроволновым излучением такой интенсивности, что в материале изделия происходит расплавление приграничных областей зерен. Возникающие вследствие объемного поглощения микроволнового излучения термоупругие напряжения существенно превосходят капиллярные напряжения. Высокие скорости диффузионного массопереноса в жидкой фазе обеспечивают сверхбыстрое уплотнение материала. В результате время спекания не превышает нескольких единиц минут.

Авторами продемонстрировано высокоскоростное спекание керамических материалов составов 5 ат.% $\text{Yb}:(\text{La}_{0.1}\text{Y}_{0.9})_2\text{O}_3$, Al_2O_3 и MgAl_2O_4 . Микроволновый нагрев осуществлялся на гиротронном комплексе с регулируемой мощностью излучения до 5 кВт на частоте 24 ГГц, разработанном в Институте прикладной физики РАН. Компьютерная система управления комплекса позволяет реализовывать процессы нагрева в наперед заданных режимах со скоростью увеличения температуры до 3000 °С/мин. В результате получены образцы керамики с плотностью не менее 99 % от теоретического значения. В частности, удалось получить образцы беспористой лазерной керамики с прозрачностью более 60 % во всем оптическом диапазоне. Исследование микроструктуры полученных образцов показало наличие следов квазижидкой фазы в межзеренных границах и деформацию краевых областей зерен, вызванную термическими напряжениями. Размер зерна в керамических материалах, спеченных в высокоскоростных режимах, примерно на порядок меньше, чем размер зерна в аналогичных материалах при традиционном спекании.

Публикации

1. Yu. Bykov, A. Eremeev, S. Egorov, K. Rybakov, A. Sorokin. Ultra-rapid microwave sintering of oxide ceramics // Proc. Intern. Conf. on SINTERING 2014, 24 – 28 Aug. 2014, Dresden, Germany, pp. 200-201.

2. K. I. Rybakov, Yu. V. Bykov, A. G. Eremeev, S. V. Egorov, V. V. Kholoptsev, A. A. Sorokin, V. E. Semenov. Microwave ultra-rapid sintering of oxide ceramics // Ceramic Transactions, 2014, принято к опубликованию.

1.8. Теоретически показана возможность амплитудной модуляции интенсивного непрерывного СВЧ-излучения на основе эффекта нелинейного просветления, возникающего при резонансном взаимодействии со встречным потоком невозбужденных циклотронных осцилляторов. Найдена область параметров, в которой начальный стационарный сигнал разбивается на последовательность коротких (субнаносекундных) импульсов, каждый из которых представляет собой солитон. Исследуемый эффект предлагается использовать для амплитудной модуляции излучения коротковолновых гиротронов.

Авторы: Н.С.Гинзбург, И.В.Зотова, А.С.Сергеев, В.Ю.Заславский, Е.Р.Кочаровская, И.В.Железнов

Аннотация. Расширение круга приложений мощных источников электромагнитного излучения, включая диагностику плазмы, системы локации, спектроскопию и т.д., обуславливает актуальность исследований по трансформации излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в когерентную последовательность коротких (наносекундных) импульсов. Для решения указанной задачи предложено использовать эффект модуляции стационарного излучения при резонансном взаимодействии со встречным потоком невозбужденных циклотронных осцилляторов. В такой системе существует определенная область параметров, в которой начальный стационарный сигнал разбивается на последовательность коротких импульсов, каждый из которых представляет собой солитон со стабильными параметрами. Описанный эффект возникает исключительно вследствие неизохронности, которая в данном случае обусловлена релятивистской зависимостью гирочастоты от энергии частиц. Подобно мазерам на циклотронном резонансе (МЦР) эта зависимость оказывается существенной уже при кинетической энергии электронов много меньше их энергии покоя. Однако, если в МЦР частицы обладают начальной скоростью движения по круговой орбите, и электронный поток является аналогом возбужденной активной среды, то в рассматриваемом случае первоначально прямолинейный электронный поток, формирует резонансную пассивную среду. Несмотря на предельную простоту исследуемой системы (прямолинейный электронный поток резонансно взаимодействует со встречной электромагнитной волной) как с точки зрения практической реализации, так и теоретического описания, нелинейность, обусловленная неизохронностью движения электронов в магнитном поле, в совокупности с эффектами запаздывания приводит к достаточно нетривиальной картине стационарных и нестационарных динамических режимов. Экспериментальная реализация последних может быть весьма продуктивной для использования субмм гиротронов в спектроскопии.

Публикации

I.V. Zotova, N.S. Ginzburg, A.S. Sergeev, E.R. Kocharovskaya, V.Yu. Zaslavsky
Conversion of electromagnetic wave into a periodic train of solitons under cyclotron resonance interaction with backward beam of unexcited oscillators. Phys.Rev.Lett. 113, 143901 (2014)

1.9. Показано, что приближенное описание электронных траекторий с помощью прямых, перпендикулярных поверхности электродов, позволяет с хорошей точностью оценить пороги мультипакторного разряда, возникающего между металлическими электродами, поверхности которых не параллельны между собой. Корректность метода подтверждена прямым численным моделированием разряда, возникающего между электродами спиральной антенны. Полученные результаты можно использовать для повышения электрической прочности систем спутниковой связи.

Авторы: В.Е. Семенов, Е.И. Ракова (ИПФ РАН), J. Rasch (Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden), J. F. Johansson (RUAG Space AB, Gothenburg, Sweden)

Аннотация. Мультипакторный разряд, возникающий на поверхности твердых тел в вакууме, создает в настоящее время серьезные проблемы для развития систем спутниковой связи. Поэтому во многих научных центрах во всем мире ведется активный поиск эффективных методов подавления этого разряда. Существенной помехой для такого поиска является отсутствие простых аналитических моделей, описывающих зависимость порогов возникновения разряда от геометрической формы системы. Такая модель существовала только для простейшей плоско-параллельной геометрии системы. В отсутствие такой более общей модели поиск возможностей подавления разряда приходится вести наугад, перебирая большое число разнообразных параметров. Такой поиск велся в течение многих лет и в ИПФ РАН, где создавались пакеты программ и проводилось численное моделирование мультипакторного разряда в самых разнообразных радиотехнических системах. В ходе этих исследований были установлены достаточно общие закономерности движения для тех электронов, которые дают основной вклад в развитие разряда. В частности, траектории движения таких электронов можно с достаточной точностью аппроксимировать прямыми линиями, перпендикулярными поверхности металлических электродов. Используя такую аппроксимацию, удалось предложить простой способ расчета эффектов, связанных с фокусировкой и дефокусировкой пучков электронных траекторий между электродами, поверхности которых не параллельны или являются искривленными. Расчет этих эффектов позволил дать простую оценку влияния геометрической формы электродов на пороги возникновения разрядов. В частности, было показано, что пороги возникновения разряда могут быть весьма существенно повышены в результате нарушения параллельности поверхностей противоположных электродов. Справедливость данной оценки была подтверждена для ряда радиотехнических систем прямым численным моделированием разряда. Использование предложенного метода анализа порогов мультипакторного разряда открывает большие возможности для повышения электрической прочности систем спутниковой связи.

Публикации

1. J.Rasch, D.Anderson, J.Johansson, M.Lisak, J.Puech, E.Rakova, V.Semenov. Microwave multipactor breakdown between two cylinders. IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 38, NO. 8, pp. 1997-2005 (2010),

2. J. Rasch, V. E. Semenov, E. Rakova, D. Anderson, J. F. Johansson, M. Lisak and J. Puech. Simulations of multipactor breakdown between two cylinders. IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 39, Issue 9, pp. 1786-1794 (2011).

3. V. E. Semenov, J. Rasch, E. Rakova, and J. F. Johansson. General study of multipactor between curved metal surfaces. IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 42, NO. 3, pp. 721-728 (2014).

1.10. Предложен авторезонансный механизм формирования инвертированных распределений по уровням Ландау для дираковских электронов в графене и топологических изоляторах. Показано, что для минимальных на сегодняшний день констант релаксации $\hbar\gamma \approx 0.1-1 meV$ при помощи существующих каскадных лазеров может быть сформирован энергетический спектр с «разрывом» в несколько уровней Ландау.

Авторы: М.Д. Токман, М.А. Ерухимова (ИПФ РАН), А. Белянин (Texas A&M University)

Аннотация. В последние годы проявляется значительный интерес к исследованиям нелинейно-оптических свойств сред с безмассовыми дираковскими носителями заряда в графене и топологических изоляторах типа Bi_2Se_3 . В частности, интенсивно исследуется циклотронный резонанс электромагнитного излучения с дираковскими электронами.

Авторами исследовано циклотронное ускорение дираковских частиц в случае произвольного возмущения импульса. Использован метод анализа квазиклассических траекторий на фазовой плоскости с учетом релаксационных процессов. Показано, что известные для классических заряженных частиц механизмы ускорения в режиме фазового захвата (авторезонанса) могут быть реализованы и для безмассовых дираковских носителей заряда. На основе режима авторезонанса предложен метод формирования энергетического спектра электронов с «разрывом», величина которого управляется магнитным полем.

Такие инвертированные распределения могут оказаться полезными как в задачах исследования свойств графена и топологических изоляторов, так и в задачах создания новых источников терагерцового и инфракрасного диапазонов. Показано, что для минимальных на сегодняшний день констант релаксации $\hbar\gamma \approx 0.1-1 \text{ meV}$, достижимых в топологических изоляторах, энергетический спектр с «разрывом» в 4-5 уровней Ландау может быть сформирован при помощи существующих каскадных лазеров ($\lambda \approx 0.1 \text{ mm}$, $P \geq 1 \text{ W}$).

Публикации

М.Д. Токман, М.А. Ерухимова, А. Белянин, Нелинейное циклотронное ускорение безмассовых дираковских носителей заряда в графене и топологических изоляторах // Письма в ЖЭТФ, т. 100, вып. 6, стр. 434-441 (2014)

1.11. Построена теория сверхизлучательной релаксации циклотронного возбуждения двумерного электронного газа. Теория объясняет экспериментальные зависимости времени релаксации такого возбуждения от поверхностной плотности электронов и величины магнитного поля для системы квантовых ям на поверхности GaAs, возбуждаемых терагерцовым видеоимпульсом. Использован предложенный авторами новый метод описания релаксации, адекватный рассматриваемой квантовой системе. Результаты теории подтверждаются данными эксперимента.

Авторы: М.Д. Токман, М.А. Ерухимова (ИПФ РАН), А. Белянин (Texas A&M University)

Аннотация Исследование релаксационных процессов в возбужденных многочастичных системах представляет фундаментальный интерес для различных областей квантовой науки и техники. Квантованный в магнитном поле двумерный электронный газ представляет собой уникальную по своим возможностям перестраиваемую систему для исследования динамики квантового ансамбля.

Построена теория релаксационной динамики квантованного в магнитном поле двумерного электронного газа в системе квантовых ям на поверхности GaAs, возбуждаемого терагерцовым импульсом. Теория основана на предложенном авторами методе описания релаксации, который позволяет получить корректные уравнения для макропараметров системы в области, в которой стандартные модели релаксации неприменимы (непригодны в условиях взаимодействия квантовой системы с

широкополосным излучением и не удовлетворяют калибровочной инвариантности решения).

Теория предсказывает сверхизлучательный механизм релаксации циклотронного возбуждения в рассматриваемой системе и объясняет экспериментальные зависимости времени релаксации от поверхностной плотности электронов и величины магнитного поля.

Публикации

1. Qi Zhang, Takashi Arikawa, Eiji Kato, John L. Reno, Wei Pan, John D. Watson, Michael J. Manfra, Michael A. Zudov, Mikhail Tokman, Maria Erukhimova, Alexey Belyanin, and Junichiro Kono. Superradiant Decay of Cyclotron Resonance of Two-Dimensional Electron Gases // *Phys. Rev. Letters* 113, 047601 (2014)

2. M. Tokman, M. Erukhimova, Corrections to the phenomenological relaxation models for open quantum systems, *J. Lumin.* 137 (2013), 148

3. M.D. Tokman, Gauge invariance of phenomenological models of the interaction of quantum dissipative systems with electromagnetic fields, *Phys. Rev. A* 79 (2009) 053415

1.12. Показано, что в фотосфере вырожденной звезды — одиночного белого карлика — резко уменьшается столкновительное поглощение излучения, поляризованного поперёк сильного внешнего магнитного поля на частотах ниже электронной циклотронной частоты. В результате электромагнитные волны с необыкновенной поляризацией могут выходить из более глубоких и горячих слоёв фотосферы, чем обыкновенные волны, и таким образом могут определять линейную поляризацию наблюдаемого излучения в инфракрасном континууме магнитного белого карлика.

Авторы: С. А. Корягин

Аннотация. Известно, что в плазме без магнитного поля столкновительное поглощение излучения достаточно резко возрастает с увеличением длины волны — обратно пропорционально квадрату длины волны. Мы показали, что в специфических условиях фотосферы магнитного белого карлика поглощение, напротив, уменьшается с увеличением длины волны для электромагнитных волн с выделенной поляризацией. Обнаруженное просветление происходит в фотосферной плазме белого карлика с низкой температурой порядка одного электрон-вольта и сильным магнитным полем больше десяти мегагаусс. В этом случае движение электрона становится практически одномерным не только вдали от рассеивающего центра, но и непосредственно в столкновении: частица совершает много циклотронных оборотов за время пролёта около рассеивающего центра. Тогда поперечная к магнитному полю компонента кулоновской силы рассеивающего центра вызывает лишь медленный электрический дрейф электрона поперёк магнитных силовых линий. В результате в столкновениях резко уменьшается мощность тормозного излучения волн, поляризованных поперёк магнитного поля, по сравнению со случаем немагнитной плазмы. Снижение мощности настолько велико, что, согласно закону Кирхгофа, столкновительное поглощение таких волн уменьшается с увеличением длины волны, а не увеличивается, как в немагнитной плазме. Холодная сильно разреженная замагнитненная плазма подобна одноосному кристаллу для излучения с частотами ниже электронной циклотронной частоты, поэтому в ней как раз распространяются необыкновенные волны с сохранением необходимой линейной поляризацией поперёк магнитного поля. Соответственно необыкновенные волны могут выходить к наблюдателю из более глубоких и горячих слоёв звёздной фотосферы, чем обыкновенные волны, и тем самым способны порождать наблюдаемую линейную поляризацию излучения одиночных магнитных белых карликов в инфракрасном диапазоне.

Публикации

Корягин С. А. Тормозное излучение волн, линейно поляризованных поперёк сильного внешнего магнитного поля, в низкоэнергичных электрон-ядерных столкновениях // Известия вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56, № 10. С. 739–753.

Бубукина И. И., Корягин С. А. Тормозное излучение при столкновениях низкоэнергичных электронов с положительными ионами в магнитном поле // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2009. Т. 135, № 6. С. 1056–1067.

Koryagin S. A. High transparency of photosphere plasma for electromagnetic waves polarized across strong magnetic field on white dwarfs // 19th European White Dwarf Workshop — 40 years of European White Dwarf Workshops (1974–2014), August 11–15, 2014, Montreal, Canada. P. 23–24.

Корягин С. А. Дихроизм плазмы по столкновительному поглощению в условиях фотосферы белого карлика с сильным магнитным полем // Всероссийская астрофизическая конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра (HEA-2013)», 23–26 декабря 2013 г. М.: Институт космических исследований РАН, 2013. С. 51.

Корягин С. А. Высокая линейная поляризация тормозного излучения в фотосфере белого карлика с сильным магнитным полем // Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная» — ВАК-2013, 23–27 сентября 2013 года, Санкт-Петербург: Тезисы докладов. С. 151–152.

Bubukina I. I., Koryagin S. A. Strong linear polarization of bremsstrahlung emissivity in photospheres of magnetic white dwarfs // Journal of Physics: Conference Series. 2009. V. 172. 16th European White Dwarfs Workshop, 30 June–04 July 2008, Barcelona, Spain. Art. id. 012052 (4 pages).

1.13. Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра. Эта структура в виде квазигармонических параллельно дрейфующих полос повышенного излучения обязана своим происхождением плазменному механизму генерации на уровнях двойного резонанса, где плазменная частота близка к гармоникам гирочастоты электронов. Показано, что заметная поляризация наблюдаемого на Земле радиоизлучения может возникнуть, только если оно является результатом рассеяния (в том числе, индуцированного) плазменных волн ионами или слияния этих волн с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона. В этих условиях обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна оказывается в зоне непрозрачности и не покидает источник. Указаны возможные причины деполаризации радиоизлучения с зебра-структурой, которое выходит из источника полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны.

Авторы: Е.Я.Злотник, В.В.Зайцев (Институт прикладной физики РАН), А.Т.Алтынцева (Институт солнечно-земной физики СО РАН)

Аннотация. Зебра-структура представляет собой самую интересную разновидность тонкой структуры на динамических спектрах радиоизлучения Солнца. Она выглядит, как квазигармонические параллельно дрейфующие полосы повышенной интенсивности, которые наблюдаются на фоне континуума IV типа, и присутствует во всем диапазоне наблюдаемых радиоволн – от сантиметровых до декаметровых волн. Наблюдаемые свойства зебра-структуры объясняются в рамках теории, основанной на эффекте двойного плазменного резонанса, который реализуется в неоднородной магнитной ловушке, заполненной слабоанизотропной равновесной плазмой с небольшой примесью неравновесных по поперечным относительно магнитного поля скоростям.

Эффект двойного плазменного резонанса состоит в том, что инкремент неустойчивости, вызванной такими электронами, сильно возрастает в тех областях, где частота верхнего гибридного резонанса $f_{UH} = \sqrt{f_p^2 + f_B^2}$ (или плазменная частота в слабоанизотропной корональной плазме) совпадает с гармониками электронной гирочастоты: $f_p = s f_B$.

Именно такие уровни и являются источниками разрешенных полос повышенной яркости.

Согласно имеющимся в мировой литературе данным, радиоизлучение в зебра-полосах сильно поляризовано, и знак поляризации, вероятнее всего, соответствует обыкновенной волне. В рамках плазменного механизма генерации поляризация радиоизлучения, принимаемого на Земле, обусловлена разной интенсивностью трансформации плазменных волн в обыкновенные или необыкновенные волны или разными условиями выхода этих волн из источника. В слабоанизотропной плазме, которая является источником зебра-структуры с достаточно высокими номерами гармоник s , степень поляризации радиоизлучения на удвоенной плазменной частоте, возникшего в результате комбинационного рассеяния плазменных волн, пропорциональна малому фактору - отношению электронной гирочастоты к плазменной частоте, и не может быть значительной. Заметная поляризация может возникнуть только в случае, если наблюдаемое радиоизлучение есть результат рассеяния плазменных волн на ионах (в том числе, индуцированного) или слияния их с низкочастотными волнами. В этом случае обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна попадает в зону затухания и не покидает источник. В результате выходящее радиоизлучение оказывается полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны. Выяснены также возможные причины деполяризации радиоизлучения с зебра-структурой.

Публикации

E.Ya.Zlotnik, V.V.Zaitsev, A.T.Alyntsev, On polarization of the Zebra Pattern in Solar Radio Emission, *Solar Physics*, 2014, v. 289, pp. 233–249

1.14. Теоретически обоснован и экспериментально продемонстрирован новый метод самокомпрессии релятивистски сильных лазерных импульсов до нескольких колебаний поля при возбуждении кильватерной плазменной волны. Развита теория нестационарного самовоздействия широких (в масштабе длины плазменной волны) пространственно-ограниченных сверхкоротких лазерных импульсов. Самосжатие волнового поля, длительностью меньше периода плазменных колебаний, связана с самосогласованным вытеснением электронов в задней части импульса. Для мультипетаваттных лазерных импульсов насыщение релятивистской нелинейности приводит к квазиодномерному режиму самосжатия лазерного импульса. При этом характерная длина формирования сжатого импульса зависит от интенсивности поля по степенному закону. При релятивистски слабых интенсивностях самокомпрессия волнового пакета протекает в условиях нестационарной самофокусировки излучения; в этом случае характерная длина компрессии зависит от интенсивности экспоненциально. Экспериментально продемонстрировано самосжатие суб-петаваттных лазерных импульсов с длительностью 30 фс до 10 фс в газовой струе в квазиодномерном режиме.

Авторы: А.А. Балакин, А.В. Ким, А.Г. Литвак, В.А. Миронов, С.А. Скобелев (ИПФ РАН), О. Вилли (Университет Генриха Гейне, Дюссельдорф, Германия)

Аннотация. Выполнен цикл работ по исследованию самовоздействия релятивистски сильных лазерных импульсов в плазме в условиях возбуждения кильватерной плазменной волны. Предложен новый перспективный метод

самокомпрессии лазерных импульсов петаваттного уровня мощность вплоть до одного колебания поля. Самосжатие волнового пакета связана с тем, что в условиях возбуждения кильватерной волны в задней части волнового пакета происходит вытеснение электронов, а в передней части импульса наоборот концентрация электронов увеличивается. Следовательно задняя часть импульса догоняет переднюю часть, так как групповая скорость волнового пакета в плазме увеличивается с уменьшением концентрации электронов. Как показали результаты аналитических и численных исследований темп укорочения лазерного импульса протекает по разному в зависимости от величины амплитуды векторного потенциала. В случае, когда амплитуда векторного потенциала мала по сравнению с релятивистским значением лазерный импульс будет испытывать самофокусировку, что приведет к дополнительному усилению поля. Как показал качественный анализ в этом случае характерная длина экспоненциально уменьшается с увеличением мощности в лазерном импульсе. В другом предельном случае, когда из-за насыщения нелинейности подавляется самофокусировка (реализуется квазиодномерная ситуация) темп укорочения ниже и зависимость длины компрессии волнового пакета степенная от амплитуды лазерного импульса.

Проведено детальное теоретическое исследование шланговой неустойчивости распространяющихся в плазме релятивистски сильных лазерных импульсов с длительностью менее периода кильватерной плазменной волны. Получено аналитическое выражение для смещения центра масс волнового пучка и проанализировано влияние этой неустойчивости на процесс модификации спектра лазерного излучения для широкой области начальных параметров. Показано, что развитие неустойчивости характеризуется степенной (не экспоненциальной) зависимостью от времени на трассе распространения и не приводит к ухудшению режима самокомпрессии лазерных импульсов.

Наряду с теоретическим анализом был проведен также эксперимент. В эксперименте, было продемонстрировано сжатие релятивистски сильного лазерного импульса с мощностью 100 ТВт с 30 фс до 10 фс в газовой струе длиной 2 мм с концентрацией газа $1.1 \cdot 10^{19}$ Вт/см². Анализ экспериментальных спектров показал, что можно было рассчитывать и на более сильное укорочение лазерного импульса, но с данным SPIDER нельзя достоверно измерить более короткие волновые пакеты.

Публикации

1. А.А. Балакин, А.Г. Литвак, В.А. Миронов, С.А. Скобелев, "О самофокусировке сверхкороткого релятивистски сильного лазерного импульса в плазме", **ЖЭТФ**, т. 139, стр. 579-586 (2011).
2. A. A. Balakin, A. G. Litvak, V. A. Mironov, S. A. Skobelev, "Self-compression of relativistically strong femtosecond laser pulses during the excitation of a plasma wake wave", **EPL** v.100, 34002 (2012).
3. A. A. Balakin, A. G. Litvak, V. A. Mironov, S. A. Skobelev, "Compression of femtosecond petawatt laser pulses in a wake-wave excitation plasma under the conditions", **Phys. Rev. A**, v. 88, 023836 (2013).
4. A. Pipahl, E.A. Anashkina, M. Toncian, T. Toncian, S.A. Skobelev, A.V. Bashinov, A.A. Gonoskov, O. Willi, A.V. Kim, "High-intensity few-cycle laser-pulse generation by the plasma-wakefield self-compression effect", **Phys. Rev. E**, v. 87, 033104 (2013).
5. A. V. Kim, A. G. Litvak, V. A. Mironov, and S. A. Skobelev, "Optimization of the regime of shortening of relativistically strong laser pulses in the process of excitation of a plasma wake wave", **Phys. Rev. A**, v. 90, 043843 (2014).
6. A. Pipahl, E.A. Anashkina, M. Toncian, T. Toncian, S.A. Skobelev, A.V. Bashinov, A.A. Gonoskov, O. Willi, A.V. Kim, "Towards high intensity few-cycle pulses using plasma wakefield self-compression effect", **Journal of Physics: Conference Series**, v. 414, 012011 (2013).

1.15. Создан и реализован метод измерения параметров оптических дипольных ловушек для ультрахолодных газов. Метод основан на насыщении ввода энергии при параметрическом возбуждении.

Авторы: Т. В. Бармашова, К. А. Мартьянов, В. Б. Махалов, А. В. Турлапов

Аннотация. Оптическая дипольная ловушка – наиболее популярное средство удержания ультрахолодных атомных и молекулярных газов. Ловушка создаётся в максимуме интенсивности электромагнитного поля, частота которого сдвинута вниз относительно электродипольных переходов в атоме. Из-за действия дипольной силы атомы притягиваются в максимум интенсивности, как показано например на рис. 1, а большая отстройка поля от резонанса делает ловушку почти консервативной.

В прецизионных измерениях над ультрахолодными газами встаёт вопрос о точности измерения параметров ловушки. Её форма повторяет распределение интенсивности поля, близкое к гауссовому в поперечных направлениях (рис. 2). Вблизи дна потенциал близок к гармоническому. Ранее известные методы измерения частот и глубины потенциала основаны на параметрическом вводе энергии в газ, удерживаемый потенциалом, или на наблюдении за колебательными модами газа. Эти методы подвержены систематическим погрешностям, связанным с ангармонизмом.

Впервые разработан метод, который не имеет систематических ошибок, протекающих из ангармонизма. Более того, ангармонизм выступает неотъемлемой частью метода. Для измерения параметров ловушки мощность лазера, создающего ловушку, модулируется на частоте близкой к удвоенной частоте ловушки. При этом в ловушке находится газ невзаимодействующих атомов. Из-за ангармонизма параметрический ввод энергии быстро насыщается, что не даёт газу достигнуть краёв ловушки, где ангармонизм особенно силён. Насыщение происходит, как в квантовом случае, где возбуждение возможно лишь с нижнего энергетического уровня на следующий чётный (рис. 2), так и в случае классического движения. Зависимость введённой энергии от частоты параметрической накачки сравнивается с точной моделью. Это сравнение позволяет найти параметры ловушки. Построение точной модели оказалось возможным благодаря использованию в эксперименте газа невзаимодействующих частиц.

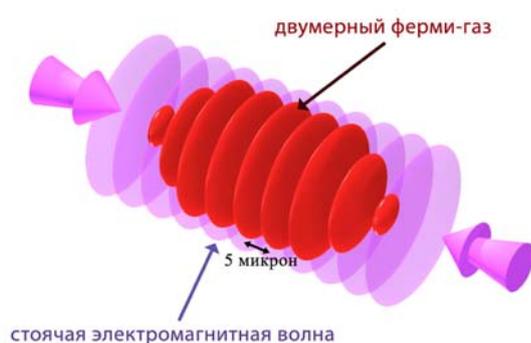


Рис. 1. Облака газа ферми-атомов, удерживаемые в пучностях стоячей электромагнитной волны. Облака показаны красным, интенсивность электромагнитного поля – фиолетовым.

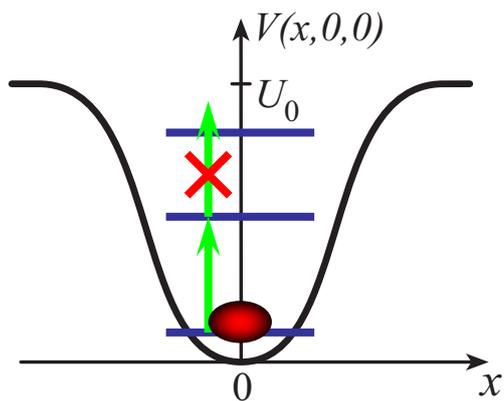


Рис. 2. Возбуждение атомного газа с основного уровня на следующий чётный под действием параметрической накачки. Дальнейшее возбуждение невозможно из-за неэквидистантности уровней.

Публикации

1. *Makhalov V., Martiyanov K., Turlapov A.* Ground-state pressure of quasi-2D Fermi and Bose gases // *Physical Review Letters* — 2014. Vol. 112, no. 4. P. 045301.
2. *V. Makhalov, K. Martiyanov, T. Barmashova, A. Turlapov* Precision measurement of a trapping potential for an ultracold gas// *Physics Letters A* — 2014. Published online 29 Nov, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2014.10.049>.

2. Отделение геофизических исследований, Центр гидроакустики

2.1. Разработана аналитическая модель лидарного изображения уединенной нелинейной внутренней волны (ВВ) в предположении, что поле ВВ описывается решением уравнения Кортевега-де Вриза. Модель описывает изменения лидарного эхо-сигнала, обусловленные воздействием ВВ на пространственное распределение показателя обратного рассеяния воды и энергетические потери на трассе распространения сигнала. Установлены закономерности изменения толщины слоев мутности под воздействием нелинейных ВВ. Показано, что наряду со сжатием слоя, наблюдавшимся в натуральных экспериментах, может происходить его уширение в зависимости от полярности солитона и положения слоя мутности относительно пикноклина. Мутный слой расширяется, если он смещается к пикноклину и сжимается при удалении от него. Показано, что сдвиговое течение, изменяя полярность солитона, может приводить к существенному увеличению амплитуды эхо-сигнала, образующего изображение ВВ, и изменять его структуру. Выполнен расчет и проанализированы особенности лидарных изображений нелинейных внутренних волн с использованием реальных профилей гидрооптических и гидрологических характеристик в Баренцевом море.

Авторы: Долин Л.С., Долина И.С.

Аннотация. Внутренние волны (ВВ) обнаруживаются лидаром благодаря тому, что под влиянием ВВ вертикальные неоднородности первичных гидрооптических характеристик (ПГХ) трансформируются в горизонтальные, что приводит в свою очередь к изменению мощности эхо-сигнала, приходящего с заданной глубины. Наиболее контрастно ВВ проявляются в искажениях формы подповерхностных светорассеивающих слоев (слоев мутности), которые удается наблюдать как корабельными, так и самолетными лидарами. В последние годы были получены экспериментальные данные (*Churnside J.H. et al.*), которые указывают на определенное различие в характере воздействия линейных и нелинейных ВВ на светорассеивающий слой: в первом случае ВВ вызывает волнообразное изменение глубины слоя при сохранении его толщины, а во втором – изгиб слоя с резким уменьшением его толщины.

Математическая модель лидарных изображений линейных внутренних волн была разработана нами ранее с использованием предположения о малости амплитуды волны по сравнению с вертикальным масштабом неоднородности поля ВВ (это предположение позволяло упростить формулы для определения возмущений профилей ПГХ в поле ВВ). Модель изображения нелинейной ВВ построена без использования указанного предположения.

Модели лидарных изображений линейных и нелинейных ВВ во многом подобны друг другу. В обеих моделях использованы эмпирические корреляционные связи между различными ПГХ, позволяющие выразить показатели рассеяния и поглощения воды через показатель ослабления. Изображение нелинейной ВВ, как и линейной, условно разделяется на две части - отражательное изображение, которое несет информацию об изменениях пространственного распределения показателя обратного рассеяния воды в поле ВВ, и просветное (теневое) изображение, возникающее в результате модуляции внутренней волной коэффициента ослабления сигнала на трассе его распространения.

Разработанная модель была применена для установления механизма воздействия нелинейных ВВ на толщину слоев мутности. Оказалось, что основным фактором, влияющим на толщину мутного слоя, является сдвиг слоя относительно функции, описывающей вертикальную структуру поля нелинейной ВВ. При этом наряду со сжатием слоя, наблюдавшимся экспериментально, может происходить его растяжение в зависимости от полярности солитона и положения слоя мутности относительно оси пикноклина.

Исследовано влияние сдвигового течения на лидарный сигнал. Рассмотрена двухслойная модель плотностной стратификации с фоновым горизонтальным течением в верхнем слое и трехслойная с фоновым горизонтальным течением в среднем слое. Выполнен расчет и проанализированы особенности лидарных изображений нелинейных внутренних волн с использованием реальных профилей гидрооптических и гидрологических характеристик в Баренцевом море. Показано, что течение может существенно влиять на структуру отражательного изображения и контраст просветного изображения ВВ (в том числе, изменять знак контраста).

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач дистанционной диагностики внутренних волн и сдвиговых течений.

Публикации

1. *Долин Л.С., Долина И.С.* Модель лидарных изображений нелинейных внутренних волн // Известия РАН, ФАО. 2014. Т. 50, № 2. С. 224-231.
2. *Долина И.С., Долин Л.С.* Влияние сдвиговых течений на структуру лидарных изображений нелинейных внутренних волн // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014, т. 7, № 4.
3. *Dolina I.S., Dolin L.S.* The effect of shear flow on the structure of lidar images of nonlinear internal waves // Proc. VII Int. Conf. "Current Problems in Optics of Natural Waters" (ONW'2013). St.-Petersburg, 2013. P. 12-15.
4. *Долин Л.С., Долина И.С.* Лидарные изображения нелинейных внутренних волн в океане, стратифицированном по плотности, течению и оптическим свойствам. Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики (ГА-2014). Тр. 12-й всеросс. конф. С-Пб.: Наука, 2014, с. 199-202.
5. *Долин Л.С., Долина И.С.* Модель лидарных изображений нелинейных внутренних волн // Труды 11 всероссийской конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». С-Пб.: Наука, 2012, с.12-16.
6. *Dolina I.S., Dolin L.S.* Model of lidar images of nonlinear internal waves // Proc. VI Int. Conf. "Current Problems in Optics of Natural Waters" (ONW'2011). St.-Petersburg, 2011. P. 158-163.

2.2. В ходе натуральных экспериментов по радиолокационному (РЛ) зондированию морской поверхности в X-диапазоне показано, что усредненные доплеровские сдвиги мгновенного спектра РЛ сигнала оказываются близкими к описываемым Брэгговской моделью рассеяния даже в условиях обрушающихся ветровых волн, тогда как в интенсивность рассеяния существенный вклад дает небрэгговская компонента. Эффект связан с тем, что интенсивность небрэгговской компоненты может на порядок и более превышать брэгговскую компоненту в коротких всплесках сигнала в областях обрушений, при этом по энергии обе компоненты сравнимы; мгновенный доплеровский сдвиг в области обрушений лишь в 2-3 раза превышает брэгговский и не дает существенного вклада в среднее значение доплеровского сдвига.

Полученный результат важен для корректных оценок скоростей течений по данным измерений доплеровских сдвигов, в частности, радиолокаторами спутникового базирования.

Авторы: С.А. Ермаков, И.А. Сергиевская, И.А. Капустин, О.В. Шомина (ИПФ РАН) В.Н. Кудрявцев, Б. Шапрон (РГГМУ), Ю.Ю. Юровский (МГИ)

Аннотация. В натуральных условиях исследованы характеристики радиолокационного сигнала X-диапазона при зондировании ветрового поверхностного волнения в условиях умеренного и сильного ветра, получены зависимости интенсивность,

доплеровских сдвиги частоты и радиолокационной модуляционной передаточной функции от угла падения, азимутального угла, скорости ветра, а также при различных поляризациях зондирующего радиосигнала. Показано, что небрэгговское рассеяние обусловленное микро и сильными обрушениями поверхностных волн дает существенный вклад в радиолокационное сечение рассеяния, о чем свидетельствуют меньшие величины измеренного поляризационного отношения по сравнению с расчетами по модели брэгговского рассеяния. Величины усредненных сдвигов мгновенного спектра растут с ростом угла падения, относительно слабо зависят от скорости и направления ветра и достаточно близки для ВВ и ГГ поляризаций. Величины этих доплеровских сдвигов удовлетворительно согласуются с оценками по брэгговской модели рассеяния даже в присутствии сильно нелинейных (обрушивающихся) волн.

Исследована модуляционная передаточная функция (МПФ) радиолокационного сигнала получено, что МПФ удовлетворительно согласуется с Брэгговской моделью, при этом согласие лучше на вертикальной (ВВ) поляризации, чем на горизонтальной (ГГ) поляризации.

Показано, что доплеровские сдвиги среднего спектра превышают мгновенные сдвиг и различны для ВВ и ГГ поляризаций, а также при зондировании против ветра и по ветру. Разница доплеровских сдвигов среднего и мгновенного спектров удовлетворительно объясняются модуляцией интенсивности РЛ сигнала в поле длинных ветровых волн.

Полученные результаты важны для корректных оценок скоростей течений по данным измерений доплеровских сдвигов, в частности, радиолокаторами спутникового базирования.

Публикации

1. Ермаков С.А., Капустин И.А., Кудрявцев В.Н., Сергиевская И.А., Шомина О.В., Шапрон Б., Юровский Ю.Ю. О доплеровских сдвигах частоты радиолокационного сигнала при рассеянии на морской поверхности // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2014. Т. 57. № 04. С. 267-280.

2. Ермаков С.А., Капустин И.А., Сергиевская И.А., Шомина О.В., Кудрявцев В.Н., Коллард Ф., Шапрон Б. Доплеровские сдвиги радиолокационного сигнала рассеянного морской поверхностью. Результаты натуральных экспериментов. // Сборник тезисов XI Всероссийской открытой конференции современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. С. 219.

2.3. Разработан эмпирический подход к созданию моделей климатической динамики, в основе которого лежит построение низкоразмерной стохастической модели оператора эволюции путем прямого анализа пространственно распределенных временных рядов. На серии модельных примеров показана способность таких моделей описывать ключевые динамические свойства системы, ответственные за наблюдаемые режимы поведения. Продемонстрированы предсказательные свойства моделей применительно как к прогнозу критических переходов – резких качественных изменений поведения – в динамике климатических моделей различной сложности, так и к прогнозу климатических индексов по данным климатического мониторинга. Выведен байесов критерий оптимальности модели, позволяющий выбрать модель, сложность которой наиболее адекватна анализируемой выборке данных. Ключевым шагом разработанного подхода является конструирование низкоразмерного базиса фазовых переменных модели по временным рядам, определенным на пространственной сетке. Для этой цели предложены новые методы разложения данных, основанные на выделении пространственно-временных и/или нелинейных мод, вносящих принципиальный вклад в наблюдаемую динамику.

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

Аннотация. Разработан эмпирический подход к созданию моделей климатической динамики, в основе которого лежит построение низкоразмерной стохастической модели оператора эволюции путем прямого анализа пространственно распределенных временных рядов. На серии модельных примеров показана способность таких моделей описывать ключевые динамические свойства системы, ответственные за наблюдаемые режимы поведения. Продемонстрированы предсказательные свойства моделей применительно как к прогнозу критических переходов – резких качественных изменений поведения – в динамике климатических моделей различной сложности, так и к прогнозу климатических индексов по данным мониторинга поверхностной температуры океана (ПТО). Выведен байесов критерий оптимальности модели, позволяющий выбрать модель, сложность которой наиболее адекватна анализируемой выборке данных. Ключевым шагом разработанного подхода является конструирование низкоразмерного базиса фазовых переменных модели по временным рядам, определенным на пространственной сетке. Для этой цели предложены новые методы разложения данных, основанные на извлечении из данных пространственно-временных и/или нелинейных мод, вносящих принципиальный вклад в наблюдаемую динамику. На модельном примере показано преимущество таких методов для построения проекции фазового пространства системы, наиболее репрезентативной с точки зрения прогноза эволюции наблюдаемого поведения, по сравнению с традиционно используемыми разложениями, основанными на эмпирических ортогональных функциях (ЭОФ). Анализ временных рядов ПТО на сетке, покрывающей Земной шар, показал, что главные моды, полученные таким методом, описывают значительную часть наблюдаемой изменчивости, в несколько раз большую, чем главные компоненты ЭОФ-разложения. В частности, показано, что первая (по вкладу в общую вариацию данных) нелинейная мода эффективно захватывает сезонный цикл, позволяя практически полностью отделить его от других мод, что не достижимо существующими линейными методами разложения данных. Кроме того, всего один скалярный временной ряд второй моды соответствует пяти-шести компонентам ЭОФ-разложения, описывающих динамику Южного колебания Эль-Ниньо; тем самым, найдена фазовая переменная, полностью описывающая данное явление.

Публикации:

1. Y. I. Molkov, E. M. Loskutov, D. N. Mukhin, and A. M. Feigin, Random dynamical models from time series, *Physical Review E*, 85, 036216, 2012
2. D. Mukhin, E. Loskutov, A. Mukhina, A. Feigin, M. Chekroun, I. Zaliapin and M. Ghil, Predicting critical transitions in ENSO models I: Methodology and simple models with memory. *Journal of Climate*, accepted, 2014
3. D. Mukhin, D. Kondrashov, E. Loskutov, A. Gavrilov, A. Feigin and M. Ghil, Predicting critical transitions in ENSO models II: Spatially dependent models. *Journal of Climate*, accepted, 2014
4. A. Gavrilov, E. Loskutov and D. Mukhin, Optimal structure of empirical ANN-based model of evolution operator. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, under review, 2014.

2.4. Впервые выполнено экспериментальное исследование процессов электризации вертолетов в полете. Разработаны вибрационные электрические датчики, с помощью которых измерена напряженность статического электрического поля на поверхности земли, создаваемого зарядами на фюзеляже вертолета. Установлено, что фюзеляж вертолета заряжается положительно, а выхлопная струя выносит отрицательный заряд, то есть механизм электризации – двигательный. Предложена модель двигательной

электризации, заключающаяся в зарядке сажевых частиц в слабоионизированной плазме камеры сгорания газотурбинного двигателя с их последующим выносом с потоком выхлопных газов.

Авторы: М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Костров, С.Э. Привер, А.В. Стриковский

Аннотация. Известно, что электризация летательных аппаратов (ЛА) в полете может приводить к развитию пробойных явлений и, как следствие, к генерации радиопомех в различных частотных диапазонах. Проблема электризации ЛА стала особенно актуальной в последнее время в связи с активным использованием в авиационной отрасли полимерных и композитных материалов, обладающих низкой электропроводностью и, в результате, не обеспечивающих полную металлизацию ЛА. Борьба с помехами, обусловленными накоплением статического заряда на фюзеляже и иных элементах конструкции ЛА, является приоритетной задачей, решение которой необходимо для повышения качества и обеспечения требуемой дальности радиосвязи, а также для защиты бортовых электронных систем.

В ходе работы проведены экспериментальные исследования эффектов электризации ЛА (вертолетов), и возникающих радиопомех, максимум интенсивности которых приходится на дециметровый диапазон. Выполнены полевые измерения электрических полей, создаваемых статическими зарядами на фюзеляже ЛА, а также полей пространственного заряда в струях выхлопных газов газотурбинных двигателей; оценены значения накапливаемого статического потенциала на фюзеляже ЛА. Обсуждается модель двигательной электризации вертолета, основанная на зарядке частиц сажи в плазме камеры сгорания двигателя и их выносе в атмосферу с потоком выхлопных газов. В части исследования возникающих радиопомех проведены радиочастотные измерения в трактах антенных устройств, а также выполнен анализ шумов в аудиоканалах аппаратуры связи; на основании полученных результатов выявлены наиболее опасные с точки зрения развития электростатического разряда узлы. Сформулированы рекомендации к обеспечению помехозащиты бортовой аппаратуры ЛА и предупреждению развития пробойных явлений.

Публикации

1. A.V. Varfolomeev, M.E. Gushchin, S.V. Korobkov, A.V. Kostrov, D.A. Odzerikho, Yu.P. Palochkin, S.E. Priver, A.V. Strikovskiy. The study of engine-driven electrostatic charging effects on the aircrafts and their influence on radio communication quality. Abstracts of 12th International Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics, Moscow, Russia, March 26-28, 2013, p.90-91

2. А.А. Варфоломеев, М.Е. Гушин, С.В. Коробков, А.В. Костров, Ю.П. Палочкин, С.Э. Привер, Д.А. Одзериho, А.В. Стриковский. Двигательная электризация летательных аппаратов как источник радиопомех. Письма в ЖТФ, 2015, т.41, №1, с.28-35

2.5. Предложен и экспериментально реализован метод адаптивного синтеза апертуры с помощью приемной бортовой антенны разработанной для корабельных гидроакустических комплексов. В натуральных условиях продемонстрирована возможность создания для низкочастотного диапазона виртуальной апертуры приемной системы в десять раз превышающей продольный размер корпуса корабля. В ходе испытаний изготовленной аппаратуры в режиме шумопеленгации выполнено обнаружение и определение координат (дальности и пеленга) малозумной цели на дистанции, большей, чем достижимая с помощью существующих гидроакустических средств.

Авторы: Иваненков А.С., Коротин П.И., Родионов А.А., Турчин В.И.

Аннотация. Идея пассивного апертурного синтеза (АС), как метода повышения пространственного разрешения приемной системы за счет её движения впервые была выдвинута М.Райлом в 50-х годах прошлого столетия для радиоастрономии. Метод состоит в использовании пары пространственно разнесенных и связанных между собой радиотелескопов, которые, за счет вращения Земли, синтезируют заполненную апертуру равную расстоянию ними. Разновидностью АС является синтез на основе движения одиночных элементов или антенн со сформированными диаграммами направленности, нашедший широкое применение в активных режимах локации, как для радио, так и гидролокаторов. Для шумопеленгации данный метод непосредственно не применим в связи с априорной неизвестностью характеристик пеленгуемого источника: даже в простейшем случае тонального источника прямолинейно движущийся одиночный приемник не в состоянии определить его частоту и пеленг. Данную проблему частично решает не так давно предложенный метод ЕТАМ, основанный на экстраполяции фазовых изменений сигнала по текущей совокупности отсчетов движущейся антенной решетки. Однако его недостатки – полное отсутствие помехозащищенности, ограничение прямолинейным движением решетки вдоль её оси и статистическая неоптимальность делают его неприменимым для задач обнаружения в корабельной гидроакустике для бортовых конформных антенн, которые работают в тяжелой помеховой ситуации.

Предложен метод адаптивного частично-когерентного апертурного синтеза работоспособный в присутствии помех от корабельных механизмов для произвольных траекторий движения антенной решетки. Адаптивная обработка подавляет помехи от механизмов, находящихся в ближней зоне бортовой антенны, физическая апертура которой может достигать всей длины корпуса корабля.

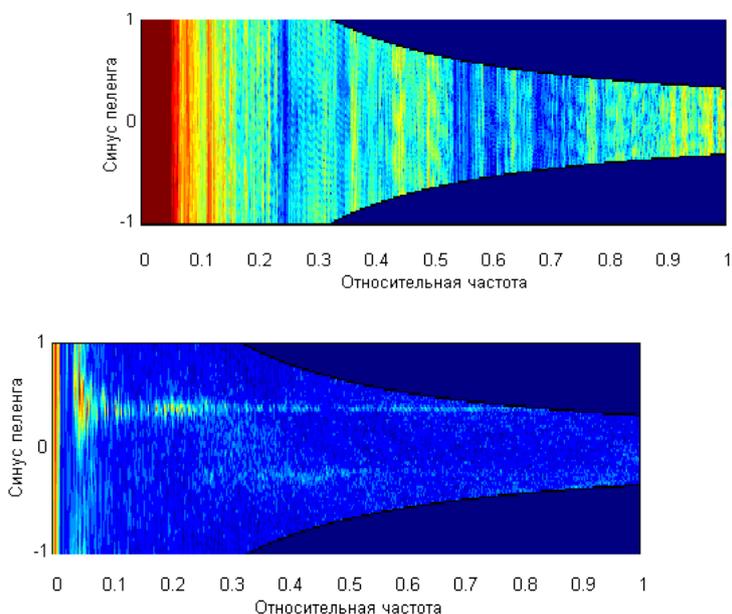


Рис. 1. Эффект от адаптивной обработки сигнала на физической апертуре: сравнение пеленгационных характеристик для традиционной (слева) и адаптивной (справа) антенной обработки: выделение двух целей в диапазоне до 1 кГц в широкой полосе частот.

Независимость реализации метода от типа сигнала пеленгуемого источника и траектории движения приемной системы делает возможным его применение к задаче обнаружения. Даже в предельном случае шумового сигнала от цели, когда движение приемной системы не приводит к увеличению углового разрешения, дополнительный выигрыш заключается в возможности определения дальности до цели, так как размер

виртуальной синтезируемой апертуры практически не ограничен и лимитируется только допустимой задержкой в выдаче результата.

Выполнен теоретический анализ потенциальных возможностей метода на основе границы Крамера-Рао по определению совокупности параметров цели: дальности, пеленга и вектора скорости движения. Для частного случая движения приемной системы по круговой траектории (траектория циркуляции корабля становится виртуальной апертурой приемной системы) получены аналитические выражения достижимых дисперсий оценок данных параметров.

Первоначально теоретические выводы и отладка алгоритмов, технических и программных средств проведена на испытаниях масштабных моделей кораблей на полигоне Ладожского озера. В 2012 году была изготовлена экспериментальная бортовая измерительная система (БИС-1) на основе кабельной гидроакустической антенны. Задачей БИС-1 являлось измерение корабельных помех работе конформных антенн и отработка технологии установки кабельных антенн на корпус корабля. В 2013 году антенна (длина 80 метров при 120-ти цифровых гидрофонах) установлена на корабль. В ходе испытаний в 2014 году по малозумной цели предложенный метод был реализован.

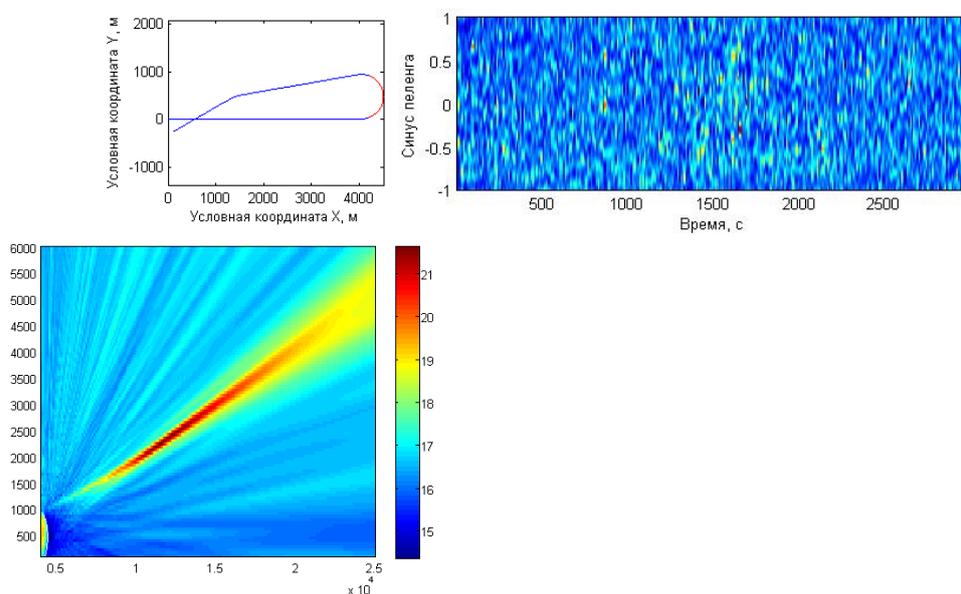


Рис. 2. Эффект от адаптивного синтеза апертуры для малозумной цели: слева – траектория движения корабля с приемной бортовой антенной, в центре – пеленгационная характеристика с плохо заметной отметкой цели после адаптивной обработки физической апертуры в узкой полосе частот и справа - четкая отметка цели в декартовых координатах после синтеза апертуры.

Метод определяет удаление и пеленг цели. Физическая апертура бортовой антенны - 80 метров, синтезированная апертура (показана красным цветом) ~ 1000 метров. Скорость корабля ~ 6 узлов, длительность синтеза ~ 350 секунд (от 1300 до 1650 секунды). Показанная дальность обнаружения при синтезе виртуальной апертуры на циркуляции диаметром 1000 метров превысила, для данной ситуации и параметрах цели, дальность, полученную штатной гидроакустической станцией.

Публикации

1. А.С. Иваненков, П.И. Коротин, Д.А. Орлов, А.А. Родионов, В.И. Турчин. Синтез апертуры за счет движения одиночного приемника при пеленгации источников узкополосного шума // Изв. вузов. Радиофизика, 2014, т.57, №2, с.166-177.

2. В.И. Турчин Максимально правдоподобная оценка координат широкополосных источников шума при неизвестных спектральных плотностях сигнала и помехи // Изв. вузов Радиофизика, 2013, Т.56, №4, с. 277–286.

3. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Investigation of the potential accuracy of source localization using a moving horizontal array // 19th International Congress on Sound and Vibration, Vilnius, Lithuania, 2012

4. Ivanenkov A.S., Korotin P.I., Orlov D. A., Rodionov A.A., Turchin V.I. Cramer–Rao lower bound for localization of a source with partial temporal coherence using passive synthetic aperture // Proceedings of the 12th European Conference on Underwater Acoustics, Edinburgh, United Kingdom, 2012, p 564 - 571

5. Иваненков А.С., Коротин П.И., Орлов Д.А., Родионов А.А., Турчин В.И. Синтез апертуры за счёт движения одиночного приемника при пеленгации источников узкополосного шума // Сборник трудов Научной конференции «Сессия Научного совета РАН по акустике и XXV сессия Российского акустического общества». Т.II. - М.: ГЕОС, 2012, с 343-347.

6. Доклад на конференции «ВОКОР-2014» г.С.-Петербург

2.6 Разработан гидрофон устойчивый к вибрационной помехе. За счет конструктивных особенностей, дополнительных чувствительных элементов и вибрационных калибровок балансировка выходного сигнала обеспечивает понижение чувствительности к вибрациям на величину до 20 дБ в диапазоне до 1 кГц по трем степеням свободы. Выход акустического давления датчика унифицирован, при этом с помощью встроенного микропроцессора могут быть реализованы режимы векторного приемника и измерителя ускорений. Изделие не требует дополнительных мер по виброизоляции при использовании на кабельных антенных, буюх и вибрирующих конструкциях. Достигнутые показатели подавления вибрационной чувствительности превосходят соответствующие характеристики известных импортных и отечественных изделий.

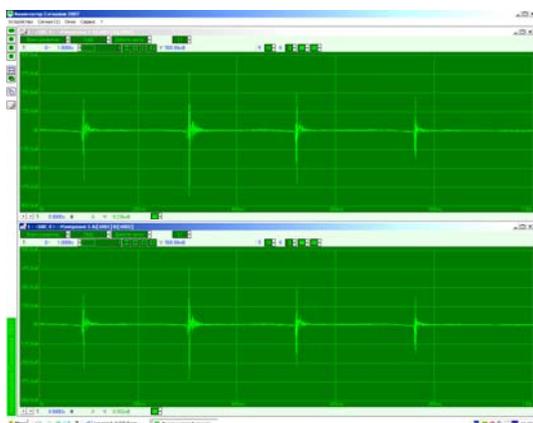
Авторы: Кияшко Б.В., Чащин А.С., Емельянов М.Б.

Аннотация. При использовании гидрофонов в буюх, кабельных антеннах и установке на вибрирующую поверхность приходится принимать специальные меры по виброзащите, так как основная помеха будет заключаться в вибрационной наводке на чувствительный элемент. Для распределенных приемных систем подавить вибрационную наводку можно пространственной фильтрацией сигналов на приемной апертуре при когерентной обработке сигналов. Для одиночного гидрофона приходится применять специальные меры виброзащиты, которые имеют свои недостатки не только в габаритах, но и наличии собственных частот подвески, что усложняет калибровку приемника в месте установки.

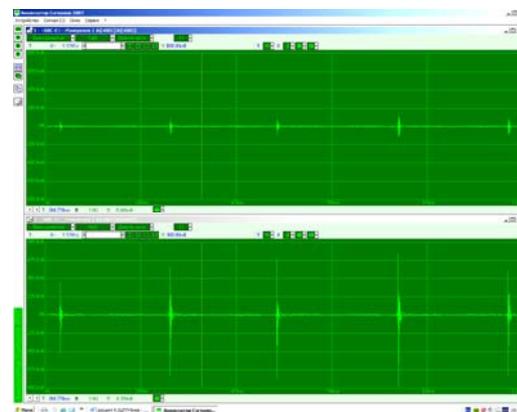
Разработана новая модель приемника звука включающая в себя 8 независимых измерителей сигналов (цилиндрическая керамика составлена из восьми секторов по образующей), которая при помощи балансировки – измерения всех выходных сигналов на вибростенде при трех координатах возбуждения – и последующего расчета на строенном микропроцессоре минимизирует выходной сигнал пропорциональный вибрациям. На рис.1 показаны осциллограммы цифрового гидроакустического приемника ЦГП-4 (средство измерения утвержденного типа) и новой разработки – ЦГП-5 для ударного и звукового импульсного возбуждения.

Выход в цифровом виде (протокол Ethernet) приемников – унифицирован. Подавление реализуется в диапазоне частот до примерно 1 кГц, что вполне достаточно для эксплуатационных требований.

Данная разработка дает выигрыш до 20 дБ, что превосходит возможности виброизолирующих конструкций и по характеристике виброчувствительности превосходит протестированные импортные образцы (табл.1). Изделия данного типа (со встроенными микропроцессорами для подавления помех и предварительной обработки) не могут импортироваться в РФ по таможенным ограничениям, что не дает возможности сопоставить данную разработку с лучшими мировыми образцами.



ЦПП-5



ЦПП-4

Рис. 1. Сравнение откликов гидрофонов на вибрационное воздействие (удар) сверху и звук (щелчок) внизу.

Таблица 1. Сравнение характеристик гидрофонов ИПФ РАН и фирмы Брюль и Кьер.

	П-4	ЦГ	В& К 8103	П-5	ЦГ
Поперечная вибрационная чувствительность/ акустическая чувствительность	0,93	~	1,06	0,04	~
Продольная вибрационная чувствительность/ акустическая чувствительность	0,74	~	0,57	0,06	~

Изделию присваивается тип средства измерения акустического давления. Кроме этого, встроенный в ЦПП-5 процессор может обеспечивать приемнику функции векторного, измеряющего поток акустической мощности, и определять величины ускорений в трех координатах.

Рабочая конструкторская документация на цифровой гидроакустический приемник ЦПП-5.

Материалы утверждения типа средства измерения.

2.7. Впервые показано единство природы гистерезиса и медленной релаксации в структурно-неоднородных средах. Предложенная модель контактов с немонотонной функцией потенциала поверхностных сил описывает пороговый переход от ангармонизма к нелинейному гистерезису и появление медленной релаксации в гетерогенных материалах. Анализ экспериментальных данных подтвердил справедливость модели. Оценки пространственного масштаба, связанного с релаксацией, указывают на роль сил

Ван-дер-Ваальса. Результаты могут быть использованы для диагностики метастабильных состояний и развития оригинальных методов неразрушающего контроля.

Авторы: В.С. Авербах, В.В. Бредихин, А.В. Лебедев, А.П. Марышев, С.А. Манаков, Л.А. Островский, В.И. Таланов.

Аннотация. Рассматривается контакт зерен с адгезией. При этом принимается во внимание сжимаемость материала зерен (модель JKR). В этом случае наличие или отсутствие гистерезиса адгезии зависит от отношения коэффициентов жесткости контакта зерен и шва адгезии (параметр μ). Поэтому нет необходимости в задании специальных функций распределения РМ-элементов (Guyer, Johnson; 2009) для описания перехода от ангармонизма к гистерезису. Выполненные оценки приводят к согласующимся с экспериментальными данными значениям линейных модулей упругости, коэффициентов квадратичной нелинейности и порогов перехода к гистерезису.

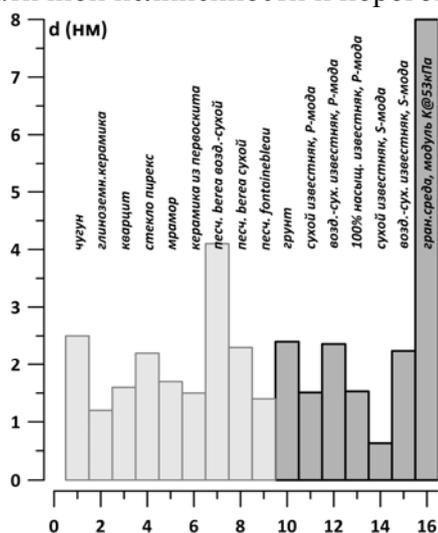


Рис. 1 – Пространственные масштабы, связанные с медленной релаксацией.

связано, предположительно, с локальной переупаковкой зерен.

В работе (TenCate et al; 2000) введен спектр энергий барьеров и рассматривалась скорость просачивания через барьер (аналогия с туннельным эффектом). Оценка характерной величины барьера $2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Эта величина в рамках предложенной модели отвечает характерному радиусу кривизны 50 нм или $\mu \sim 1$. Высота барьера намного превышает кинетическую энергию теплового движения (кТ). Таким образом, *выяснена природа барьеров в работе* (TenCate et al; 2000).

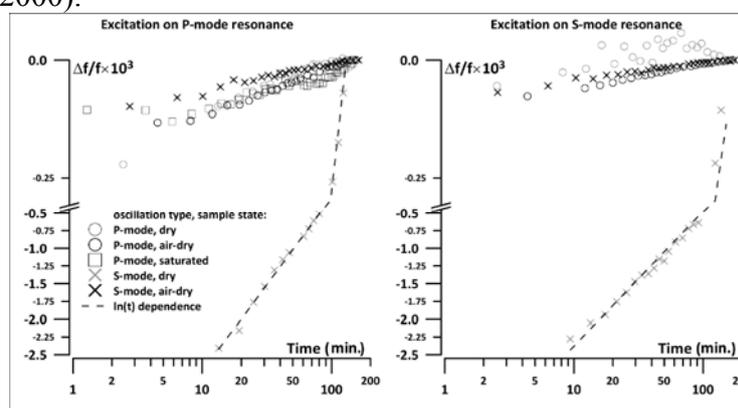
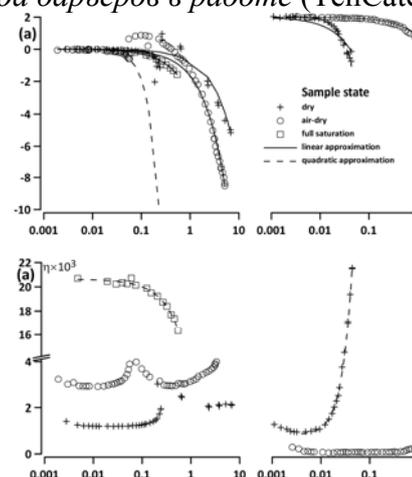


Рис. 3 – Медленная релаксация в карбонатной горной породе. Иллюстрация из [14].

Рис. 2 – Амплитудные зависимости резонансных частот объемных (слева) и крутильных (справа) деформаций. По осям абсцисс отложена деформация, умноженная на 10^6 . Иллюстрация из [14].

На рис. 2 показаны полученные впервые результаты измерений амплитудных зависимостей резонансных частот объемных и крутильных мод (зависимостей модулей объемной жесткости и сдвига) [11, 14]. Важно отметить качественное отличие между объемными и сдвиговыми деформациями – наличие ступенчатого перехода от классической нелинейности к гистерезису. При этом по мере увеличения содержания жидкости пороговое значение уменьшается, как и следовало ожидать в рамках модели [13]. Появление скачков связано с проявлением диссипативных процессов при отрыве поверхностей, связанных силами Ван-дер-Ваальса (имеется четкая корреляция положения скачков с максимумами коэффициентов потерь). Сами пороговые величины согласуются с предсказаниями модели [13] и с данными других исследователей (группа Джонсона из LANL). На рис. 3

показаны результаты экспериментов по наблюдению медленной релаксации в карбонатной породе для различной насыщенности. Впервые проведен эксперимент по релаксации на сдвиге при накачке на сдвиговых и объемных деформациях материала. За исключением особого случая (релаксация модуля сдвига в экстремально сухом материале) наклоны практически одинаковы, а масштаб, связанный с релаксацией, отвечает масштабу действия сил Ван-дер-Ваальса. Особый случай представляет отдельный интерес для дальнейших исследований, поскольку, предположительно, связан не с отрывом контактов неровностей/зерен на микроскопическом уровне, а с сухим трением двух шероховатых поверхностей.

Публикации

1. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Акустическая диагностика физических свойств неконсолидированных сред в натуральных условиях / Препринт №714 ИПФ РАН, Нижний Новгород, 2006.
2. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Наблюдение эффектов медленной динамики в неконсолидированных средах в натуральных условиях / Препринт №743, ИПФ РАН, Нижний Новгород, 2007.
3. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Акустическая диагностика физических свойств неконсолидированных сред в натуральных условиях / Сб. тр. 19-й сессии РАО, Нижний Новгород 2007, 328–331.
4. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Наблюдение эффектов медленной динамики в неконсолидированных средах в натуральных условиях / Сб. тр. 19-й сессии РАО, Нижний Новгород 2007, 331–335.
5. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Акустические методы исследования физических свойств неконсолидированных сред в натуральных условиях / Сб. трудов семинара научной школы проф. С.А. Рыбака, Троицк: Тривант, 2007. Т. 8. С. 38–61.
6. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Диагностика акустических свойств неконсолидированных сред в натуральных условиях // Акустический Журнал. 2008. Т. 54(4). С. 607–620.

7. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Марышев А.П., Таланов В.И.*, Наблюдение эффектов медленной динамики в неконсолидированных средах в натуральных условиях // *Акустический Журнал*. 2009. Т. 55(2). С. 208–215.
8. *V.S. Averbakh, A.V. Lebedev, A.P. Maryshev, V.I. Talanov*, Field acoustic characterization of soil properties // in Proc. of SAPEM-2008, published in February 2009: <http://www.brad.ac.uk/events/cpd/sapem/proceedings/>.
9. *L.A. Ostrovsky and A.V. Lebedev*, Nonlinear dynamical processes in media with relaxation// *Proceedings of Meetings on Acoustics (POMA) Vol. 13, 2011*, 15pp.
10. *Ostrovsky L.A., Lebedev A.V.*, Nonlinear dynamical processes in media with relaxation / *Proceedings of the 19th International Symposium on Nonlinear Acoustics, Waseda Univ., Tokyo, Japan, 2012*.
11. *Авербах В.С., Бредихин В.В., Лебедев А.В., Манаков С.А.*, Нелинейная акустическая спектроскопия консолидированной горной породы и модельной гранулированной среды // *Акустика неоднородных сред. Ежегодник Российского акустического общества. Сб. трудов семинара научной школы проф. С.А. Рыбака. Вып. 13. М. ГЕОС. 2012. 94–110*. По материалам доклада на семинаре в феврале 2013 года. Работа подготовлена для отправки в *Акустический Журнал*.
12. *Авербах В.С., Лебедев А.В., Манаков С.А., Бредихин В.В.*, Новый метод акустических исследований сыпучих материалов. Предварительные результаты // *Изв. ВУЗов. Радиофизика*. 2013. Т. 56. № 3. С. 149–172.
13. *Lebedev A.V., Ostrovsky L.A.*, A unified model of hysteresis and long-time relaxation in heterogeneous materials // *Acoustical Physics*. 2014. 60. № 5. P. 555–561.
14. *Averbakh V.S., Bredikhin V.V., Lebedev A.V., Manakov S.A.*, Nonlinear acoustic spectroscopy of a rock sample and a granular medium / *The book of abstracts of Forum Acusticum, Krakow, Poland, 7-12 September 2014, ISBN987-83-61402-28-2*.

2.8. Сформулированы принципы построения «идеальных» систем видения в воде и через взволнованную границу раздела воздух/вода, минимизирующие влияние поверхностного волнения и рассеяния в воде на качество изображения подводных объектов. Разработана модель системы, основанной на применении сложно модулированных пучков подсветки и пространственно-временной согласованной обработки сигналов, формирующих изображение. Показано, что 3D разрешение такой системы видения существенно превышает возможности систем видения на стационарных и импульсных пучках подсветки и практически не зависит от расстояния до наблюдаемого объекта.

Авторы: Л.С. Долин, А.Г. Лучинин

Аннотация. Предложена идеология построения систем наблюдения, сводящая к минимуму искажения изображения подводных объектов, наблюдаемых из атмосферы через взволнованную границу раздела воздух/вода и слой воды. Случайное преломление света на взволнованной поверхности приводит к неконтролируемому смещению положения элементов изображения в формируемом кадре, а многократное рассеяние света в воде к размытию изображения (уширению функции рассеяния точки). Рассматривается система наблюдения, в которой изображение формируется за счет сканирования пучка подсветки в пределах поля зрения. Для устранения первого из этих факторов предлагается способ определения угла случайного преломления пучка подсветки за счет измерения углового положения центра тяжести сигнала обратного рассеяния от подповерхностного слоя воды. После того как этот угол определен, становится возможной соответствующая перестановка элементов изображения. Определена оптимальная глубина используемого для этого слоя воды, при которой ошибка в определении угла преломления минимальна. Показано, что дисперсия неконтролируемого углового разброса

пучка подсветки может быть уменьшена на два порядка. Для реализации такого способа определения угла необходим импульсный режим работы со стробированием по дальности при приеме сигнала. Негативное влияние многократного рассеяния света в воде в значительной степени может быть скомпенсировано применением высокочастотной амплитудной модуляции зондирующего пучка и формирование изображения на высокочастотной огибающей сигнала от объекта, выделяемой при приеме. Функция рассеяния точки, сформированная высокочастотной огибающей существенно уже, чем по постоянной составляющей, однако содержит в себе фазовые искажения. Эти искажения могут быть устранены за счет применения аналога голографической обработки – свертки сформированного изображения с функцией рассеяния точки, синтезированной в системе обработки сигнала.

Для устранения искажений, вызванных случайным преломлением пучка подсветки на взволнованной поверхности, требуется подсветка коротким импульсом, а для устранения фактора рассеяния в воде необходима высокочастотная модуляция пучка подсветки. Эти два требования совмещаются при использовании импульсного излучения, с внутриимпульсной модуляцией мощности высокочастотным сложным сигналом и последующей согласованной фильтрацией принимаемого сигнала во времени.

Важной особенностью предлагаемой системы наблюдения является слабая зависимость оптической передаточной функции и функции рассеяния точки от глубины наблюдения. Этот эффект обусловлен подавлением диффузионного расширения пучка при многократном рассеянии за счет расфазировки по огибающей компонент различной кратности рассеяния.

Публикации

1. L.S. Dolin, A.G. Luchinin. Water-scattered signal to compensate for the rough sea surface effect on bottom lidar imaging, *Applied Optics*. 2008. V. 47. No 36. P. 6871-6878
2. А.Г. Лучинин. О системах подводного видения со сложно модулированными пучками подсветки. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. Т. 5. №4. 2012. С. 5-17.
3. А.Г. Лучинин, Л.С. Долин. Применение сложно модулированных волн фотонной плотности для инструментального видения в мутных средах. *Доклады Академии наук. Физика*. 2014. Т. 455. №6. С. 643-646.
4. А.Г. Лучинин, Л.С. Долин. Модель системы подводного видения со сложно модулированным пучком подсветки. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 50. №4. 2014. С. 468-476.
5. А.Г. Лучинин. Принципы построения «идеальной» системы видения через взволнованную поверхность. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. Т. 50. №4. 2014. С. 468-476.
6. A.G. Luchinin. Complex modulation of airborne lidar light pulse: the effects of rough sea surface and multiple scattering. *Proceedings of SPIE*. Vol. 8532 (SPIE, Bellingham, WA 2012). DOI 10.1117/12.973736.
7. A.G. Luchinin, L.S. Dolin. Complex modulated waves of photon density in underwater imaging. *Proceedings of VII International conference "Current problems in optics of natural waters"*. S.-P. Nauka. 2013. P. 24-27

2.9. Впервые в ИК диапазоне были получены изображения разрядов, генерируемых внутри искусственного заряженного аэрозольного облака. Наряду с типичными стримерными и лидерными разрядами, наблюдаемыми в лабораторных экспериментах с искровыми разрядами, внутри заряженного облака обнаружено множество разрядов с отличными от обычных разрядов характеристиками. Эти разряды, названные «сталкерами», образуют новый класс разрядных явлений внутри электризованной облачной среды. Проведены классификация и анализ многообразия сталкеров.

Авторы: Н.А. Богатов, Е.А. Мареев, В.А. Раков (Институт прикладной физики РАН), М.Г.Андреев, Л.М.Макальский, Д.И.Сухаревский, В.С.Сысоев (Всероссийский электротехнический институт), А.Ю. Костинский (Высшая школа экономики).

Аннотация. Основным методом исследования молнии на протяжении долгой истории ее изучения являлась и является в настоящее время регистрация генерируемого ею электромагнитного излучения в разных диапазонах частот. Для той части молнии, которая находится вне грозового облака, наиболее информативным является видимый диапазон. Облачная среда для оптического излучения в видимом диапазоне непрозрачна, поэтому структура и динамика внутриоблачных разрядов долгое время были недоступны для исследования. Лишь в последние два десятилетия развивается метод регистрации внутриоблачных разрядов, основанный на локализации источников излучения, находящихся внутри грозового облака, по одновременной регистрации радиосигналов дециметрового диапазона в нескольких, разнесенных в пространстве, точках. Для лабораторного моделирования условий внутриоблачных разрядов было использовано искусственное заряженное облако водного аэрозоля, способное генерировать разряды как внутри облака, так и в промежутке облако-земля (высоковольтный стенд ФГУП ВЭИ в г. Истра). Благоприятное отличие среды искусственного облака от естественного состоит в том, что средний размер капель в нем довольно мал – меньше или порядка 1 мкм, и в диапазоне чувствительности ($\lambda \approx 3-5$ мкм) использованной в экспериментах ИК камеры искусственное облако оказалось достаточно прозрачным, чтобы наблюдать ИК излучение разрядов и зарегистрировать структуру внутриоблачных разрядов.

Оказалось, что внутри облака могут наблюдаться обычные стримерные и лидерные разряды, подобные тем, что мы регистрировали с помощью ИК камеры вне облака. Обычный положительный лидерный разряд на ИК фотографии представляет собой яркий канал, сильно извилистый и ветвящийся, с частой (через 1-2 см) последовательностью пучков стримеров, отходящих от узлов на канале лидера, отражающей его скачкообразное движение. Обычный отрицательный лидер – это тоже яркий канал, но менее извилистый и ветвящийся, и более гладкий – не испытывающий частых скачков (большие скачки отрицательного лидера, свойственные молниевым разрядам, мы в экспериментах с искусственным облаком не наблюдали, по-видимому вследствие недостаточной для этого длины газоразрядных промежутков). Стримеры в обычных наблюдавшихся нами разрядах – лидерных разрядах и стримерных вспышках – фиксировались ИК камерой в виде слабосветящихся пучков множества каналов, исходивших от электрода в случае стримерной вспышки или от лидерной головки в случае лидерного разряда. Никаких существенных отличий обычных разрядов внутри искусственного облака от тех, что происходят вне облака, мы не обнаружили. Но наряду с обычными разрядами внутри облака всегда регистрируются необычные разряды, которые были названы нами "сталкерами". Отличия сталкеров от обычных стримеров заключаются прежде всего в большей яркости свечения в ИК диапазоне, что свидетельствует о высокой температуре газа в их каналах (свечение сталкеров часто регистрируется и в последующих кадрах ИК камеры, через 7÷8 мс, когда и разрядная плазма и неравновесное возбуждение газа полностью релаксировали). Отличия сталкеров от лидеров состоят: в гладкости каналов; в особенностях ветвления; в широком диапазоне яркостей свечения; в отсутствии резкой границы между ярко светящейся и слабо светящейся частью канала (в отличие от границы между головкой лидера и его стримерной зоной). Кроме того, наблюдаются слабо вытянутые сталкеры, которые нельзя характеризовать, как каналы. Они похожи на стемы – наблюдаемые в молниевом и искровом разрядах и до сих пор слабо изученные плазменные образования, оторванные от плазменных каналов. Сильные (ярко светящиеся) сталкеры имеют стримерные короны, которыми они могут взаимодействовать с землей, лидерами и другими сталкерами. Сталкеры могут рождают лидерные разряды –

зафиксированы ситуации, когда с концов сталкера стартуют два разнополярных лидера. В работе проведен анализ возможной природы сталкеров и предложены гипотезы, объясняющие наблюдаемые особенности сталкеров.

Публикации

1. A.Yu. Kostinskiy, V.S. Syssoev, N.A. Bogatov, E.A. Mareev, M.G. Andreev, L.M. Makal'skiy, D.I. Sukharevski. Expected and unexpected cloud discharges. *Nature*, 2014 (submitted).

2. В.С. Сысоев, А.Ю. Костинский, Л.М. Макальский, В.А. Раков, М.Г. Андреев, М.У. Булатов, Д.И. Сухаревский, М.Ю. Наумова, Исследование параметров встречного лидера и его влияния на молниезащищенность объектов на основе лабораторного крупномасштабного моделирования, *Изв.ВУЗов. Радиофизика*, 2013, Т. LVI, №11-12, с. 931 — 938.

3. M.G. Andreev, N.A. Bogatov, A.Yu. Kostinsky, E.A. Mareev, D.I. Sukharevsky, V.S. Syssoev, First Detailed Observations of Discharges within the Artificial Charged Aerosol Cloud, 15th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE 2014), 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, USA.

4. N.A. Bogatov, V. Syssoev, D. Suharevsky, M. Bulatov, M. Andreev, A. Kostinsky, E. Mareev, V. Rakov, Microwave Diagnostics for Investigation of Long Spark and Artificial Charged Aerosol Cloud, 15th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE 2014), 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, USA.

2.10. Разработана и реализована в Нижегородской области региональная система наукастинга опасных быстроразвивающихся метеорологических явлений, которая включает многопунктовую систему грозопеленгации, датчики квазистатического электрического поля, инфраструктуру и алгоритмы сбора и обработки данных. Функционирование системы обеспечивается сверхоперативным прогнозом с помощью мезомасштабной модели высокого разрешения WRF и анализом радиолокационных данных в режиме реального времени. Система позволяет исследовать статистические характеристики электрических полей и климатологию грозовых разрядов в среднеширотной атмосфере.

Авторы: А.А. Булатов, С.О. Дементьева, Н.В. Ильин, В.В. Клименко, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, М.В. Шаталина, Ю.В. Шлюгаев (ИПФ РАН), В.В. Соколов (Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу).

Аннотация. Разработана и реализована в Нижегородской области региональная система наукастинга опасных быстроразвивающихся метеорологических явлений, которая включает многопунктовую систему грозопеленгации, датчики квазистатического электрического поля, инфраструктуру и алгоритмы сбора и обработки данных. Развернуто 3 пункта грозопеленгации на основе приборов Voltek Stormtracker. Разработана и настроена инфраструктура сбора и обработки данных, алгоритмы работы и необходимое программное обеспечение для пунктов грозопеленгации и для центрального сервера грозопеленгационной сети. Производится исследование и совершенствование алгоритмов определения положения разряда с использованием данных, собранных пунктами грозопеленгации за сезон. Используется анализ радиолокационных данных в режиме реального времени. В качестве индикатора атмосферной турбулентности на временных масштабах от одной секунды до нескольких часов используются измерения флуктуаций яркостной температуры атмосферы на длине волны 8 мм.

Функционирование системы обеспечивается сверхоперативным прогнозом с помощью мезомасштабной модели высокого разрешения WRF. Расчет производится на

вложенных сетках (крупная сетка с шагом 25 км охватывает европейскую часть России, средняя сетка с шагом 5 км охватывает область 500 на 500 км, и самая мелкая сетка с шагом 1 км непосредственно на территории Нижегородской области). В качестве начальных и граничных условий используются данные о состоянии атмосферы по результатам прогноза глобальной модели GFS (0.5 градуса).

В качестве алгоритма прогноза молниевой активности используется способ расчета электрического потенциала внутри облака, основанный на модели, в которой основными носителями заряда в предлагаемой модели являются льдинки и снежная крупа.

Система позволяет исследовать статистические характеристики электрических полей и климатологию грозовых разрядов в среднеширотной атмосфере. С помощью разнесенных на расстояние около 5 км электростатических флюксометров исследованы характеристики флуктуаций атмосферного электрического поля за временной интервал около одного года. Полученные статистические характеристики для поля (спектральная плотность и временная структурная функция) сопоставлены с соответствующими характеристиками атмосферной турбулентности, включая составляющие, связанные с крупномасштабными пространственно-временными метеорологическими образованиями (характерные времена более суток).

Публикации

1. В.В. Клименко, Е.А. Мареев, М.В. Шаталина, Ю.В.Шлюгаев, В.В. Соколов, А.А. Булатов, В.П. Денисов. О статистических характеристиках электрических полей грозовых разрядов в атмосфере, Изв.ВУЗов. Радиофизика, 2013, Т. LVI, №11-12, с. 864 — 874.

2. С.О. Дементьева, Н.В. Ильин, Е.А. Мареев. Расчет электрического поля и индекса молниевой активности в моделях прогноза погоды, Изв. РАН – ФАО, 2015, Т. 51, № 1, с. 1-9 (принята).

3. Yu.V. Shlyugaev, E.A. Mareev, F.A. Kuterin, A.A. Bulatov, Comprehensive study of regional thunderstorm activity in the wide frequency range, 32nd International Conference on Lightning Protection, Oct. 13-17, 2014, Shanghai, China (invited).

4. Yu. V. Shlyugaev, E.A. Mareev, F.A. Kuterin, A.A. Bulatov, Spaced observations of lightning discharges over a wide frequency range, 15th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE 2014), 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, USA.

5. Ю.В.Шлюгаев, Е.А. Мареев, В.В.Соколов. Развитие региональной системы наукастинга опасных быстроразвивающихся явлений в атмосфере. Приглашенный доклад на Всероссийском метеорол. съезде, Санкт-Петербург, 7-9 июля 2014 г.

2.11. Разработана и изготовлена бортовая измерительная система (БИС) для оценки потенциала конформных гидроакустических антенн, определения характеристик и построения модели акустических помех работе бортовых приемных систем. Впервые в отечественной практике в результате натурных испытаний корабля с помощью БИС получены данные о величинах и характере поведения корабельных, гидродинамических и фоновых помех. Для анализа результатов измерений подготовлена теоретическая база в виде совокупности алгоритмов адаптивной и оптимальной обработки сигналов с антенных приемных систем.

Авторы: Артельный П.В., Балалаев А.Я., Иваненков А.С., Кибардин Г.А., Коротин П.И., Наседкин А.В., Потапов О.А., Турчин В.И., Цибереv А.В., Чащин А.С.

Аннотация. Потенциал любой антенны в основном определяется волновыми размерами и уровнем помех. Для корабельной гидроакустики размер антенны ограничен размерами корпуса корабля, а помехи представляют собой совокупность различного типа

мешающих факторов: аппаратурных, корабельных от шума механизмов, гидродинамических от обтекания корпуса набегающим потоком жидкости, от соседнего акустического оборудования. Конформные бортовые антенны, распределенные по корпусу, имеют максимальную апертуру, но и наибольший уровень помех. Создание конформных антенн и даже формирование технического задания на их разработку невозможно без исследования количественных и качественных характеристик помех, анализа различных составляющих фонового шума и зависимости их от режимов движения корабля. Выполненная разработка технических средств и методов анализа обеспечивает измерения распределения акустического давления по длине корпуса и его спектрально-корреляционных характеристик при полной метрологической поддержке процесса испытаний.

В качестве приемной системы использованы кабельные гидроакустические антенны на базе цифровых гидроакустических приемников ЦГП-4 с низким собственным шумом (менее 30 дБ/третьоктаве отн.20 мкПа) и широким динамическим диапазоном (не менее 110 дБ). Была разработана технология установки кабельных антенн на борт корабля. Бортовая измерительная система (БИС) состояла из двух антенных линий по бортам с апертурой каждой – 80 метров и количеством гидрофонов в линии – 120 штук.

Испытания БИС показали её работоспособность на различных режимах движения корабля и устойчивость к влияющим факторам внешней среды. Далее приведены несколько примеров результатов записей сигналов и обработки.

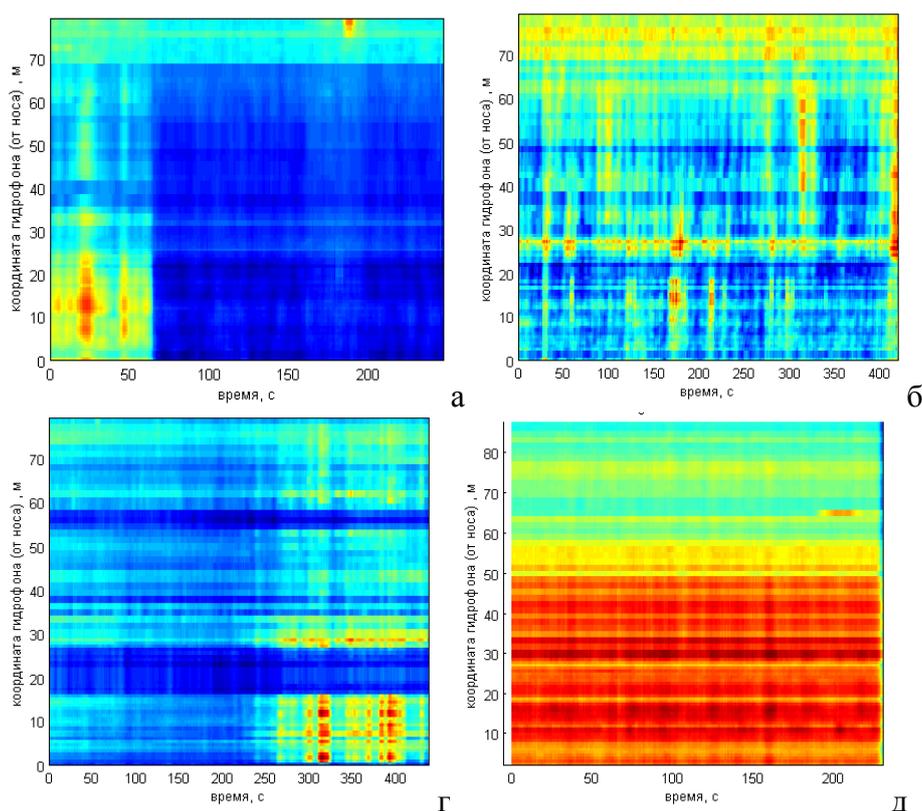


Рис. 1. Распределения амплитуды по длине корпуса в зависимости от времени: «а» - измерения при неподвижном положении (до 65 секунды работает отдельный механизм), «б» - на ходу при состоянии поверхности моря – 3 балла, «в» - у пирса (ведется монтаж оборудования), «г» - на стапеле на воздухе (ведутся строительные работы).

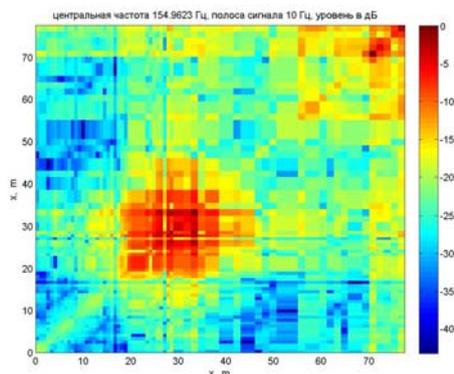


Рис. 2. Корреляционная матрица пространственного распределения акустического поля.

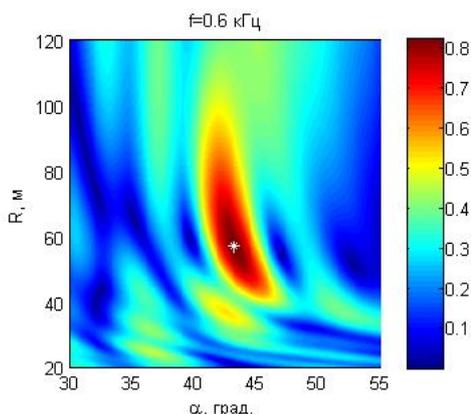


Рис. 3. Результат фокусировки антенны в процессе её калибровки на месте установки на борту на источник в ближнем поле.

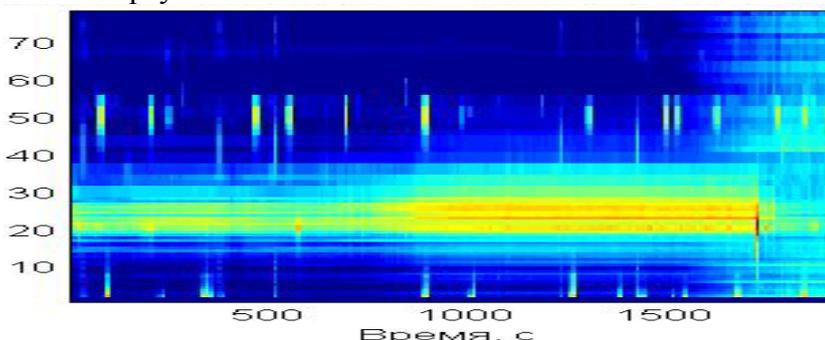


Рис. 4. Гистограмма зависимости распределения амплитуды поля по длине корпуса от скорости движения при разгоне корабля.

Анализ записей, выполненный по теоретическим разработкам алгоритмов антенной обработки, показал возможность получения следующих данных:

- определения уровня фоновых шумов моря при превышении их корабельной помехой на величину до 50 дБ;
- разделения корабельных и гидродинамических шумов на различных режимах движения;
- поиск зон повышенного шумоизлучения по длине корпуса;
- локализация координат и измерения уровня источник звука в ближней зоне антенны;
- оценки шумоизлучения корабля;
- характеристики нестационарных помех;
- информации для построения модели гидродинамического шума;
- требований по размещению антенн на корпусе, выбору их частотного диапазона и оценке потенциала в режиме шумопеленгации и гидролокации.

Публикации

1. А.С. Иваненков, А.А. Родионов, В.И. Турчин Оценка уровня фонового шума с помощью горизонтальной антенной решетки на фоне пространственно некоррелированной и структурной помех // Акустический журнал, 2013, Т.59, № 2. С. 202–210.
2. М.Б. Емельянов, Б.М. Салин, М.Б. Салин, А.В. Цибереv. Восстановление временной зависимости и параметров сигнала широкополосных протяженных акустических источников в дальней зоне. Часть 1. Методы восстановления и технические средства // Акустический журнал, 2014, Т.60,
2. Турчин В.И. Максимально правдоподобная оценка координат широкополосных источников шума при неизвестных спектральных плотностях сигнала и помехи. Изв. вузов Радиофизика, 2013, Т.56, №4, С.277-286
3. Rodionov A.A., Turchin V.I. "Array Signal Processing Based on Interference Model with Incomplete Correlation Matrix", Proc. IXth Int. Conf. Ant. Theory and Technique, Odessa, Ukraine, Sept. 16–20, pp. 249-251, 2013.

2.12. Выполнена реконструкция инструментально измеренных (запись смещения поверхности в точке) событий аномально высоких волн («волн-убийц») с использованием численного расчета уравнений огибающей для эволюции в пространстве. Впервые продемонстрирована адекватность такой реконструкции (до времен менее или порядка 10 мин) посредством расчета исходных уравнений гидродинамики, где начальные условия (до момента экстремального события) заданы по результатам реконструкции. Для примера "волны-убийцы" в Северном море результат моделирования воспроизводит инструментальную запись с удовлетворительной точностью.

Авторы: Е.Н. Пелиновский, А.В. Сергеева, А.В. Слюняев, Т.Г. Талипова (ИПФ РАН), С. Guedes Soares (Technical University of Lisbon, Portugal), D.-J. Doong (National Taiwan Ocean University, Taiwan)

Аннотация. Временные записи последовательностей смещения водной поверхности, содержащие «волны-убийцы», являются уникальным материалом, который, одновременно, и существенно неполный; он не даёт достаточной информации для *однозначной* интерпретации события. Для того чтобы, тем не менее, восстановить правдоподобную картину динамики волн в окрестности точки измерения, требуется сделать 2 шага:(1) восстановить поле скоростей в точке измерения по известной записи смещения; (2) рассчитать эволюцию волн против направления их движения. Первое предположение, которое делается для решения этих проблем, заключается в предположении об однонаправленности волн (в большей части ситуаций прямой информации об угловом спектре волн не имеется вовсе). Для решения проблемы (1) используются различные методы, основывающиеся на теоретическом описании волн с привлечением дополнительных предположений (на малость амплитуды и/или узость спектра). Для решения проблемы (2) удобны асимптотические модели (где приближением первого порядка является уравнение переноса, связывающее эволюцию по времени и по координате), позволяющие записать уравнение для эволюции по координате. В частности, нами использовались слабо нелинейные уравнения огибающей с учетом нелинейной дисперсии и полной линейной дисперсии (модель Диста). Поскольку в процедуре реконструкции используются предположения на слабость нелинейности и дисперсии, которые плохо соотносятся с "волнами-убийцами", то открытым оставался вопрос о легитимности процедур регистрации и адекватности результатов реконструкции. (Нужно отметить другой – "инженерный" – способ реконструкции "волн-убийц", успешно примененный группой Г. Клаусса (G. Clauss) в волновом лотке Берлинского университета:

в нем сигнал на волнопродукторе подбирался итерационным способом, оптимизируя близость профиля максимальной волны к измеренному.) Нами выполнена верификация использованного нами ранее подхода для реконструкции событий аномальных волн по записи смещения поверхности $\eta(x=0, t)$, $0 < t < T$. Верификация выполнена на основе расчета полных уравнений гидродинамики (оставаясь в рамках предположения об однонаправленности волн). Для реконструкции события в некоторой области $-L < x < 0$ (предыстория) использовались приближенные уравнения Диста для эволюции в пространстве (Рис. 1, красные профили). Далее реконструированные поля в момент $t = 0$ для $-L < x < 0$ использовались как начальные условия для расчета во времени уравнений Диста и исходных уравнений гидродинамики (код HOSM). Последние использовались в качестве «эталонной» модели, заменяющей реальность. Расчет во времени позволял получить новую запись в точке измерения $\eta^*(x=0, t)$, которая сравнивалась с исходной записью $\eta(x=0, t)$. Чем совпадение лучше, тем аккуратнее выполненная реконструкция. В качестве первого теста была использована временная запись последовательности солитонов огибающей большой интенсивности (Рис. 2). Видно, что реконструкция (черная линия) довольно хорошо соответствует исходной записи (особенно для малых времен реконструкции). На Рис. 3 приведен пример успешной реконструкции события, измеренного в Северном море. Исходная запись представлена синей линией (и зеленой – после ВЧ фильтрации записи, необходимой для численного моделирования). Красный пунктир и черная линия представляют результат реконструкции с использованием, соответственно, только уравнений Диста и в рамках полных уравнений гидродинамики. Видно, что черная линия (расчет реконструированных полей в рамках исходных уравнений) удовлетворительно совпадает с инструментальной регистрацией как по амплитуде волны, так и по фазе. Однако имеет место занижение амплитуды «волн-убийцы». Полученный результат демонстрирует потенциальную возможность реконструкции событий аномально высоких волн на интервалах времен около 10 мин по данным регистрации полей смещения в точке и подтверждает адекватность примененной нами процедуры реконструкции (оставаясь в рамках предположения об однонаправленном распространении волн). Желательным является усовершенствование модели огибающей с более точным описанием сильно нелинейных эффектов. С помощью описанного подхода выполнена реконструкция событий «волн-убийц» на основе регистраций в Северном море и у побережья о. Тайвань.

Публикации

1. A. Slunyaev, E. Pelinovsky, and C. Guedes Soares, Modeling freak waves from the North Sea. *Applied Ocean Research* 27, 12-22 (2005).
2. A. Slunyaev, Nonlinear analysis and simulations of measured freak wave time series. *European J. of Mechanics B / Fluids* 25, 621-635 (2006).
3. A. Slunyaev, E. Pelinovsky, C. Guedes Soares, Reconstruction of extreme events through numerical simulations. Proc. 30th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Eng. (OMAE-2011), OMAE2011-50314, 1-9 (2011).
4. A.V. Slunyaev, A.V. Sergeeva, E.N. Pelinovsky, Modelling of deep-water rogue waves: different frameworks. In: C. Guedes Soares et al. (Ed.) CENTEC Anniversary Book. Marine Technology and Engineering. Taylor & Francis Group, London, 199-216 (2012).
5. A. Slunyaev, E. Pelinovsky, C. Guedes Soares, Reconstruction of extreme events through numerical simulations. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. 136(1), 011302 (2014).
6. A. Sergeeva, A. Slunyaev, E. Pelinovsky, T. Talipova, and D.-J. Doong, Numerical modeling of rogue waves in coastal waters. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 861–870 (2014).

7. A. Slunyaev, Modelling of rogue wave events in the sea. Book of abstracts of Int. Conf. Advanced problems in Mechanics-2011, 87, (2011).

8. A. Sergeeva, T. Talipova, D.-J. Doong, A. Slunyaev, and E. Pelinovsky, Numerical simulations of in-situ freak waves in variable depth conditions. Geophysical Research Abstracts, V. 15, EGU2013-893 (2013).

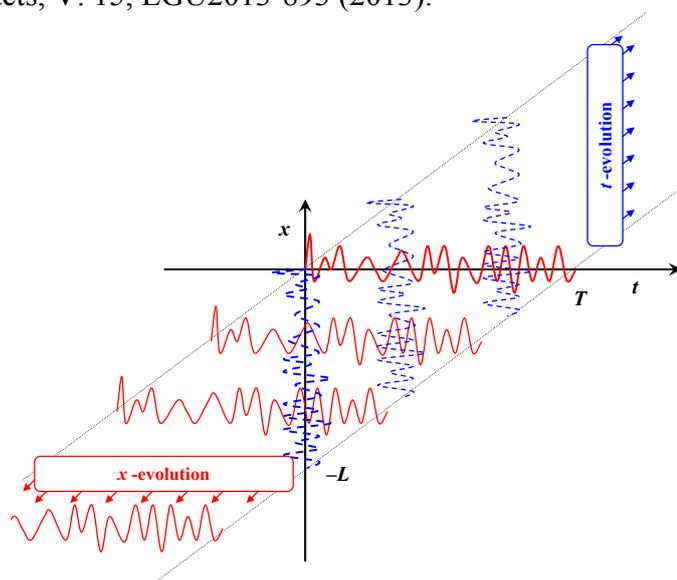


Рис. 1. Принципиальная схема верификации расчета предыстории (эволюции в пространстве в рамках модели Диста, – красным) с последующим расчетом эволюции в рамках исходных уравнений (синим).

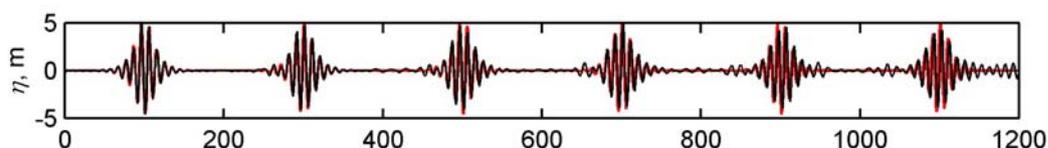


Рис. 2. Пример реконструкции последовательности солитонов огибающей крутизны $ka = 0.2$: исходная временная запись (красным) и реконструкция (черным). Горизонтальная ось соответствует времени реконструкции (в секундах).

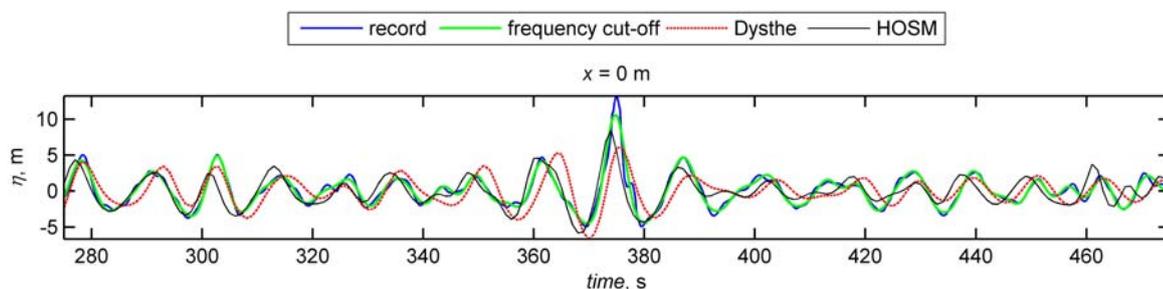


Рис. 3. Сопоставление исходной записи NA199711200151 (синим, после отсечки ВЧ компоненты спектра – зеленым), и результатов реконструкции в рамках модели Диста (красный пунктир) и исходных уравнений гидродинамики (черным). Показана только часть записи, соответствующая «волне-убийце».

2.13. Выполненное численное моделирование рассеяния звука на поверхностном волнении со спектром Пирсона-Московица показало, что наличие крупномасштабных поверхностных волн со значением параметра Рэля не превосходящим 1.5 не нарушает справедливость оценки спектра обратного, брэгговского рассеяния звука, сделанной только по короткопериодной компоненте поверхностных волн с малым параметром Рэля.

Авторы: М. Б. Салин, А. С. Досаев, А. И. Коньков, Б. М. Салин

Аннотация. Задача определения спектра звуковых сигналов, рассеянных на морском волнении, возникла при оценке дальности действия низкочастотных доплеровских гидролокаторов. Брэгговское рассеяние гидроакустических сигналов на поверхностных волнах, частота которых на несколько октав превышает низкочастотную компоненту волнения, имеет ряд особенностей. В первую очередь это связано: 1) с большим индексом фазовой модуляции сигнала и 2) с разбросом фазовых скоростей рассеивающих звук коротких поверхностных волн в поле течений длинных волн, что в конечном виде приводит к трансформации и уширению спектра рассеянного сигнала. Теоретическое описание уширения первого типа потребовало достаточно точного решения задачи акустического рассеяния, а второго типа - более корректного измерения спектра волнения.

Выполненное исследование показало, что влияние первого фактора на уширение спектра не наблюдается вплоть до состояния волнения, характеризуемого значением параметра Релея 1.5. При этом значении параметра колебания поверхности оказываются плавными и не оказывают влияния на сигнал обратного рассеяния, формируемый короткими волнами. Соответственно, до указанного предела можно пользоваться разработанной ранее схемой расчета уровней рассеяния, основанной на методе малых возмущений.

Исследование выполнялось путем численного моделирования, при котором генерация профиля взволнованной поверхности производилась путем численного решения уравнения Эйлера методом Дьяченко при заданном конечном виде энергетического спектра волнения (спектр Пирсона-Московица). Расчет акустического рассеяния проводился на основе метода Кирхгоффа и метода граничных элементов. Результаты расчетов сопоставлялись с прогнозными оценками рассеяния, которые базировались только на амплитуде волнения на брэгговской длине волны.

Публикации

1. Салин Б.М., Салин М.Б. Методы и схемы расчета основных параметров реверберации, обусловленных рассеянием низкочастотных акустических волн на ветровом волнении с известными пространственно-временными характеристиками // Акуст. журн. 2011. Т.57. № 6. С. 818–827

2. Салин Б. М., Салин М. Б., Spindel R.C. Расчет спектра реверберационной помехи для доплеровской схемы локации.// Акуст. журн. 2012, Т.58. №2. С 258-266.

3. Досаев А. С., Коньков А. И., Салин Б. М. Салин М. Б., Численное моделирование брэгговского рассеяния звука на поверхностном волнении при различных значениях параметра Рэлея // Акуст. журн. 2014. Т. 60. №4. С.413-425

2.14. Построен робастный алгоритм локализации узкополосного акустического источника в случайно-неоднородном мелководном канале. Процедура оценивания использует квадратичный метод обработки частично-когерентного сигнала вертикальной антенной решеткой, осуществляющий согласованную (со средой распространения) матричную фильтрацию вектора наблюдения. В условиях неполной априорной информации о канале формируемый пространственный фильтр рассчитан на наихудший сценарий приема и обладает повышенной устойчивостью к статистическому рассогласованию, обусловленному несоответствием между истинной корреляционной матрицей сигнального поля и ее расчетной моделью.

Приведена апробация предложенного способа решения обратной задачи с использованием экспериментальных данных, полученных на стационарной трассе в Баренцевом море. Показано, что в реальных условиях указанный алгоритм является

достаточно эффективным и обеспечивает удовлетворительное качество восстановления источника, удаленного на расстояния порядка 15 км от антенной решетки.

Авторы: Сазонтов А.Г., Смирнов И.П., Матвеев А.Л.

Аннотация. Проблема локализации источника в подводном звуковом канале является одним из важных аспектов общей теории обнаружения и оценивания параметров сигналов на фоне помех с использованием адаптивных антенных решеток (АР). Однако ее решение, основанное на методе согласованного поля, сталкивается с трудностями принципиального характера. Так, одной из главных причин, не позволяющих получить корректное решение этой задачи в сложных (и всегда недостаточно известных) условиях морской среды, является несоответствие между принятым звуковым полем и его расчетной моделью.

При наличии случайных неоднородностей волноводного канала предположение о заданной регулярной пространственной структуре полезного сигнала в принципе не выполняется и когерентные алгоритмы не в состоянии обеспечить согласование модели с реальными данными. Такой более общий сценарий приема приводит, как известно, к необходимости использования более сложных (квадратичных) алгоритмов, способных обеспечить согласование со средой в статистическом смысле — на уровне не отдельных случайных реализаций сигнала на входе АР, а их вторых моментов.

Однако на практике рассчитанная сигнальная матрица всегда отличается от истинной на величину некоторой случайной ошибки, обусловленной тем или иным механизмом статистического рассогласования. Построение робастных алгоритмов пространственной обработки в таких условиях предполагает ограниченность по норме соответствующей матрицы ошибок, при этом адаптация к априори неизвестным условиям приема заключается в нахождении устойчивой процедуры оценивания, позволяющей частично скомпенсировать эффекты статистического несоответствия.

На основе критерия максимума отношения сигнал/помеха авторами разработан согласованный со средой спектральный метод определения координат источника в случайно-неоднородном океаническом волноводе и проведена его верификация на имеющихся экспериментальных данных. Показано, что в реальных условиях Баренцева моря соответствующий алгоритм является работоспособным и обеспечивает удовлетворительное качество восстановления источника, удаленного на расстояние ~ 15 км от антенной решетки.

Публикации

1. Сазонтов А.Г., Смирнов И.П., Матвеев А.Л. Локализация источника в мелководном канале со взволнованной поверхностью // Акуст. журн. 2015. Т. 61. № 1. С. 114–122 (принята к печати).

2.15. На основе модели видимости взволнованной поверхности моря под скользящими углами наблюдения разработан и апробирован метод восстановления пространственного распределения скорости приповерхностного ветра по пространственно – временным изображениям поверхности. Для экспериментальной апробации метода разработан макет многоканального оптического комплекса для регистрации пространственно – временных изображений морской поверхности. Проведены натурные эксперименты по исследованию распределения ветра с помощью данного комплекса, в частности, получены уникальные данные по структуре кататического ветра над морем на расстояниях до десяти километров.

Авторы: Баханов В.В., Ермаков С.А., Зуйкова Э.М., Лучинин А.Г., Сергиевская И.А., Титов В.И.

Аннотация. Разработан оптический метод восстановления скорости приповерхностного ветра при освещении рассеянным светом неба. Метод состоит из двух этапов: сначала определяется дисперсия уклонов волн по изображению морской поверхности с учетом затенения волн, а затем восстанавливается скорость ветра по модельной зависимости дисперсии уклонов волн от скорости ветра. Для апробации метода разработан макет многоканального оптического комплекса, состоящего из нескольких синхронизированных оптических приемников на основе линеек фотоприемников для формирования ДВИ изображений поверхности моря (изображения в координатах дальность – время – интенсивность света) с различной поляризацией света, в различном спектральном диапазоне и с разным направлением наблюдения. Разработаны методы создания ДВИ изображений поверхности шириной от десятков метров до десятков километров в зависимости от требуемого пространственного разрешения. Проведены наблюдения приповерхностных ветровых потоков на реках, во внутренних водохранилищах и в прибрежных зонах морей с помощью оптического комплекса. Исследована структура вихрей, ветровых фронтов, кататических потоков ветра на расстояниях от сотен метров до десятков километров.

Публикации

1. В.И. Титов, А.Ю. Артамонов, В.В. Баханов, С.А. Ермаков, А.Г. Лучинин, И.А.Репина, И.А. Сергиевская. Мониторинг поверхности моря с помощью оптических методов. Исследования Земли из Космоса, № 5, с.3-14, 2014

2. Victor Titov, Victor Bakhanov, Stanislav Ermakov, Aleksandr Luchinin, Irina Repina & Irina Sergievskaya. Remote sensing technique for near surface wind by optical images of rough water surface. (ID: 948223 DOI:10.1080/01431161.2014.948223). International Journal of Remote Sensing, Volume: 35, Issue: 15, pages 5946 – 5957 (2014).

2.16. Предложен и апробирован в натурном эксперименте метод оценки координат источника звука на шельфе с помощью согласованной со средой обработки сигналов. Метод развит для ситуации, когда сигналы регистрируются вертикальной антенной решеткой, установленной около берега на малой глубине. Показано, что на коротких трассах обратная задача может быть решена даже в отсутствие информации о параметрах грунта, необходимой для построения полной математической модели волновода. Решение базируется на расчете компонент сигналов, пришедших вдоль лучевых траекторий, не отразившихся от дна.

Авторы: А.Л. Вировлянский, А.Ю. Казарова, О.В. Колодиев, П.И. Коротин, Л.Я. Любавин, Д.А. Орлов, О.А. Потапов, В.И. Турчин (ИПФ РАН), Г. В. Кенигсбергер, В. И. Моисеенков (Гидрофизический институт Академии наук Абхазии)

Аннотация. Фактором, существенно ограничивающим возможности согласованной со средой обработки гидроакустических сигналов, является неточность математической модели подводного волновода. Особенно остро эта проблема стоит в шельфовых областях, где для построения точной модели, как правило, не хватает надежной информации о рельефе дна и параметрах грунта. В принципе, однако, даже в такой ситуации обработка, согласованная со средой, может быть реализована для не слишком больших дистанций, если при формировании математической модели сигнала учитываются только его компоненты, формируемые волнами, пришедшими на приемную антенну без отражений от дна.

Для демонстрации такой возможности сотрудниками Института прикладной физики РАН и Гидрофизического института Академии наук Абхазии в октябре 2013 был проведен совместный эксперимент в Сухумской бухте. Его задачей был анализ возможностей согласованной со средой обработки сигналов в условиях сложного (и к тому же плохо известного) рельефа дна и практически неизвестных параметров грунта. Координаты источника восстанавливались по данным акустических измерений с помощью вертикальной антенной решетки.

В данном эксперименте было продемонстрировано, что подход, базирующийся на использовании только тех компонент сигнала, которые приходят вдоль лучевых траекторий, не отражающихся от дна, позволяет с хорошей точностью оценивать расстояние до источника и его глубину на относительно коротких дистанциях. При размещении приемной антенны вблизи берега (глубина места составляла 13 м) удавалось восстанавливать координаты источника на дистанциях порядка 300 м.

Публикации

1. А.Л. Вировлянский, А.Ю. Казарова, Г.В. Кенигсбергер, О.В. Колодиев, П.И. Коротин, Л.Я. Любавин, В.И. Моисеенков, Д.А. Орлов, О. А. Потапов, В. И. Турчин. Эксперимент по оценка координат источника звука на шельфе Черного моря. Акуст. журн. (в печати)

2. А.Л. Вировлянский, А.Ю. Казарова, Г.В. Кенигсбергер, О.В. Колодиев, П.И. Коротин, Л.Я. Любавин, В.И. Моисеенков, Д.А. Орлов, О.А. Потапов. Анализ лучевой структуры поля широкополосного источника звука на шельфе Черного моря. Сборник трудов 1-ой Всероссийской акустической конференции, Секция - Акустика океана. 2014. С. 3-9.

2.17. Разработана высокочувствительная нелинейно-акустическая методика наблюдения макроскопических проявлений наномасштабных медленных спонтанных процессов в гранулированной среде. Выявленные эффекты объяснены бистабильностью находящихся на поверхностях гранул микроконтактов, для переключения которых между положениями равновесия достаточно энергии тепловых флуктуаций. Предложенная физическая модель таких контактов с адгезией описывает их бистабильность как механический гистерезис, где роль «мягкого» элемента играет нелинейная упругость самого растягиваемого контакта, которая уравнивает его притяжение к другой поверхности. Предсказываемое моделью существование неровностей радиусом ~ 100 нм подтверждено атомно-силовым зондированием поверхности гранул. Проведенное Монте-Карло моделирование коллективной динамики таких бистабильных элементов хорошо воспроизводит особенности медленных релаксаций в различных режимах, включая эффекты «старения» отклика и накопление поврежденности от повторяющихся слабых воздействий с подведением к порогу разрушения материала.

Авторы: В.Ю. Зайцев (ИПФ РАН), В.Э Гусев, В. Турна (Университет Дю Мэн, Франция), П. Ришар (Университет Ренн-1, Франция)

Аннотация. Выполнен цикл экспериментальных исследований, а также теоретический анализ и численное моделирование медленных спонтанных процессов в гранулированной среде. Макроскопические проявления наномасштабных медленных релаксационных процессов наблюдались с помощью предложенной нелинейно-акустической методики, обладающей беспрецедентно высокой селективной чувствительностью к состоянию именно наиболее слабых, легко нарушаемых/восстанавливаемых связей в гранулированном материале.

Выявленные особенности медленных релаксаций объяснены бистабильностью находящихся на поверхностях гранул микроконтактов, для переключения которых между положениями равновесия достаточно энергии тепловых флуктуаций, роль которых для макроскопически наблюдаемой динамики гранулированных сред обычно считается пренебрежимой. Для описания таких индивидуальных микроконтактов с адгезией предложена физическая модель, описывающая их бистабильность, по аналогии с острием атомно-силового микроскопа (АСМ), как механический гистерезис, где, однако, роль «мягкого» элемента-кантилевера играет сама нелинейная упругая сила растягиваемого контакта, уравнивающая его притяжение к другой поверхности. Предсказываемое моделью существование неровностей радиусом ~ 100 нм подтверждено АСМ-зондированием поверхности гранул.

Выполненное по методу Монте-Карло моделирование коллективной динамики таких бистабильных элементов с реалистичным спектром энергетических барьеров хорошо воспроизводит наблюдаемую почти-логарифмическую/степенную релаксацию в различных режимах. В частности, воспроизводится реакция среды на сравнительно слабые повторяющиеся возмущения с накоплением поврежденности и так называемые эффекты старения, характерные для эволюции больших ансамблей бистабильных элементов. Такие эффекты обсуждаются для широкого класса систем различной физической природы, в том числе в контексте понимания механизмов динамического инициирования землетрясений и постепенного накопления эффекта и долговременного последствия волновых методов стимуляции нефтеотдачи.

Публикации

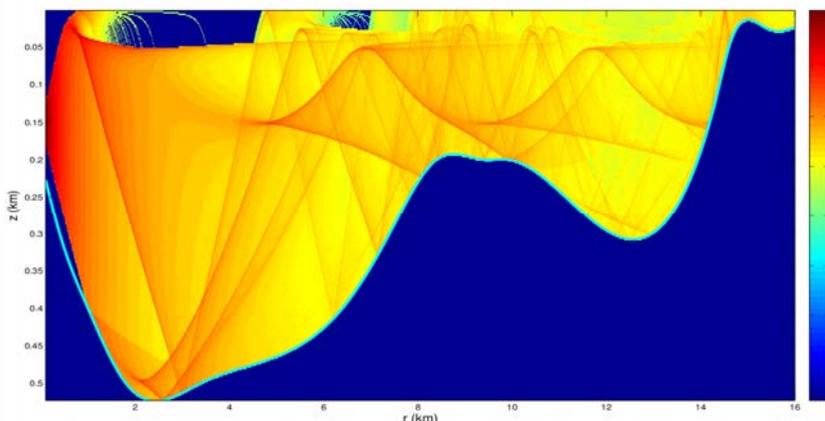
1. V. Y. Zaitsev, V. E. Gusev, V. Tournat and P. Richard, Slow relaxation and aging phenomena at the nano-scale in granular materials, *Phys. Review Letters*, 2014, V.112, 108302(1-5)
2. V.Yu. Zaitsev, V.E. Gusev, V. Tournat, P. Richard, Slow relaxation and aging phenomena at the nanoscale in granular materials: observations and mechanisms, *Proc. 5th International Conf. "Frontiers of Nonlinear Physics"*, Nizhny Novgorod – Yelabuga-Nizhny Novgorod (July 28 – August 2, 2013), p.38-39.
3. M. Duranteau, R. Delannay, V. Tournat, V. Zaitsev, and P. Richard, Acoustic probing of elasticity in the bulk of tilted granular layers - precursors of avalanches, *Proc. of ACOUSTICS2013 – NEW DELHI*, New Delhi, India, November 10-15, 2013 (6 pages)
4. V.Yu. Zaitsev, V. Tournat, V. Gusev "Application of nonlinear acoustics to study relaxation processes in granular materials" *AIP Proc. International Congress on Ultrasonics 2011*, 5 — 8 September 2011 Gdansk, Poland, 4 pp.
5. S. Kiesgen de Richter, V. Y. Zaitsev, P. Richard, R. Delannay, G. Le Caër, and V. Tournat, "Experimental evidence of ageing and slow restoration of the weak-contact configuration in tilted 3D granular packings," *J. Stat. Mech.: Theory&Exper.*, 2010, No 11, article No P11023(1-22).

2.18. В приближении геометрической акустики впервые получены аналитические выражения для матриц, определяющих трансформацию волнового поля при отражении от гладких криволинейных импедансных границ в двумерной рефракционной среде. На их основе разработан новый лучевой метод расчета звуковых полей в неоднородном по трассе океаническом волноводе с криволинейным дном и взволнованной поверхностью, позволивший исключить процедуру численного дифференцирования и тем самым обеспечить регуляризацию расчетов при одновременном сокращении объема вычислений.

Авторы: И.П. Смирнов, А.И. Хилько

Аннотация. При создании пространственно распределенных (мультистатических) систем подводного акустического наблюдения в мелком море необходимо путем численного моделирования оценить их эффективность в зависимости от взаимного расположения излучающих и приемных элементов, строения гидроакустического волновода, ветра, течений и шумов и помех. С этой целью разрабатываются модели распространения и дифракции звука на телах (объектах локации) и на случайно распределенных неоднородностях в горизонтально-неоднородных рефракционных волноводах океанического типа. В каналах мелкого моря акустическое поле многократно отражается от неровного дна и взволнованной поверхности, поэтому достоверность расчетов волнового поля быстро падает из-за неточностей процедуры численного дифференцирования (обычно применяемой в таких расчетах). В итоге, корректный анализ эффективности систем подводного наблюдения, особенно на важных, с практической точки зрения, больших дистанциях, в мелком море становится невозможным.

Разработанный метод расчета требует меньшего числа операций и свободен от недостатков (быстрого роста ошибки с увеличением числа актов отражения от границ канала) метода численного дифференцирования. В основе метода лежат аналитические выражения для матрицы трансформации лучевой трубки при отражении от криволинейной границы с произвольным радиусом кривизны, которые получены впервые. Их использование и позволило исключить процедуру численного дифференцирования, что является важным достоинством метода в целом. Метод также был использован для оценки анализа силы цели при рассеянии высокочастотных (в рамках лучевого приближения) полей на гладких криволинейных телах, помещенных в горизонтально-неоднородные волноводы.



Пример расчета интенсивности поля в рефракционном волноводе с сильно-неравномерным профилем дна

Публикации

1. Smirnov I.P. Boundary conditions for matrix of variations in refractive waveguides with rough bottom / ArXiv: 1212.6068v1[math-ph] 25 Dec 2012.
2. Смирнов И.П. Расчет производных лучевых траекторий по начальным параметрам в неоднородных двумерных средах // Изв. вузов. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 2. С. 85-95.
3. Смирнов И.П. , Хилько А.И. Лучевое приближение в задаче рассеяния волн криволинейной поверхностью в неоднородной среде // Акустический журнал. 1995. Т. 41. № 1. С. 139-145.
4. Хилько А.И., Смирнов И.П., Машошин А.И., Шафранюк А.В., Хилько А.А. Мультистатическая сила цели в океанических волноводах // Акустический журнал. 2015. Т. 61. №2 (в печати).

5. Смирнов И.П., Смирнова И.Р., Хилько А.И. Граничные условия для матрицы устойчивости при расчете акустических полей в океанических волноводах // Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» 2014. СПб: Нестор-История. С. 341-344.

6. А.И. Машошин, И.П. Смирнов, А.И. Хилько, А.В. Шафранюк. Методический аппарат для расчета бистатической силы цели // Труды XII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». 2014. СПб: Нестор-История. С. 418-421.

7. Хилько А.И., Смирнов И.П., Машошин А.И. и др. Структура бистатической силы цели в океанических волноводах // Труды I Всероссийской акустической конференции. Секция «Акустика океана». – М. 2014. С. 32-36.

2.19. Экспериментально и теоретически исследовано электрическое состояние среднеширотного атмосферного пограничного слоя, невозмущенного облачностью, осадками, туманом, промышленными аэрозолями. Установлены закономерности вертикального переноса заряда в пограничном слое атмосферы; в экспериментах с использованием привязной аэростатной системы подтверждено формирование аэроэлектрических структур. Развита теория электродного эффекта с учетом аэрозольных частиц. Разработана модель, позволяющая оценивать электрическое состояние устойчивого, нейтрального и конвективного атмосферных пограничных слоев.

Авторы: С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, С.В. Галиченко, Э.М. Дмитриев, Н.М. Шихова (Институт физики Земли РАН), А.А. Булатов, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, П.А. Микрюков, М.В. Шаталина, Ю.В. Шлюгаев, Д.В. Янин (ИПФ РАН), А.В. Калинин, С.С. Зилитинкевич (ННГУ).

Аннотация. Экспериментально и теоретически исследовано электрическое состояние среднеширотного атмосферного пограничного слоя, невозмущенного облачностью, осадками, туманом, промышленными аэрозолями. Проведены натурные эксперименты по исследованию характеристик атмосферной турбулентности с помощью мобильного комплекса, включающего: гелиевый аэростат объемом 18 куб.м, профилемер SCITECH, электрические флюксометры, датчики электрической проводимости, метеодатчики, систему передачи информации на землю. Исследованы флуктуации электрического поля и проводимости в пограничном слое на высотах до 150 м. Установлены закономерности вертикального переноса заряда в слое атмосферы; в экспериментах с использованием привязной аэростатной системы подтверждено формирование аэроэлектрических структур. Развита теория электродного эффекта с учетом аэрозольных частиц. Найдены новые аналитические выражения для интегралов системы уравнений электродного эффекта. Разработана модель, позволяющая оценивать электрическое состояние устойчивого, нейтрального и конвективного атмосферных пограничных слоев. Для параметризации модели использованы данные натурных наблюдений и лабораторных экспериментов. Исследованы вертикальный перенос объемного заряда, динамика высотных аэроэлектрических профилей в эволюционирующем пограничном слое с возрастающей конвективной активностью. Моделирование показало, что в условиях развитой конвекции максимальный градиент плотности объемного заряда формируется вблизи поверхности, уменьшаясь с высотой, если вертикальное распределение аэрозольных фракций однородно. Проведена оценка скорости генерации положительного заряда в приземном слое в условиях перехода от устойчивого к конвективному режиму атмосферного пограничного слоя.

Публикации

1. S.V. Anisimov, E.A. Mareev, N.M. Shikhova, M.V. Shatalina, S.V. Galichenko, S.S. Zilitinkevich. Aeroelectric structures and turbulence in the atmospheric boundary layer, *Nonlin. Proc. Geophys.*, 20, 819–824, 2013.
2. S.V. Anisimov, N.M. Shikhova. Intermittency of turbulent aeroelectric field, *Atmospheric Research*, 2014, V. 135-136, p. 255-262.
3. S.V. Anisimov, S.V. Galichenko, N.M. Shikhova. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study, *Atmospheric Research*, 2014, V. 135-136, p. 244-254.
4. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 2014, Т. 50, № 4, С. 1-9.
5. А.В. Калинин, Е.Е. Григорьев, А.А. Жидков, А.М. Терентьев. Классификация и свойства решений системы уравнений теории классического электродного эффекта, *Изв.ВУЗов. Радиофизика*, 2013, Т.LVI, №11-12, с. 829-852.
6. А.В. Калинин, А.М. Терентьев. Интегрирование некоторых систем теории классического электродного эффекта в присутствии аэрозолей (направлена в *Изв.ВУЗов. Радиофизика*).
7. S. Anisimov, S. Galichenko, N. Shikhova. Lagrangian approach to modeling of electrical properties of the growing convective boundary layer, 15th International Conference on Atmospheric Electricity (ICAE 2014), 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, USA.
8. S. Anisimov, S. Galichenko, N. Shikhova. Lagrangian approach to modeling of electrical properties of the growing convective boundary layer // XV International Conference on Atmospheric Electricity. Norman, Oklahoma, USA, 15-20 June, 2014.

2.20. С помощью сферической и упрощённой электротехнической моделей глобальной электрической цепи получены оценки влияния возмущений проводимости и плотности стороннего тока на ионосферный потенциал. Показано, что при учёте понижения проводимости внутри облаков ионосферный потенциал наиболее чувствителен к возмущениям стороннего тока, а также проводимости вне источников. При этом наблюдаемое влияние радиоактивности на динамику ионосферного потенциала не может быть объяснено повышением проводимости в средней атмосфере.

Авторы: А.В. Калинин, Е.А. Мареев, Н.Н. Слюняев, А.А. Жидков, А.А. Евтушенко, Н.В. Ильин, Ф.А. Кутерин, С.С.

Аннотация. Исследована задача о влиянии на ионосферный потенциал различных неоднородностей и возмущений проводимости и плотности стороннего тока. В наиболее общей постановке проведены оценки чувствительности ионосферного потенциала к таким возмущениям в различных частях глобальной цепи на основе упрощённой электротехнической модели глобальной цепи, применимость которой для качественного анализа данной задачи была обоснована путём сравнения с результатами расчётов в рамках трёхмерной сферической распределённой модели глобальной электрической цепи ряда модельных задач. Установлены основные тенденции воздействия на ионосферный потенциал возмущений проводимости плотности стороннего тока, получены количественные оценки, разработаны подходы к более точному анализу конкретных прикладных задач. В частности, установлено, что при задании модельного экспоненциального профиля проводимости для всей земной атмосферы ионосферный потенциал оказывается наиболее чувствительным к возмущениям плотности стороннего тока и возмущений проводимости внутри грозных облаков — источников глобальной

цепи, в то время как при учёте понижения проводимости в облаках (как грозových, так и негрозových) наибольшее влияние на ионосферный потенциал оказывают возмущения плотности стороннего тока, а из возмущений проводимости он наиболее чувствителен к неоднородностям в безоблачной части областей хорошей погоды.

Также рассмотрена задача о повышении ионосферного потенциала в 1960-е годы вследствие испытаний ядерного оружия в атмосфере. Показано, что локальное или глобальное повышение проводимости в верхней атмосфере само по себе не может объяснить наблюдавшуюся корреляцию и дать возмущение ионосферного потенциала нужной величины. В качестве других возможных механизмов влияния радиоактивности на глобальную цепь можно предложить изменение параметров источников и возмущения проводимости более сложной структуры.

3. Отделение нелинейной динамики и оптики

3.1. Предложен новый метод формирования двухцветных оптически синхронизированных импульсов высокого качества с помощью разработанной полностью волоконной лазерной системы, состоящей из эрбиевого задающего источника, нелинейно-оптического конвертора длины волны и тулиевого усилителя. Продемонстрированы импульсы, один из которых имеет центральную длину волны 2,0 мкм и реализован с энергией микроджоульного уровня, а другой плавно перестроен в диапазоне 2,0...2,3 мкм непосредственно в тулиевом активном волокне. Двухцветные импульсы востребованы в экспериментах типа «накачка-зондирование», а также при разработке мощных твердотельных лазерных усилителей на кристаллах Cr:ZnSe и Cr:ZnS в качестве затравки с синхронной накачкой. При использовании германатных волокон после тулиевого усилителя импульсы могут быть перестроены вплоть до 3 мкм. С помощью FROG-измерений экспериментально продемонстрированы спектрально ограниченные импульсы с sech-формой длительностью 125, 145 и 160 фс на 2, 2,25 и 2,7 мкм, соответственно.

Авторы: Анашкина Е.А., Андрианов А.В., Коптев М.Ю., Муравьев С.В., Ким А.В.

Аннотация. Значительный интерес к лазерным источникам фемтосекундных импульсов в диапазоне длин волн свыше 2 мкм обусловлен их важным значением, как для научных, так и прикладных задач, включающих экологический мониторинг, спектроскопию, медицинскую хирургию и офтальмологию, инвазивную и неинвазивную диагностику различных заболеваний, а также обработку материалов и др. В настоящее время для освоения указанного диапазона представляется весьма перспективным путь, связанный с нелинейно-оптическим преобразованием излучения и генерацией суперконтинуума в специальных световодах.

В данной работе предложен новый метод формирования двухцветных оптически синхронизированных импульсов высокого качества с помощью разработанной полностью волоконной лазерной системы, один из которых имеет центральную длину волны 2.0 мкм и реализован с энергией микроджоульного уровня, а другой плавно перестраивается в диапазоне 2.0-2.3 мкм непосредственно в тулиевом активном волокне. Данные импульсы могут быть использованы в экспериментах типа «накачка-зондирование», а также при разработке мощных твердотельных лазерных усилителей на кристаллах Cr:ZnSe и Cr:ZnS в качестве затравки с синхронной накачкой. Также предлагается использование эффекта рамановской перестройки несущей частоты оптического солитона в германо-силикатных световодах, накачиваемых излучением с выхода тулиевого усилителя, для получения излучения вплоть до 3 мкм.

Лазерная система состоит из фемтосекундного эрбиевого задающего генератора на центральной длине волны около полутора микрон, эрбиевого усилителя, нелинейно-оптического преобразователя сигнала в двухмикронный диапазон, тулиевого усилителя, а также нелинейного германатного световода. Излучение фемтосекундного эрбиевого волоконного лазера с кольцевым резонатором, пассивная синхронизация мод в котором осуществляется при использовании нелинейного вращения эллипса поляризации ультракороткого импульса на основе оптического эффекта Керра, усиливается в эрбиевых активных световодах до средней мощности 20 мВт, что соответствует энергии в импульсе 4 нДж при частоте повторения 5 МГц. Далее импульсы преобразовывались в двухмикронный диапазон так, чтобы попасть в полосу усиления активных световодов, легированных ионами тулия. Их энергия составила 0.5 нДж при длительности 70 фс. Для этой цели использовался эффект вынужденного рамановского самосмещения частоты оптических солитонов в нелинейном кварцевом волокне с переменной по длине волокна аномальной дисперсией. Затем использовался стретчер с нормальной дисперсией и активный световод с аномальной дисперсией, в котором был осуществлен нелинейный

режим усиления. По мере распространения сигнала по усилителю происходило сжатие за счет компенсации chirpa с последующим образованием солитона и его рамановским смещения из полосы усиления до 2.3 мкм включительно. Оставшийся после формирования солитона сигнал на длине волны 2 мкм вновь усиливался и образовывался солитонный импульс.

С помощью измерений методом оптического стробирования со спектральным разрешением (FROG) были продемонстрированы спектрально ограниченные импульсы с sech-формой с длительностью 125 фс с энергией 5 нДж на длине волны 2 мкм и длительностью 145 фс с энергией 3 нДж на 2.25 мкм.

В режиме усиления растянутых импульсов были получены сигналы на 2 мкм с энергией микроджоульного уровня энергии при 35 пс длительности.

Для продвижения в более длинноволновый диапазон после тулиевого усилителя использовался отрезок германатного световода с нулем дисперсии около 1.9 мкм. При распространении в нем импульсов происходила многосолитонная компрессия, сопровождаемая уширением спектра, с последующим распадом на солитоны в области аномальной дисперсии и их рамановским смещением. В частности, методом FROG были измерены спектрально-ограниченные сигналы на длинах волн 2.5 и 2.7 мкм с длительностями 110 и 160 фс соответственно. Получен суперконтинуум с красной границей 3 мкм.

Все экспериментальные измерения подтверждены математическим моделированием.

Публикации

1. M.Yu. Koptev, E.A. Anashkina, A.V. Andrianov, S.V. Muravyev, and A.V. Kim, "Two-color optically synchronized ultrashort pulses from a Tm/Yb-co-doped fiber amplifier," *Optics Letters*, Vol. 39, No 7, pp. 2008-2011 (2014).

2. E.A. Anashkina, A.V. Andrianov, M.Yu. Koptev, S.V. Muravyev, and A.V. Kim, "Generating femtosecond optical pulses tunable from 2 to 3 μm with a silica-based all-fiber laser system," *Optics Letters*, Vol. 39, No 10, pp. 2963-2966 (2014).

3. E.A. Anashkina, A.V. Andrianov, M.Yu. Koptev, S.V. Muravyev, and A.V. Kim, "Towards Mid-Infrared Supercontinuum Generation with Germano-Silicate Fibers," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 20, No. 5, 643-650 (2014).

3.2. Показано, что когда напряженность лазерного поля превышает определенный порог, взаимодействие такого поля с твердотельными мишенями происходит в радиационно-доминантном режиме, сопровождаемым новыми эффектами: радиационном захвате электронов лазерным импульсом и эффективной генерацией гамма-квантов. Выше порога: (i) доля лазерной энергии, конвертируемой в энергию гамма-квантов, превышает долю лазерной энергии, передаваемой электронам, (ii) пондеромоторная сила со стороны лазерного импульса на электроны сильно подавлена силой реакции излучения, в результате часть электронов мишени захватываются внутрь импульса. Найден режим взаимодействия, когда при высокой степени конверсии лазерной энергии в энергию гамма-квантов диаграмма направленности гамма-излучения становится узкой, что может быть использовано для создания гамма-источников, превосходящих по яркости существующие источники.

Авторы: Е.Н. Неруш, И.Ю. Костюков, L.L. Ji, A. Pukhov, B.F. Shen, K.U. Alki (ИПФ РАН, ННГУ, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Ohio State University, Columbus).

Аннотация. В настоящее время в мире проектируются лазерные системы (например, ELI в Европе <http://www.extreme-light-infrastructure.eu>, ЦИЭС в России <http://www.xcels.iapras.ru/>), где интенсивность излучения превысит 10^{24} Вт/см². При такой интенсивности взаимодействие лазерного излучения с веществом может происходить в новом радиационно-доминантном режиме. Электроны плазмы, возникающей при ионизации вещества излучением, в лазерном поле совершают колебания с высокой энергией. В результате таких колебаний электроны эффективно излучают сверхвысокие гармоники в рентгеновском и гамма диапазоне. Таким образом, электроны становятся эффективными конверторами лазерного излучения в жесткое электромагнитное излучение. При этом динамика электронов в значительной степени определяется силой реакции излучения (отдачей на электрон при испускании им фотона).

В наших работах [1] с помощью оригинальной численной модели, позволяющей исследовать взаимодействие сверхсильных электромагнитных полей с веществом с учетом радиационных и квантовых эффектов, найдена пороговая интенсивность лазерного излучения, при которой происходит переход к новому режиму взаимодействия - радиационно-доминантному режиму. В этом режиме доля лазерной энергии, конвертируемой в энергию гамма-излучения, превышает долю лазерной энергии, передаваемой электронам. В широком диапазоне лазерных интенсивностей и плотностей вещества найдены доли лазерной энергии, передаваемой электронам, ионам и гамма-квантам [2]. Рассмотрены случаи циркулярной и линейной поляризации лазерного излучения. Построена аналитическая модель, позволяющая оценивать мощность гамма-излучения [3]. Найдены параметры лазерного излучения, которые уже доступны для существующих лазерных систем и для которых яркость лазерно-плазменного источника гамма-излучения превышает яркость существующих источников гамма-излучения. Для радиационно-доминантного режима обнаружен новый эффект – захват электронов плазмы внутри лазерного импульса [4]. В обычном режиме, характерном для лазерного излучения с интенсивностью ниже порогового значения, сила реакции излучения пренебрежимо мала и плазменные электроны выталкиваются пондеромоторной силой из лазерного импульса. В радиационно-доминантном режиме пондеромоторная сила подавлена силой реакции излучения, и часть электронов может находиться внутри импульса значительное время.

Публикации

1. Ji L.L., Pukhov A., Kostyukov I.Yu., Shen B.F., Akli K.U. Radiation-reaction trapping of electrons in extreme laser fields // *Physical Review Letters*. 2014. V. 112. P. 145003-1-4.
2. Nerush E.N., Kostyukov I.Yu., Ji L., Pukhov A. Gamma-ray generation in ultrahigh-intensity laser-foil interactions // *Physics of Plasmas*. 2014. V. 21. P. 013109-1-8.
3. Ji L.L., Pukhov A., Nerush E.N., Kostyukov I.Yu., Shen B.F., Akli K.U. Energy partition, γ -ray emission, and radiation reaction in the near-quantum electrodynamic regime of laser-plasma interaction // *Physics of Plasmas*. 2014. V. 21. P. 023109-1-8
4. Ji L.L., Pukhov A., Nerush E.N., Kostyukov I.Yu., Akli K.U., Shen B.F. Near QED regime of laser interaction with overdense plasmas // *European Physical Journal Special Topics*. 2014. V. 223, No. 6. P. 1069–1082.

3.3. Впервые показано, что в широком диапазоне плотностей мощности лазерного излучения (от $2 \cdot 10^2$ до $1.6 \cdot 10^6$ Вт/см²) наблюдается дозовый механизм фотовыгорания в опухолевых сфероидов флуоресцентного белка KillerRed (ИБХ РАН), фототоксическое действие которого основано на генерации им активных форм кислорода. Обнаружено, что при импульсном режиме воздействия гибель клеток наступает вследствие апоптоза, в отличие от непрерывного режима лазерного воздействия, которое активирует некроз.

Сравнение непрерывного и импульсного режимов воздействия на опухоли животных, экспрессирующих белок KillerRed, показало наличие выраженных патоморфологических изменений в случае импульсного лазерного воздействия, указывающих на терапевтический эффект.

Авторы: В.А. Каменский, И.В. Турчин, П.В. Субочев, В.В. Дуденкова (ИПФ РАН), Д.С. Кузнецова, М.В. Ширманова, Е.В. Загайнова (НижГМА), С.А. Лукьянов (ИБХ РАН)

Аннотация. В 2006 г. в лаборатории С.А. Лукьянова (ИБХ РАН, Россия) был создан GFP-подобный белок с фототоксичными свойствами, названный KillerRed (KR). Он представляет собой красный флуоресцентный белок. В отличие от других GFP-подобных белков, KillerRed имеет ряд особенностей, отвечающих за фототоксичность. Было показано, что в ответ на облучение светом белок KillerRed производит активные формы кислорода по первому типу реакции фотосенсибилизации. Как предполагается, Killer Red способен существовать в двух формах – протонированной (красная форма) и депротонированной (зеленая нефлуоресцентная форма). Не смотря на имеющиеся данные, эффективность фотохимической реакции с KillerRed остается мало изученной

Впервые проведено изучение степени выгорания флуоресцентного белка KillerRed (ИБХ РАН), в основе фототоксического действия которого лежит генерация им активных форм кислорода, в опухолевых сфероидов в зависимости от световой дозы при использовании непрерывного и импульсного режимов облучения. Показано что в широком диапазоне плотностей мощности (от $2 \cdot 10^{-2}$ до $1.6 \cdot 10^6$ Вт/см²) наблюдается дозовый механизм фотовыгорания белка. Было обнаружено, что при различных режимах воздействия светом происходит активация разных путей гибели клеток. При облучении непрерывным лазером гибель клеток наступала вследствие активации некроза. При импульсном режиме воздействия мы наблюдали активацию апоптоза Рис 1. Проведенное исследование на опухолях с белком, привитых на экспериментальных животных показало замедление роста опухоли и различную динамику для импульсного и непрерывного режима облучения.

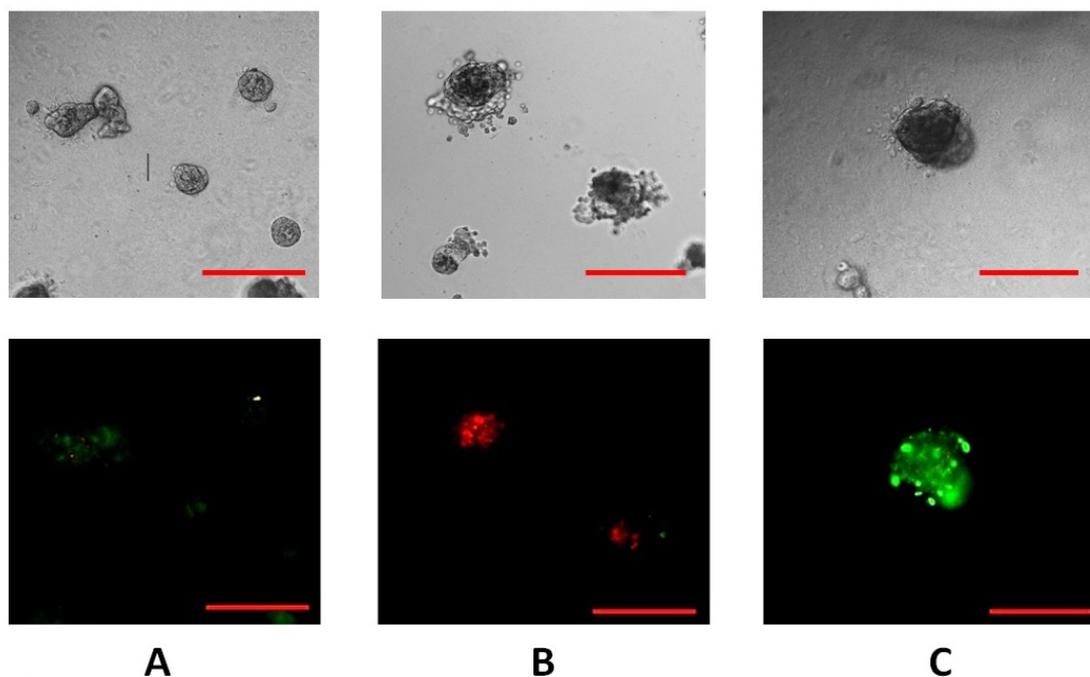


Рис1. Анализ клеточной гибели сфероидов, получивших дозу облучения 140 Дж/см²; А – контроль (необлученные сфероиды), В – непрерывный лазер, С – импульсный лазер

Покрашены специальным маркером красный –некроз, зеленый - апоптоз

В объяснении причины активации различных механизмов клеточной гибели при различных режимах лазерного воздействия можно провести аналогию с другими GFP-подобными белками. Импульсный режим для KillerRed может являться более щадящим, вызывающим апоптоз, за счет отсутствия получения дополнительной энергии в виде квантов света в период нахождения Killer Red в депротонированной зеленой форме, неспособной поглощать свет. Данная добавочная энергия во время неактивного состояния фотосенсибилизатора при непрерывном лазерном воздействии может вызывать каскад фотохимических реакций, тепловых колебаний и квантовых переходов, что в итоге заканчивается некрозом клеток.

Публикации

1. Shirmanova M.V., Serebrovskaya E.O., Lukyanov K.A., Snopova L.B., Sirotkina M.A., Prodanetz N.N., Bugrova M.L., Minakova E.A., Turchin I.V., Kamensky V.A., Lukyanov S.A., Zagaynova E.V. «Phototoxic effects of fluorescent protein KillerRed on tumor cells in mice, J. Biophotonics v.6 #3, pp.283-290, 2013.

2. Daria S. Kuznetzova, Marina V. Shirmanova, Pavel V. Subochev, Varvara V. Dudenkova, Иля V. Turchin, Elena V. Zagaynova Vladislav A. Kamensky, and Sergey A. Lukyanov “Phototoxic effects of KillerRed in tumor spheroids induced by continuous wave and pulsed laser illumination», send to J. Biophotonics (2014)

3.4. В методе спектральной оптической когерентной томографии разработан новый подход к объемной визуализации микрососудистой сети в биоткани (ангиографии) с разделением сосудов по скоростям движений. Движущиеся рассеиватели выделяются по амплитудно-фазовым изменениям в спеклах за счет фильтрации пространственного спектра двухкоординатных изображений, формирующих трехкоординатный массив данных. Высокая плотность и скорость получения элементов изображения позволяют эффективно компенсировать крупномасштабные движения живой ткани, что, в отличие от известных доплеровского и корреляционного подходов, обеспечивает повышенную робастность и чувствительность предложенного метода.

Авторы: Л.А. Матвеев, В.Ю. Зайцев, Г.В. Геликонов, А.Л. Матвеев, А.А. Моисеев С.Ю. Ксенофонтов, В.М. Геликонов (ИПФ РАН), В.В. Демидов, А. Виткин (Университет Торонто, Канада)

Аннотация. Для повышения информативности и специфичности обследования биотканей методами оптической когерентной томографии (ОКТ) предложен и апробирован новый подход к решению проблемы картирования микрососудистой сети (ангиографии). Трехмерное ангиографическое изображение строится из набора вертикальных двумерных комплексных ОКТ сканов (В-сканов), на которых новым способом выделяются только сечения сосудов. В отличие от известных подходов, при этом не используется очень чувствительные к движениям живой ткани процедуры выделения доплеровских компонент оптического сигнала и не требуется многократное повторное получение двумерных сканов в одной плоскости для выделения наиболее изменчивых областей. Хотя и в новом методе контраст обеспечивает движение рассеивающих частиц крови, для их обнаружения используется новая безопорная обработка индивидуальных плотных В-сканов, в которых отдельные «линии» (А-сканы), имеющие ширину оптического пучка, многократно перекрываются. За время этого перекрытия, спеклы, соответствующие движущимся рассеивателям в сосудах, испытывают выраженные амплитудно-фазовые изменения, а изображения частиц

окружающей ткани многократно более стабильны и имеют вид многократно более вытянутых в горизонтальном направлении спеклов в В-скане. Фильтрация горизонтального пространственного спектра таких уплотненных изображений позволяет выделить только сечения сосудов с движущимися рассеивателями без снижения исходного разрешения изображения. При этом объемные движения ткани (связанные с дыханием, сердцебиением и другими естественными причинами) оказывается возможным эффективно компенсировать, используя сравнение средних фаз соседних А-сканов, на которых сечения сосудов занимают лишь небольшую долю.

К достоинствам нового метода относятся:

(1) Повышенная чувствительность за счет использования как фазовых, так и амплитудных вариаций поля, что объединяет достоинства как известных доплеровских методов, так и методов, использующих изменчивость интенсивности спеклов от движущихся рассеивателей, и обеспечивает повышенную робастность и чувствительность нового подхода.

(2) Использование в новом методе изменчивости спеклов за счет и осевых, и латеральных движений рассеивателей, обусловленных как потоковым (коллективным), так и броуновским движением рассеивателей.

(4) Повышенная робастность метода по отношению к маскирующим объемным движениям ткани со скоростями до нескольких см/с. Эти движения удается эффективно отслеживать и компенсировать за счет многократно более высокой частоты получения сравниваемых одномерных А-сканов по сравнению с обычно сравниваемыми двумерными В-сканами, требующими гораздо более высокой стабилизации обследуемой ткани.

(5) Сохранение на ангиографическом изображении максимального разрешения, соответствующего исходному разрешению системы, в отличие от корреляционных методов, где разрешение определяется размером корреляционного окна.

(6) Возможность градации визуализируемых сосудов по скоростям изменчивости за счет изменения пороговой частоты при выполнении фильтрации исходных В-сканов.

При реализации нового метода не требуется введения дополнительных контрастных агентов в кровь, что при использовании практически неизменных аппаратных средств открывает возможности создания ОКТ сканеров для многофункционального биомедицинского обследования, включая микроангиографическое.

Публикации

1. В. Ю. Зайцев, И. А. Виткин, Л. А. Матвеев, В. М. Геликонов, А. Л. Матвеев, Г. В. Геликонов, Современные тенденции в многофункциональной оптической когерентной томографии. II. Метод корреляционной стабильности в ОКТ-эластографии и методы визуализации кровотока, Изв. ВУЗов Радиофизика т.57, с.231, 2014.

2. V.Y. Zaitsev, L.A. Matveev, A.L. Matveyev, G.V. Gelikonov, and V.M. Gelikonov, A model for simulating speckle-pattern evolution based on close to reality procedures used in spectral-domain OCT, Laser Phys. Lett. v.11, 105601, 2014.

3. L.A. Matveev, V.Yu. Zaitsev, G.V. Gelikonov, A.L. Matveyev, A.A. Moiseev, S.Yu. Ksenofontov, V.M. Gelikonov, V. Demidov and A. Vitkin, Scan-pattern and signal processing for microvascular visualization with complex SD-OCT: tissue-motion artifacts, robustness, and decorrelation time - blood vessel characteristics, Abstracts of 4. 4. Saratov Fall Meeting-2014, Section Biophysics, <http://sfm.eventry.org/report/1059>

L.A. Matveev, V.Yu. Zaitsev, G.V. Gelikonov, A.L. Matveyev, A.A. Moiseev, S.Y. Ksenofontov, V.M. Gelikonov, V. Demidov, A. Vitkin, Novel OCT-based approach to microvasculature visualization using reference-free processing of complex-valued B-scans, Opt.Lett. (submitted).

3.5. Разработан квантрон на композитном элементе Yb:YAG/YAG, изготовленном при помощи метода термодиффузионной сварки кристаллов граната, позволяющего создавать композитные элементы высокой механической прочности без рассеяния излучения на контактах. За счет ослабления влияния усиленного спонтанного излучения и нелинейного тепловыделения при непрерывной накачке достигнута запасенная энергия 400 мДж и усиление по слабому сигналу 1,25. На основе квантрона создан высокоэффективный дисковый лазер мощностью 300 Вт и КПД 30%.

Авторы: Кузнецов И.И., Мухин И.Б., Перевезенцев Е.А., Вадимова О.Л., Палашов О.В.

Аннотация Важнейшей проблемой, ограничивающей масштабирование дисковых Yb:YAG лазеров является паразитный эффект усиленного спонтанного излучения (УСИ), связанный с большим коэффициентом усиления в диске вдоль радиальной координаты. Как известно, влияние УСИ существенно возрастает из-за «запирания» излучения люминесценции в лазерном кристалле, связанного с эффектом полного внутреннего отражения от торцов кристалла, что приводит к уменьшению усиления в активном элементе (АЭ) и ограничению увеличения запасенной энергии путем увеличения диаметра накачки. Эффективным способом существенно ослабить влияние УСИ является создание композитного АЭ Yb:YAG/YAG, состоящего из тонкого диска из Yb:YAG и толстого диска из недопированного YAG. В таком АЭ отсутствует полное внутреннее отражение на одном из торцов кристалла Yb:YAG и люминесценция свободно покидает допированную область. Крепление двух дисков Yb:YAG и YAG торцевыми сторонами осуществляется при помощи оригинальной технологии термодиффузионной сварки, включающей химическую обработку поверхностей кристаллов и нагрев композита до температуры близкой к температуре плавления. Показано, что в композитном АЭ также существенно ослабляется эффект нелинейного тепловыделения, появляющийся в тонких Yb:YAG дисках при высокой плотности инвертированных состояний. Высказано предположение о том, что причиной нелинейного тепловыделения является поглощение УСИ. Применение композитной геометрии позволит ослаблять нагрев АЭ при использовании кристаллов Yb:YAG с более высоким уровнем допирования.

На основе изготовленных композитных АЭ разработан дисковый лазерный квантрон, включающий высокоэффективную систему водяного охлаждения АЭ и оптическую многопроходную схему заведения накачки. За счет ослабления влияния эффектов усиленного спонтанного излучения и нелинейного тепловыделения достигнуто высокое усиление по слабому сигналу (1.25) при высокой запасенной энергии (400 мДж). В тонких Yb:YAG дисках при такой запасенной энергии усиление не превышает величину 1.15. На базе разработанного лазерного квантрона создан высокоэффективный непрерывный дисковый лазер мощностью 300 Вт и КПД 30%.

Публикации

1. Mukhin I.B, Perevezentsev E.A., Palashov O.V., “Fabrication of composite laser elements by a new thermal diffusion bonding method”, Optical Materials Express, Vol. 4, Issue 2, pp. 266-271 (2014), DOI:10.1364/OME.4.000266.
2. Kuznetsov I.I., Mukhin I.B., Silin D.E.; Vyatkin A.G.; Vadimova O.L.; Palashov O.V., “Thermal Effects in end-pumped Yb:YAG thin-disk and Yb:YAG/YAG composite active element”, IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. 50, Issue 3, pp. 133–140 (2014), DOI: 10.1109/JQE.2013.2297743.
3. Кузнецов и др., «Высокоэффективный дисковый лазер на основе композитного Yb:YAG/YAG активного элемента», отправлено в «Квантовую электронику».

4. Kuznetsov, I. B. Mukhin, O. L. Vadimova, O. V. Palashov “Thin-disk multipass amplifier with composite Yb:YAG/YAG active element”, ASSL-2014, Shanghai, AM5A.38.

3.6. Предложено использовать керамику в качестве магнитоактивного элемента в изоляторах Фарадея. Показано, что керамики по термооптическим характеристикам сопоставимы с монокристаллом тербий-галлиевого граната и значительно превосходят магнитооптические стекла, что позволяет создавать на их основе широкоапертурные устройства, для которых нет кристаллических элементов необходимого размера. Разработаны различные виды изоляторов из керамик тербий-галлиевого граната и тербий-алюминиевого граната. Устройства обеспечивают степень изоляции 30 дБ при киловаттном уровне мощности лазерного излучения.

Авторы: А.В. Старобор, И.Л. Снетков, Д. С. Железнов, О.В. Палашов (ИПФ РАН), R. Yasuhara (National Institutes of Natural Sciences, National Institute for Fusion Science, Japan), Shengming Zhou (Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, China).

Аннотация. Увеличение мощности лазерных установок приводит к росту требований к характеристикам оптических элементов. В частности требуется увеличение диаметров элементов и снижение негативных эффектов связанных с тепловым самовоздействием лазерного излучения. Оптическая керамика сочетает преимущества стекол (практически неограниченный размер) и монокристаллов (высокая теплопроводность и др). Изолятор Фарадея (ИФ) это устройство предназначенное для того чтобы пропускать линейно поляризованный свет в одном направлении и не пропускать в обратном. Тем самым могут быть экранированы мощные усилители, что предупреждает их самовозбуждение, потери запасенной энергии и т.д. Однако, ИФ подвержены негативным тепловым эффектам возникающим из-за теплового самовоздействия мощного излучения в их магнитооптических элементах. В результате этих эффектов снижается степень изоляции устройства и ухудшаются характеристики проходящего излучения.

На сегодняшний день для мощных ИФ кристаллы тербий-галлиевого граната (TGG) являются практически безальтернативными, однако их апертура ограничена 30-40 мм, что делает невозможным создание широкоапертурных устройств. Нами было предложено создание ИФ на основе магнитоактивных керамик и проведено исследование керамики TGG, производства Коношима (Япония) и допированного церием тербий-алюминиевого граната (Ce:TAG), производства SIOM (Китай). Измерена постоянная Верде сред в диапазоне температур 300-80К, показано, что у керамики TGG она равна постоянной Верде кристалла TGG, у TAG и у Ce:TAG больше при комнатной температуре на 20% и 40% соответственно и на 36% и 65% при азотной. Исследованы термооптические характеристики материалов: тепловая линза, термонаведенная деполяризация в зависимости от мощности лазерного излучения и температуры. Показано, что по термонаведенной деполяризации и оптической силе термонаведенной линзы керамика TGG не уступает монокристаллу TGG. Керамики Ce:TAG и TAG выигрывают по термодеполяризации у кристалла TGG в 2.1 раза и 3.5 раза соответственно, но уступают в возникающей тепловой линзе в 2.5 и 1.2 раза соответственно.

Разработаны различные виды изоляторов Фарадея. Устройство, выполненное по схеме компенсации деполяризации на TGG керамике показало степень изоляции 35 дБ при 740 Вт лазерной мощности, что по оценкам соответствует 30дБ при мощности 1.8 кВт. Аналогичное устройство на Ce:TAG керамике показало степень изоляции 40 дБ при 300 Вт лазерной мощности, что по оценкам соответствует 30дБ при мощности 2.2 кВт. Таким образом, можно констатировать, что изготовленные керамики по термооптическим характеристикам сопоставимы с монокристаллом TGG и значительно превосходят магнитооптические стекла, что позволяет создавать на их основе широкоапертурные устройства, в которых невозможно использование кристаллических элементов.

Публикации

1. Dmitry Zheleznov, Aleksey Starobor, Oleg Palashov, Chong Chen, and Shengming Zhou, «High-power Faraday isolators based on TAG ceramics», *Optics Express*, Vol. 22, Issue 3, pp. 2578-2583 (2014).
2. Snetkov, I. L., Yasuhara, R., Starobor, A. V., & Palashov, O. V., «TGG ceramics based Faraday isolator with external compensation of thermally induced depolarization». *Optics Express*, 22(4), 4144 (2014), doi:10.1364/OE.22.004144
3. Zheleznov, D., Starobor, A., Palashov, O., Lin, H., & Zhou, S. Improving characteristics of Faraday isolators based on TAG ceramics by cerium doping. *Optics Letters*, 39(7), 2183–6 (2014).
4. Starobor Alexey, Yasuhara Ryo, Zheleznov Dmitry, Palashov Oleg, Khazanov Efim. “Cryogenic Faraday Isolator Based of TGG ceramics” // *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Volume: 50 , Issue: 9, pp 748 – 754 (2014).
5. A. Starobor, D. Zheleznov, O. Palashov, C. Chen, S. Zhou, and R. Yasuhara, "Study of the properties and prospects of Ce:TAG and TGG magneto-optical ceramics for optical isolators for lasers with high average power," *Opt. Mater. Express* 4, 2127-2132 (2014).

3.7. Разработаны объективные критерии для автоматического распознавания патологических состояний биотканей различных локализаций на диагностических изображениях оптической когерентной томографии (ОКТ), основанные на статистическом анализе спекл-структуры. Предложенный подход показал высокую эффективность для дифференциации нормальных и патологических состояний слизистых оболочек, полученных при ОКТ-лапароскопии. Для дифференциации изображений, полученных методом кросс-поляризационной ОКТ был дополнительно предложен новый параметр – интегральный фактор деполяризации, характеризующий, в частности, наличие упорядоченных коллагеновых структур в исследуемых биотканях.

Авторы: Кириллин М.Ю., Сергеева Е.А., Шахова Н.М., Гладкова Н.Д., Виткин А. (ИПФ РАН, НижГМА)

Аннотация. В последнее десятилетие метод оптической когерентной томографии (ОКТ) начал активно применяться в клинической практике. Наиболее широко метод ОКТ применяется в офтальмологии, что обусловлено относительно слабым рассеянием тканей глаза, и диагностическое ОКТ-изображение отражает морфологическую структуру глаза. Однако, при применении ОКТ для диагностики других биотканей, таких как кожа и слизистые оболочки, при интерпретации получаемых ОКТ-изображений необходимо учитывать многократное рассеяние зондирующего излучения в биотканях, что в конечном счете влияет на ОКТ-изображения. Другой проблемой остается субъективизм при оценке полученного ОКТ-изображения клиницистом.

В связи с указанными обстоятельствами актуальным является развитие алгоритмов объективизации диагностических ОКТ-изображений, к которым можно отнести и алгоритмы распознавания патологий, основанные на численной обработке изображений. При разработке таких алгоритмов важным является учет особенностей формирования ОКТ-изображения, что может, в частности, быть реализовано путем анализа ОКТ-изображений, полученных путем численного моделирования для объектов с заданными физическими и оптическими характеристиками.

В рамках настоящей работы были разработаны алгоритмы для распознавания патологий на основании диагностических ОКТ-изображений биотканей, полученных как с помощью традиционной, так и с помощью кросс-поляризационной модификаций метода ОКТ. Алгоритм для традиционной модификации ОКТ основан на анализе гистограммы ОКТ-изображения или его участка. На примере экспериментальных и смоделированных

методом Монте-Карло ОКТ-изображений калиброванных фантомов (суспензий полистереновых микросфер) было показано, аппроксимация гистограммы участка изображения функцией гамма-распределения является чувствительной к оптическим характеристикам образца. Это открывает возможности использования параметров аппроксимирующей функции гамма-распределения для характеристики ОКТ-изображения. Анализ гистограмм также использован для разработки критериев распознавания патологий (фиброза и отека) на диагностических ОКТ-изображениях маточных труб. Применение разработанного алгоритма позволило повысить диагностическую точность метода с 88% до 96%.

Применительно к методу кросс-поляризационной ОКТ был предложен новый параметр для характеристики ОКТ-изображения – интегральный фактор деполяризации, характеризующий, в частности, наличие упорядоченных коллагеновых структур в исследуемых биотканях. Вычисление параметра основано на усреднении отношения сигналов в ортогональной и прямой поляризациях на усредненных по поперечной координате А-сканах ОКТ. Было показано, что предложенный параметр чувствителен к патологиям, сопровождающимся изменениями в содержании и структуре пучков коллагеновых волокон в биотканях. В частности, была показана его эффективность при диагностике атеросклеротической бляшки, фиброза и неоплазии мочевого пузыря (диагностическая точность – 79 и 75% соответственно), а также диагностике рецидива рака на постоперационном рубце мочевого пузыря (диагностическая точность – 97%).

Публикации

1. M.Yu. Kirillin, G. Farhat, E.A. Sergeeva, M.C. Kolios, and A. Vitkin “Speckle statistics in OCT images: Monte Carlo simulations and experimental studies”, *Optics Letters*, 39(12), 3472-3475 (2014)
2. Е.В. Губарькова, М.Ю. Кириллин, Е.А. Сергеева, Киселева Е.Б., Снопина Л. Б., Проданец Н.Н., Шарабрин Е.Г., Шахов Е.Б., Немирова С.В., Гладкова Н.Д., “Кросс-поляризационная оптическая когерентная томография в оценке структуры атеросклеротической бляшки”, *Современные технологии в медицине*, 5(4), 24-34 (2013)
3. Пантелеева О.Г., Зиновьев А.Н., Юнусова К.Э., Кириллин М.Ю. и Шахова Н.М. “Диагностические возможности оптической интроскопии в выявлении причин нарушения репродуктивного здоровья женщин”, *Российский вестник акушера-гинеколога*, 5, 53-57 (2013).
4. M. Kirillin, O. Panteleeva, E. Yunusova, E. Donchenko, and N. Shakhova “Criteria for pathology recognition in OCT of fallopian tubes“, *Journal of Biomedical Optics*, 17, 081413 (2012).

3.8. Предложено использовать сверхтонкие (менее 1мм) пластиковые образцы для многокаскадного временного сжатия петаваттных импульсов до длительностей в несколько периодов осцилляций светового поля. Перспективность данного подхода подтверждена результатами численного моделирования, а также результатами экспериментов по измерению линейных и нелинейных свойств пластика. Экспериментально продемонстрировано, что на образцах полиэтилентерефталата не наблюдается повреждений от воздействия более 100 лазерных импульсов с характерной для излучения петаваттных лазеров интенсивностью несколько единиц ТВт/см²; при этом спектр лазерных импульсов уширился также как и в стеклянных элементах.

Авторы: Миронов С.Ю., Гинзбург В.Н., Гачева Е.И., Силин Д.Е., Кочетков А.А., Мамаев Ю.А., Шайкин А.А., Хазанов Е.А, Сергеев А.М., G. Mourou (ИПФ РАН)

Аннотация. Благодаря изобретению техники усиления chirpiруемых импульсов (CPA) [1] были созданы лазерные системы с пиковой мощностью выходного излучения превышающей 1 ПВт [2]. Как правило, в подобных лазерных комплексах энергия в импульсе достигает десятков джоулей, а длительность составляет десятки фемтосекунд. Для ряда задач, например получения атто- и зептосекундных импульсов, необходимо использование мощных оптических импульсов с длительностью в несколько периодов осцилляций светового поля. В настоящее время создание подобных источников является нерешенной фундаментальной задачей. Один из возможных подходов к ее решению, основан на использовании эффекта самомодуляции фазы, возникающего в результате распространения сверхмощного излучения через среду с кубической нелинейностью. Нелинейная фаза или В-интеграл вносят спектральную фазовую модуляцию и уширяют спектр сверхмощного излучения. Использование внешних корректоров фазы спектра, например chirpiрующих зеркал, позволяет сократить длительность импульса. В последнее время выполнены экспериментальные исследования по временному сжатию импульсов с пиковой интенсивностью превышающей $1\text{ТВт}/\text{см}^2$, в которых достигнуто двукратное сокращение длительности с 40фс до 20фс [4]. Отметим, что указанный уровень пиковой интенсивности соответствует интенсивности нефокусированного излучения петаваттного уровня мощности. Применение аналогичного подхода для реализации временного сжатия у сверхмощных лазерных импульсов требует использования большеапертурных (более 100 мм) тонких (менее 1мм) оптических элементов работающих на просвет, что является сложной технологической задачей.

В настоящей работе рассмотрена возможность применения пластиковых образцов полиэтилентерефталата для уширения спектра оптических импульсов. Выполнены экспериментальные исследования его линейных и нелинейных свойств. Показано, что коэффициент пропускания однородный в инфракрасной области спектра, а его значение составляет около 90%. Показатель преломления для длины волны 633 нм равен 1.573. Среднеквадратичное отклонение оптической толщины пластикового образца на апертуре 250 мм составляет 0.73 мкм, а на апертуре 100 мм 0.3 мкм. Полиэтилентерефталат вносит деполяризацию, значения которой зависят от ориентации образца по отношению к входной поляризации. Максимальный уровень деполяризации не превышает 7%, а минимальный не более 0.02%. Экспериментально продемонстрировано, что на образцах полиэтилентерефталата не наблюдается повреждений от воздействия более 100 лазерных импульсов с интенсивностью несколько единиц $\text{ТВт}/\text{см}^2$; при этом спектр лазерных импульсов уширяется также как и в стеклянных элементах. Значения кубической нелинейности примерно в два раза превышают значения для плавленого кварца, и составляет $5 \cdot 10^{-7} \text{см}^4/\text{ГВт}$. Использование пластиковых образцов открывает возможность реализации в эксперименте многокаскадного последовательного временного сжатия петаваттных импульсов до длительностей в несколько периодов осцилляций светового поля. С использованием трехмерного численного моделирования продемонстрировано сокращение длительности петаваттных лазерных импульсов с 27Дж/27фс до 7 фс на первой стадии сжатия, и с 7фс до 2фс на второй при толщинах пластика 0.5 мм и 0.1 мм соответственно [5].

1. Strickland D. and Mourou G., Compression of Amplified Chirped Optical Pulses, *Opt. Commun.* 56, 219-221 (1985).

2. А.В. Коржиманов, А.А. Гоносков, Е.А. Хазанов, А.М. Сергеев, Горизонты петаваттных лазерных комплексов, *УФН*, **181**, 9-32 (2011).

3. Mironov S.Y., Lassonde P., Kieffer J.-C., Khazanov E.A., and Mourou G.A., Quasi-uniform recompression of intense femtosecond 3D Gaussian optical pulses, *Eur. Phys. J. Special Topics* **223**, 1175-1180 (2014).

4. Mourou G., Mironov S.Y., Khazanov E.A., Mironov S.Y., and Sergeev A. M., Single cycle thin film compressor opening the door to Zeptosecond-Exawatt physics, *Eur. Phys. J. Special Topics* **223**, 1181-1188 (2014).

Публикации

1. G. Mourou, S. Mironov, E. Khazanov and A. Sergeev “Single cycle thin film compressor opening the door to Zeptosecond-Exawatt physics”, Eur. Phys. J. Special Topics, 223 6 (2014), 1181-1188.

2. S. Mironov, E. Gacheva, V. Ginzburg, D. Silin, A. Kochetkov, Yu. Mamaev, A. Shaykin, E. Khazanov, G. Mourou, “Use of polyethylene terephthalate for temporal recompression of intense femtosecond laser pulses”, Laser Physics Letters, submitted (2014).

3.9. Впервые теоретически и экспериментально изучена синхронизация высших порядков в системе осцилляторов с импульсными запаздывающими связями. Построены зоны синхронизации в пространстве параметров. Ширина зон зависит линейно от силы связи и периодически от времени запаздывания. Показано, что синхронизация возможна при сколь угодно больших величинах задержки, что было подтверждено экспериментально вплоть до сотен периодов собственных колебаний. Установлено, что в определенных интервалах задержек может сосуществовать несколько различных устойчивых режимов синхронизации одного порядка. Данный эффект является новым и ранее в теории синхронизации описан не был. Изучение влияния запаздывающих связей на режимы синхронизации высших порядков имеет большое значение для понимания процессов в нейронных сетях мозга и физических системах, в которых возникает задача синхронизации импульсов.

Авторы: Клиньшов В.В., Щапин Д.С., Некоркин В. И.

Аннотация. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование синхронизации высших порядков двух импульсных генераторов с запаздывающими связями. Синхронизацией порядка $m:n$ называется периодический режим, при котором за один период первый осциллятор генерирует n , а второй осциллятор m импульсов. В теоретической части для описания взаимодействия осцилляторов используется фазовое описание и концепция кривых переустановки фазы. Была изучена динамика системы в случае слабой связи, построено отображение Пуанкаре, описывающее динамику фазового сдвига между осцилляторами. Режимы синхронизации соответствуют устойчивым неподвижным точкам данного отображения. Были получены условия существования таких режимов и найдены зоны синхронизации $m:n$ в пространстве параметров. На границах зон синхронизации устойчивое периодическое решение исчезает через седло-узловую бифуркацию.

Показано, что ширина зон зависит линейно от силы связи и периодически от времени запаздывания. Следствием периодической зависимости от величины запаздывания является возможность наблюдения синхронизации при сколь угодно большом запаздывании. В экспериментальной части работы было проведено исследование двух электронных автогенераторов ФитцХью-Нагумо, обменивающихся импульсными сигналами через линии задержки. Построены экспериментальные бифуркационные диаграммы и зоны синхронизации 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 3:2, 4:3 на плоскостях параметров задержка – отношение частот и задержка – сила связи. Показано, что экспериментальные зоны синхронизации достаточно хорошо согласуются с теоретическими. Обнаружено, что в определенных интервалах величин запаздывания может сосуществовать несколько различных устойчивых режимов синхронизации одного порядка. При квазистатическом изменении величины запаздывания переключение между режимами имеет гистерезисный характер. Данный эффект связан с существованием двух или более устойчивых периодических решений. При изменении параметра одно из этих решений может исчезать через седло-узловую бифуркацию, что сопровождается скачкообразным переключением системы на другое решение.

Публикации

1. V. V. Klinshov, D. S. Shchapin, and V. I. Nekorkin, Cross-frequency synchronization of oscillators with time-delayed coupling, *Physical Review E* v.90, 042923 (2014).

2. V.V. Klinshov, Cross-frequency synchronization of delay-coupled oscillators. International conference XXXIV Dynamics Days Europe, 8-12 September 2014, Bayreuth, Germany.

3.10. Для модульных нейронных сетей, т.е. пространственно обособленных взаимодействующих подсетей, которые характеризуются высокой плотностью связей внутри модулей и редкими связями между ними, установлено существование синхронных режимов усредненной активности – синфазного и противофазного. Каждый из узлов сети демонстрирует стохастическую спайковую активность, а топология внутримодульных связей обладает свойством так называемого «малого мира». В отсутствие межмодульных связей каждый модуль демонстрирует нерегулярную активность в виде спайков, возникающих в случайные моменты времени. Показана возможность управления синхронными режимами всей сети за счет изменения межмодульного запаздывания. С помощью такого управления установлено: (а) чередование синфазного и противофазного режимов межмодульной синхронизации; (б) существование режима бистабильности; (в) изменение частоты колебаний усредненной модульной активности.

Авторы: Масленников О.В., Некоркин В.И.

Аннотация. Модульные нейронные сети – это пространственно обособленные взаимодействующие подсети, которые характеризуются высокой плотностью связей внутри модулей и редкими связями между ними. Такие структуры обнаружены в кортикальных сетях головного мозга, а также возникают при определенных условиях в диссоциированных нейронных культурах *in vitro*. В работе рассмотрены модели двухмодульных нейронных сетей взаимодействующих нейронов, которые генерируют нерегулярные последовательности спайков – коротких импульсов большой амплитуды. Внутри отдельного модуля нейроны связаны направленными соединениями посредством возбуждающих (~80 % от общего числа связей) и подавляющих (~20%) химических синапсов. Топология соединений внутри модуля организована по типу «малый мир»; межмодульные связи – это случайные направленные возбуждающие связи с запаздыванием. Топология «малый мир» возникает в регулярной сети с периодическими граничными условиями, в которой с определенной вероятностью (~10%) связи случайным образом перестраиваются (алгоритм Уотса-Строгаца). В отсутствие межмодульных связей нейроны генерируют стохастические спайковые последовательности, а усредненная по модулю активность представляет собой нерегулярные колебания. При включении межмодульного взаимодействия, начиная с некоторого порогового значения силы межмодульных связей, усредненная активность двух модулей представляет собой синфазные бёрстовые колебания. С появлением и дальнейшим увеличением межмодульного запаздывания в сети происходит чередование двух режимов усредненной модульной активности – синфазного и противофазного, на границах между которыми возникает режим бистабильности. Кроме этого, средняя частота бёрстов модульной активности в пределах каждого из этих режимов уменьшается с ростом запаздывания. Таким образом, запаздывание межмодульных связей производит управление режимами синхронной активности всей модульной сети.

Публикации

1. O.V. Maslennikov, V.I. Nekorkin. Modular networks with delayed coupling: synchronization and frequency control. // Phys. Rev. E. 2014. Vol. 90, Issue 1, 012901.
2. O.V. Maslennikov, V.I. Nekorkin. Collective dynamics of spiking neural networks with modular structure and delayed coupling. // Доклад на международном симпозиуме “Topical problems of nonlinear wave physics”, Н. Новгород – Саратов – Н. Новгород, 2014 г.
3. O.V. Maslennikov, D.V. Kasatkin, V.I. Nekorkin. Synchronization and control in modular networks of spiking neurons. // Доклад на международном симпозиуме “ISCS 2014: Interdisciplinary Symposium on Complex Systems”, Флоренция, Италия, 2014.

3.11. Осуществлены первые количественные исследования спектра одной из важнейших атмосферных молекул - димера воды - в условиях, соответствующих атмосферным, что позволило существенно продвинуться в понимании природы атмосферного континуума. Спектр поглощения димера наблюдался в водяном паре и в воздухе при различных температурах, давлениях и влажностях. Полученные экспериментальные данные позволили уточнить значения основных термодинамических и спектроскопических констант димера, важных для создания физически обоснованной модели распространения излучения в атмосфере, необходимой для точных расчетов радиационного баланса Земли и прогнозирования климата, а так же разработать модель вращательного спектра димера, обосновывающую возможность прямого радиометрического наблюдения и анализа димерного поглощения в атмосфере Земли с помощью современных приёмных комплексов.

Авторы: М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, А.Ф. Крупнов, Т.А. Одинцова
Е.А. Серов, В.В. Парши

Аннотация. Связанный с влажностью атмосферный континуум дает значительно больший вклад в радиационный баланс Земли, чем большинство газов, традиционно считающихся парниковыми. Дискуссии о природе континуума начались с момента его обнаружения в начале прошлого века и не прекращаются до наших дней. Гипотеза С.А. Жевакина о том, что континуум водяного пара обусловлен димерами воды после полувековых значительных усилий многих экспериментаторов многих стран мира была, наконец, подтверждена нами в 2012 году, когда в миллиметровом спектре водяного пара в условиях близких к атмосферным на грани чувствительности наилучшего в своем классе спектрометра была обнаружена последовательность пиков однозначно интерпретируемая, как принадлежащая димерам [1]. Эта работа подтвердила факт наличия димеров в теплом водяном паре и продемонстрировала возможность проведения количественных исследований его спектра в атмосферных условиях. Из нее также следовало, что более оптимальным для количественного изучения спектра димера является следующее, более высокочастотное микроокно прозрачности атмосферы, что и подтвердилось экспериментальными исследованиями в диапазоне частот 188-258 ГГц в условиях, соответствующих атмосферным температурам и давлениям. В зарегистрированных спектрах отчетливо наблюдается квазиэквидистантная последовательность из шести пиков, каждый из которых соответствует слившимся линиям вращательного спектра димера [3]. Наблюдающаяся серия является продолжением серии, обнаруженной на более низких частотах [1]. Достигнутое в экспериментах отношение сигнала к шуму позволило проследить эволюцию спектра чистого водяного пара при разбавлении его воздухом до давления 540 торр.

Спектр димера настолько сложный и густой, что обычные спектроскопические методы для его анализа не годятся. Для извлечения количественной информации из

полученных экспериментальных данных разработана модель спектра димера, представляющая собой сумму лоренцевых контуров и квадратично растущую с частотой «подставку». Показано, что в диапазоне частот 60-350 ГГц модель (с 10-ю эмпирическими параметрами) хорошо описывает результаты *ab initio* расчетов спектра димера в широком интервале температур и влажностей, характерных для атмосферы. Для количественного анализа спектров в модели имеется три варьируемых параметра – амплитуда, связанная с количеством димеров, ширина димерного пика, связанная с его однородным и неоднородным уширением и амплитуда квадратичной с частотой функции, характеризующей вклад в континуальное поглощение других механизмов, не связанных со стабильными димерами воды. Моделирование яркостной температуры атмосферы с учетом полученных данных показывает, что чувствительность современных радиометров, достаточна для наблюдения димерных пиков непосредственно в атмосфере [2].

Анализ полученных спектров позволил определить константу димеризации, энергию диссоциации водородной связи в димере, а так же спектральные характеристики димера, включающие средний параметр столкновительного уширения линий димера давлением водяного пара и воздуха. Проанализирован вклад в наблюдаемое поглощение метастабильных состояний димера и свободных пар молекул воды.

Известно, что континуум является результатом парных столкновительных взаимодействий молекул. Полученные нами данные позволили впервые построить диаграмму относительных вкладов различных парных состояний молекул водяного пара во второй вириальный коэффициент уравнения состояния в широком интервале атмосферных температур. Таким образом, в результате проделанной работы достигнуто существенное продвижение в понимании природы атмосферного континуума [3,4].

Публикации

1. M.Yu. Tretyakov, E.A. Serov, M.A. Koshelev, V.V. Parshin, A.F. Krupnov, Observation of the rotationally resolved spectrum of the water dimer at room temperature, *Phys. Rev. Letters*, 110, 093001 (2013).

2. T.A. Odintsova, M.Yu. Tretyakov, A.F. Krupnov, C. Leforestier, The water dimer millimeter-wave spectrum at ambient conditions: A simple model for practical applications, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 140, 75–80 (2014).

3. E.A. Serov, M.A. Koshelev, T.A. Odintsova, V.V. Parshin, M.Yu. Tretyakov. Rotationally resolved water dimer spectra in atmospheric air and pure water vapour in the 188 - 258 GHz range. *Physical Chemistry Chemical Physics* (2014), принята к публикации.

4. М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, Е.А. Серов, В.В. Паршин, Т.А. Одинцова, Г.М. Бубнов. Димер воды и атмосферный континуум. *Усп. Физ. Наук. (Обз. акт. пробл.)*, 2014, принята к публикации.

3.12. Продемонстрирована возможность создания синтезатора мм/субмм-диапазона на основе первичного источника излучения, стабилизированного по гребенке частот фемтосекундного лазера. Осуществлено пошаговое цифровое управление частотой излучения с неразрывной фазой при переключениях и запись отклика резонатора Фабри-Перо с характерной шириной 60 кГц, что сравнимо с шириной субдоплеровских профилей молекулярных линий. Спектральная чистота синтезатора выше спектральной чистоты, обеспечиваемой источником, стабилизированным по гармонике прецизионного микроволнового синтезатора частоты. Полученный результат имеет значение для развития методов высокоточной субтерагерцовой спектроскопии.

Авторы: Д.С. Макаров, М.Ю. Третьяков, А.П. Шкаев, А.М. Киселев, А.Н. Степанов, В.В. Паршин

Аннотация. Прецизионные измерения в оптическом и инфракрасном диапазонах волн с помощью частотно-стабилизированных лазерных гребенок широко известны. В настоящее время гребенки используются для стабилизации частоты источников излучения оптического, инфракрасного и ТГц-диапазонов, создания источников ТГц-излучения малой мощности и высокоточных анализаторов спектра. Потребность распространения лазерных методов в диапазон миллиметровых и субмиллиметровых (мм/субмм) волн обусловлена, прежде всего, уникальной спектральной чистотой компонент лазерной гребенки, достигающей в лучших экспериментах субмиллигерцового уровня.

Лабораторный макет синтезатора мм/субмм диапазона был сконструирован на основе разработанного ранее принципа фазовой стабилизации частоты излучения первичного источника по спектральным составляющим высокостабильной гребенки опорных частот, создаваемой излучением фемтосекундного лазера. В качестве первичного источника в синтезаторе использовалась серийная лампа обратной волны (типа ОВ-71) и гребенка опорных частот, создаваемая излучением Ti:Sa лазера с длительностью импульсов ~50 фс. Частота повторения импульсов (~92 МГц) стабилизировалась с помощью системы ФАПЧ по стандарту частоты и времени. Сигнал управления в полосе 0-250 Гц подавался на пьезокерамическое кольцо, корректировавшее изменение длины резонатора лазера.

Перенос лазерной гребенки в мм/субмм диапазон (оптико-терагерцовая конверсия) осуществлена на серийном планарном СВЧ диоде Шоттки. Излучение лазера фокусировалось на полупроводник (GaAs) в контактной области диода, приводя к возникновению фотоиндуцированных пикосекундных импульсов тока носителей, спектр которых образует гребенку опорных частот вплоть до 1 ТГц. На этот же диод принималось излучение ЛОВ. Стабилизированная частота ЛОВ $f_{ЛОВ}$ в разработанном синтезаторе определяется через частоту n -й компоненты гребенки $nf_{имп}$ ($f_{имп}$ – частота повторения импульсов) как $f_{ЛОВ} = nf_{имп} \pm f_{пч}$, где $f_{пч}$ – промежуточная частота, задаваемая высокоточным синтезатором (величина $f_{пч}$ может составлять несколько десятков мегагерц и не должна превышать половину от $f_{имп}$, в данной работе использовался синтезатор PTS x10B3O2AE). Управление частотой синтезатора в конечном итоге осуществляется через управление синтезатором промежуточной частоты и, при необходимости, переключением привязки к следующей компоненте гребенки фемтосекундного лазера.

Для демонстрации работы синтезатор был использован в качестве источника излучения в резонаторном спектрометре на базе резонатора Фабри-Перо. Форма резонансного отклика резонатора Фабри-Перо вблизи собственной частоты представляет собой профиль Лоренца, ширина которого определяется однопроходными потерями мощности излучения в резонаторе. Для резонатора, использовавшегося в данной работе, характерная ширина резонансного профиля составляет 60 кГц. Отклик резонатора работает как частотный дискриминатор: фазовые шумы излучения источника на склонах профиля преобразуются в шумы принятого со спектрометра сигнала, что позволяет оценить спектральную чистоту источника, использованного для записи профиля.

Для сравнения синтезатора, стабилизированного по оптической гребенке, с источником, стабилизированным по гармонике микроволнового синтезатора Agilent E8257D, оба источника были использованы для записи одного и того же резонансного профиля в резонаторном спектрометре. С использованием каждого из источников было получено большое количество записей. Анализ записанных профилей показал, что излучение синтезатора, стабилизированного по оптической гребенке, имеет заметно более узкий спектр по сравнению с источником, стабилизированным по гармонике микроволнового синтезатора.

Подобный синтезатор ММ/СубММ-диапазона, стабилизированный по оптической гребенке фемтосекундного лазера, может применяться для решения задач прецизионной

субдоплеровской спектроскопии, дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли, радиолокации, спутниковой навигации и других задач.

Публикации

1. D. S. Makarov, M. Yu. Tretyakov, A. P. Shkaev, A. M. Kiselev, A. N. Stepanov, and V. V. Parshin, "Femtosecond laser comb based subterahertz synthesizer", Applied Physics Letters 105, 063502 (2014).

**III. РЕЗУЛЬТАТЫ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫЕ
В ОТЧЕТ РАН ПО РАЗДЕЛУ
«ОСНОВНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ
НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ РАН,
ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ»**

1. Комплекс методов и программ для численного моделирования магнетронно-инжекторных пушек гироприборов.

Создана методика численного исследования электронных пучков в области эмиттера, резонатора и коллектора на основе комплекса программ ANGEL-2.5DS. Программа адаптирована для эффективного расчета систем с приосевыми пучками, в том числе пушек с реверсом магнитного поля. Реализована возможность моделировать прибор, в котором электродная подсистема несоосна с магнитной (оси азимутальной симметрии подсистем пересекаются под заданным углом в заданной точке). При этом сами подсистемы остаются азимутально-симметричными, но формируемые такой системой электронные пучки и пространственный заряд оказываются несимметричными. Кроме того улучшено графическое сопровождение траекторного анализа.

Программа является полностью 64-битной; теперь она дополнительно адаптирована для работы под управлением операционных систем семейства Linux.

Разработка готова к практическому использованию для проектирования гироприборов и рекомендуется к внедрению в ИПФ РАН, ЗАО «ГИКОМ», а также других институтах и предприятиях, имеющих дело с электронной оптикой интенсивных пучков и СВЧ-электроникой. Комплекс программ разработан полностью в ИПФ РАН и не использует сторонних частей кода, поэтому может быть защищен согласно закону о защите авторских и смежных прав.

2. Устройство для зарядки модуля емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) системы накопления и коммутации электрической энергии лазерной установки УФЛ-2М и стенд для проведения его ресурсных испытаний

С целью определения надежности работы высоковольтных зарядных устройств (ЗУ) и его составных частей в штатном режиме разработан и изготовлен стенд, основой которого является ЕНЭ с запасаемой энергией до 1 МДж и емкостью 3000 мкФ. Стенд позволяет проводить циклы заряд-разряд данного ЕНЭ с частотой до 1цикл/5 мин.

В течение февраля – ноября 2014 г. на стенде проведены ресурсные испытания опытного образца ЗУ, в процессе которых произведено 10.000 циклов заряд-разряд ЕНЭ стенда при зарядном напряжении 24 кВ. Проведенные испытания позволили определить гарантированную наработку на отказ опытного образца ЗУ, величина которой составила 5000 циклов.

По своим удельным энергетическим характеристикам (кВт/кг и кВт/м³) и надежностным показателям созданное ЗУ соответствует современному мировому уровню производства высоковольтных мощных источников электропитания.

Создание в ИПФ РАН компактного испытательного стенда на базе ЕНЭ с энергозапасом до 1 МДж позволяет проводить различные испытания узлов и компонентов, входящих в состав модуля конденсаторной батареи установки УФЛ-2М.

3. Комплекс высоковольтных источников электропитания гиротронного технологического комплекса «Пирс-Н»

Комплекс состоит из высоковольтных источников электропитания (КВИЭП) в составе высоковольтного источника постоянного напряжения 4÷17 кВ мощностью 40 кВт, высоковольтного источника постоянного напряжения 5÷25 кВ мощностью 2,5 кВт, источника питания термокатода гиротрона (ИПТ) и источника питания ионного насоса.

Комплекс предназначен для обеспечения работы технологического гиротрона КА-диапазона с выходной мощностью до 15 кВт в режимах непрерывной и импульсно-периодической генерации СВЧ-излучения.

Созданный опытный образец КВИЭП может быть использован для электропитания

гиротронов мощностью единицы – десятки кВт с рекуперацией энергии с целью повышения КПД гиротронных технологических комплексов.

4. Когерентная сейсмоакустика морского дна

Создана и экспериментально апробирована система морской сейсморазведки высокого разрешения, основанная на использовании когерентных гидроакустических излучателей, обеспечивающих высокую воспроизводимость и управление спектральным составом зондирующих сигналов в широкой полосе частот. Показано, что данная система позволяет реализовать сейсмоакустическое зондирование морского дна на глубинах до ~1000 метров с использованием относительно маломощных (на уровне излучаемой мощности ~100 Вт) и высокочастотных (в диапазоне сотен герц) частотно-модулированных сигналов, удовлетворяющих требованиям экологической безопасности морской сейсморазведки. Существенное (на ~30 дБ) повышение помехоустойчивости приема и высокая (до ~10 м) разрешающая способность зондирования структуры донных пород достигнуты в результате совместного применения ряда процедур когерентной обработки отраженных от донных слоев сигналов, включая согласованную фильтрацию (корреляционную свертку) отдельных импульсов, когерентное траекторное накопление серии импульсов в пределах горизонтально-однородных слоев и адаптивное траекторное накопление с учетом наклонов отдельных слоев, позволяющее увеличить эффективную длину импульсной последовательности.

Данная система представляет собой альтернативу используемым в настоящее время технологиям морской сейсморазведки, основанным на использовании мощных импульсных источников ударного типа (пневмопушек, спаркеров, бумеров и т.п.) и оказывающих существенное негативное акустическое воздействие на морских млекопитающих.

5. Гидрофон устойчивый к вибрационной помехе

Разработан гидрофон устойчивый к вибрационной помехе. За счет конструктивных особенностей, дополнительных чувствительных элементов и вибрационных калибровок балансировка выходного сигнала обеспечивает понижение чувствительности к вибрациям на величину до 20 дБ в диапазоне до 1 кГц по трем степеням свободы. Выход акустического давления датчика унифицирован, при этом с помощью встроенного микропроцессора могут быть реализованы режимы векторного приемника и измерителя ускорений. Изделие не требует дополнительных мер по виброизоляции при использовании на кабельных антенных, буях и вибрирующих конструкциях. Достигнутые показатели подавления вибрационной чувствительности превосходят соответствующие характеристики известных импортных и отечественных изделий.

6. Стационарная излучающая система для освещения подводной обстановки

Сформирована концепция и создан макет акустической системы для измерения параметров поверхностного волнения и получены формулы для доплеровского спектра отраженного акустического сигнала в приближении метода Кирхгофа с учетом применения в приборе разных диаграмм направленности для приемной и излучающей антенн. Разработаны алгоритмы измерения всех статистических моментов поверхностного волнения второго порядка акустическим волнографом. Работоспособность алгоритмов были проверена на тестовых массивах, сформированных с помощью численного моделирования.

7. Высокоэффективный дисковый лазер на композитном элементе Yb:YAG/YAG

Разработан квантрон на композитном элементе Yb:YAG/YAG, изготовленном при помощи метода термодиффузионной сварки кристаллов граната, позволяющего создавать композитные элементы высокой механической прочности без рассеяния излучения на контактах. За счет ослабления влияния усиленного спонтанного излучения и нелинейного тепловыделения при непрерывной накачке достигнута запасенная энергия 400 мДж и усиление по слабому сигналу 1,25. На основе квантрона создан высокоэффективный дисковый лазер мощностью 300 Вт и КПД 30%.

8. Мощные изоляторы Фарадея на магнитоактивной керамике

Разработаны различные виды изоляторов Фарадея из керамик тербий-галлиевого граната и тербий-алюминиевого граната. Устройства обеспечивают степень изоляции 30 дБ при киловаттном уровне мощности лазерного излучения.

IV. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

1. Основные направления научной деятельности

Фундаментом научной деятельности Института прикладной физики РАН является *радиофизика*, которая как область знания в широком смысле включает всю совокупность динамических и физико-математических проблем, связанных с возбуждением колебаний и волн в неравновесных средах и системах, их канализацией, излучением, распространением, взаимодействием, а также с индикацией, приемом и обработкой колебательных и волновых сигналов. При этом к радиофизике относятся колебательные и волновые явления как электромагнитной (независимо от частоты), так и не электромагнитной природы (акустические, плазменные, гравитационные и т. п. колебания и волны). Радиофизика охватывает не только "прямые" задачи (т. е. проблемы, относящиеся к излучению самих колебаний и волн), но и "обратные" – заключающиеся в создании и использовании методов и средств дистанционной диагностики различных сред (свойств, характеристик, явлений в природных и лабораторных условиях).

Направления исследований ИПФ РАН были, в основном, определены Постановлением Президиума АН СССР от 27.09.84 г. Развитие Института сопровождалось корректировкой его тематики и организационной структуры в соответствии с требованиями времени. В настоящее время за институтом утвердили следующие основные направления научной деятельности: физика конденсированных сред; оптика и лазерная физика; радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы; астрономия и исследования космического пространства; физические процессы в океане; физические и химические процессы в атмосфере.

2. Сведения об основных научных исследованиях (программы, гранты, хоздоговоры)

Программы Президиума РАН	
Программы фундаментальных исследований	Число тем
19. Фундаментальные проблемы нелинейной динамики в математических и физических науках	11
29. Проблемы импульсной сильноточной электроники	5
13. Экстремальные световые поля и их приложения	8
24. Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов	6
12. Фундаментальные проблемы физики высокотемпературной плазмы с магнитной термоизоляцией	6
5. Фундаментальные науки – медицине	1
4. Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной	3

энергетики	
23. Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология	2
20. Квантовые мезоскопические и неупорядоченные структуры	2
22. Фундаментальные проблемы исследования и освоения Солнечной системы	2
21. Нестационарные явления в объектах Вселенной	1
2П. Вещество при высоких плотностях энергии	1
Всего	48

Программы Отделения физических наук	
Программа	Число тем
10. Фундаментальные основы акустической диагностики искусственных и природных сред	8
6. Нелинейно-оптические методы и материалы для создания лазерных систем нового поколения	7
12. Современные проблемы радиофизики	11
11. Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов	6
13. Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека	2
15. Плазменные процессы в космосе и лаборатории	3
7. Физические и технологические исследования полупроводниковых лазеров, направленные на достижения предельных параметров	1
17. Активные процессы в галактических и внегалактических объектах	1
Всего	39

Другие программы, гранты и хоздоговора	кол-во тем
Гранты РФФИ	187
Гранты Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (Мегагранты)	5
Федеральные целевые научно-технические программа: «Исследования и разработки по приоритетным направления развития научно-технолог. комплекса России на 2014—2020 гг.» Федеральная целевая программа №1	4 1
Гранты Российского научного фонда (РНФ)	9
Гранты Президента РФ для государственной поддержки: ведущих научных школ молодых российских ученых – кандидатов наук	4 7
Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам	22

3. Сведения о количестве статей и монографий, опубликованных сотрудниками, количестве защищенных диссертаций, докладов на конференциях

Число статей в российских реферируемых журналах. Из них:	
опубликованных	133
направленных в печать	91
Число статей в зарубежных реферируемых журналах. Из них:	
опубликованных	211
направленных в печать	124
Число статей в российских сборниках и трудах конференций.	126
Число статей в зарубежных сборниках и трудах конференций.	213
Число монографий	10
Число препринтов	9
Число защищенных диссертаций кандидатских	10
докторских	4
Приглашенные доклады международные конференции	83
российские конференции	20
Инициативные доклады международные конференции	420
российские конференции	170

4. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

1.1. Работы по государственному заданию

Тема № 8.1 Создание и экспериментальные исследования вырожденного квантового газа (0035-2014-0001).

Отдел нелинейной электродинамики

Научный руководитель д.ф.-м.н. Турлапов А.В.

Срок исполнения 01.01.2014 – 31.12.2017

Исполнители: Т. В. Бармашова, К. А. Мартьянов, В. Б. Махалов, А. В. Турлапов.

Впервые в мире конденсация Бозе-Эйнштейна достигнута в 2-мерной системе молекул. Получение конденсата молекул происходило в несколько этапов. На первом этапе приготовлен квантово вырожденный ферми-газ атомов, из которого затем были получены молекулы. Для получения вырожденного атомного газа сначала в вакууме путём испарения твёрдого лития при 400 градусах Цельсия формировался атомный пучок, часть атомов которого тормозилась в зеemanовском замедлителе до 30 м/с и затем улавливалась в магнито-оптическую ловушку, где охлаждалась до 150 микрокельвинов. Затем в ходе выключения магнито-оптической ловушки атомы перегружались в оптическую дипольную ловушку, образованную стоячей электромагнитной волной с частотой 28.3 ТГц. Взаимодействия между атомами перестраивались на бозевскую сторону резонанса Фано-Фешбаха, где связанный молекулярный уровень лежит чуть ниже энергии свободного состояния. Это и большой интеграл перекрытия между волновыми функциями свободной и связанной пары частиц приводили к формированию молекул-димеров в ходе межчастичных взаимодействий. Охлаждение молекулярного газа происходило методом выпаривания, в ходе которого температура опустилась до значений порядка 10 нанокельвинов, что существенно ниже температуры бозе-конденсации в данной системе.

В рамках направлений: индустрия наносистем

В рамках основного направления, определённого пунктом 2.1 устава института: – физика конденсированных сред.

Тема № 9.2: Синтез и обработка новых неорганических материалов с использованием микроволнового излучения (0035-2014-0002).

Отдел физики плазменных технологий,

Научный руководитель темы: д.ф.-м.н. Вихарев А.Л.

Сроки начала и окончания темы: 2014 – 2016 гг.,

Исполнители: Вихарев Анатолий Леонтьевич, зав. лаб., д.ф.-м.н., Иванов Олег Андреевич, в.н.с., д.ф.-м.н., Горбачев Алексей Михайлович, с.н.с., к.ф.-м.н., Радищев Дмитрий Борисович, с.н.с., к.ф.-м.н., Лобаев Михаил Александрович, с.н.с., к.ф.-м.н., Мучников Анатолий Борисович, н.с., к.ф.-м.н., Исаев Владимир Александрович, н.с., к.ф.-м.н., Чернов Валерий Валерьевич, м.н.с., Богданов Сергей Александрович, отд.140, м.н.с. ,

Козлов Александр Вадимович, вед. Электроник Овечкин Николай Михайлович, вед. конструктор

«Разработка технологии выращивания электропроводящих нанокристаллических алмазных пленок на кремниевых подложках на основе микроволнового разряда в процессе плазмохимического синтеза»

На первом этапе проекта были установлены условия реализации стабильного разряда в широкоапертурных пересекающихся пучках микроволнового излучения. Были рассчитаны конфигурации (размеры апертуры, угол падения, точка пересечения осей) пучков, которые позволяют получить стабильный разряд. Была рассчитана и изготовлена зеркальная линия передачи микроволнового излучения, которая позволила сформировать широкоапертурные пучки. Реализована схема поддержания газового СВЧ разряда над поверхностью подложки в двух пересекающихся волновых пучках излучения гиротрона в широком диапазоне условий. Экспериментально определены условия стабильного существования СВЧ разряда полностью покрывающего подложку диаметром 75 мм. Полученные в проведенных исследованиях разряд в широкоапертурных пересекающихся волновых пучках может использоваться в различных технологических установках по плазменной обработке поверхности и синтезу различных покрытий. В частности результаты первого этапа были в дальнейшем использованы для исследования и оптимизации условий параметров СВЧ разряда при газофазном осаждении легированных нанокристаллических алмазных пленок.

На заключительном этапе проекта было решено несколько задач. Установлен оптимальный диапазон условий плазмохимического осаждения легированных нанокристаллических алмазных пленок из СВЧ разряда в смеси аргона, азота, водорода и метана. Получены экспериментальные образцы легированных азотом нанокристаллических алмазных пленок на кремниевых подложках при различных условиях. Проведена измерение характеристик (толщина, размер кристаллов, сопротивление) полученных экспериментальных образцов. Диагностика полученных пленок методами рамановской спектроскопии выявила ярко выраженные D- и G- полосы в окрестности 1350 см^{-1} и 1550 см^{-1} , соответственно. Диагностика полученных пленок методами сканирующей электронной микроскопии показала, что латеральные размеры их кристаллов лежат в диапазоне 50-350 нанометров. Измерение сопротивления экспериментальных образцов показало, что его значение лежит в диапазоне 1-10 кОм. Возможность создания легированных нанокристаллических алмазных пленок большой площади (порядка 100 см^2), позволяет повысить производительность и, следовательно, уменьшить стоимость такого уникального материала, который имеет широкий спектр применений в различных технологиях.

Решение представленных задач позволило оптимизировать параметры СВЧ разряда, обеспечивающие рост легированных нанокристаллических алмазных пленок на кремниевых подложках и, таким образом, дало возможность достигнуть целей проекта, поставленных в этой области

«Разработка модели микроволнового нагрева оксидных порошковых материалов, сопровождающегося фазовыми переходами»

Проведено обобщение результатов экспериментальных исследований влияния микроволнового нагрева на фазовые переходы в кристаллических материалах. Рассмотрено усредненное пондеромоторное воздействие микроволнового электромагнитного поля на границе раздела фаз, обладающих различными значениями комплексной диэлектрической проницаемости. Установлено, что в веществе, содержащем зародыши новой фазы, такое воздействие может приводить к изменению энергии, связанной с поверхностью раздела фаз, и, следовательно, влиять на критический размер зародыша. Знак эффекта зависит от соотношения между значениями комплексной диэлектрической проницаемости фаз.

12.14. Исследование волновых процессов в геофизической акустике (0035-2014-0003).

Научный руководитель к.ф.-м.н. Малеханов А.И.

Сроки выполнения: 2014 – 2017 гг.

Предложена и на основе экспериментальных (лабораторных и натуральных) данных подтверждена физическая модель гранулированных сред, позволившая выявить общую природу характерных для них явлений нелинейного гистерезиса и медленной релаксации. Модель основана на использовании немонотонной функции потенциала поверхностных сил в области контактов с адгезией и описывает наблюдаемый пороговый переход к нелинейному гистерезису и появлению медленной релаксации. Оценки характерного пространственного масштаба, связанного с процессом релаксации в консолидированных материалах, соответствуют дальности действия сил Ван-дер-Ваальса, при этом наблюдается тенденция к росту этого масштаба по мере увеличения структурной или химической неоднородности материала.

Предложено решение задачи о рассеянии плоской звуковой волны безграничной трехмерной решеткой с одинаковыми ячейками, в узлах которой расположены сферические частицы с монопольным типом колебаний. Показано, что в колебаниях частиц отсутствуют радиационные потери энергии, а в случае пузырьков газа в жидкости наблюдается увеличение резонансной частоты их колебаний и монотонное уменьшение фазовой скорости распространения волны, модулирующей амплитуды колебаний пузырьков, с увеличением их концентрации.

Экспериментально в натуральных условиях показаны возможности когерентных методов сейсмоакустического зондирования для предварительной диагностики площадок археологических изысканий (оконтуривания объекта и локализации мест скопления артефактов). Предложенные и апробированные для этих целей методы основаны на анализе дисперсионных свойств поверхностной волны Рэлея и согласованной пространственной фильтрации сигналов обратного рассеяния; для их практической реализации использовался когерентный широкополосный наземный вибратор оригинальной конструкции. Тестовые измерения выполнены на площадке раскопок захоронения раннего средневековья (5-7 вв. н.э.) в условиях относительно малого контраста геоакустических параметров археологических объектов на фоне окружающего грунта.

Исполнители: Лебедев А.В., Авербах В.С., Кобелев Ю.А., Коньков А.И., Манаков С.А., Бредихин В.В., Василенко Н.И.

На основе обобщения известных физических механизмов и моделей гистерезисной нелинейности поликристаллических твердых тел, предложено гистерезисное (упругого типа) уравнение состояния для таких тел с насыщением амплитудно-зависимых потерь. На его основе проведено теоретическое и численное исследование нелинейных эффектов, возникающих при распространении и возбуждении акустических волн в безграничной среде и стержневом резонаторе, определены нелинейные декремент затухания и скорость распространения волны основной частоты, а также закономерности для амплитуд и фазовых скоростей для второй и третьей гармоник. Из сравнения полученных теоретических и экспериментальных зависимостей нелинейных акустических эффектов в резонаторе из отожженной поликристаллической меди определены параметры гистерезисной нелинейности этого металла.

Предложен и развит подход к решению проблемы управления низкочастотными волновыми полями различной природы на основе параметрической модуляции граничных условий краевой задачи. На его основе предложена и аналитически исследована модель

параметрического акустического фильтра, предназначенного для эффективного гашения звуковых волн в потоке газа.

В целях проведения работ по мониторингу напряженно-деформированного состояния земных пород на горизонтах их естественного залегания проведена модернизация автономной системы скважинной регистрации сигналов сейсмоакустической эмиссии, разработанной для Воротиловской глубокой скважины (Нижегородская обл.).

Проведено численное моделирование функции когерентности многомодового акустического сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородном подводном звуковом канале, в широкой области параметров, характеризующих условия распространения сигнала. На этой основе выполнены расчеты функций отклика протяженных горизонтальных и вертикальных антенных решеток и получены оценки коэффициента усиления (антенного выигрыша) при различных амплитудно-фазовых распределениях поля на антенне.

Исполнители: Малеханов А.И., Арабаджи В.В., Диденкулов И.Н., Кияшко С.Б., Назаров В.Е., Смирнов А.В., Фокин А.Н.

В приближении геометрической акустики получены аналитические выражения для матриц, определяющих фокусировку полей, отраженных от гладких криволинейных импедансных границ в двумерной рефракционной среде. На их основе разработан новый лучевой метод расчета звуковых полей в неоднородном по трассе океаническом волноводе с гладким криволинейным дном и взволнованной поверхностью. Указанный метод позволил исключить процедуру численного дифференцирования при расчетах амплитуд полей, что регуляризует расчеты при одновременном сокращении объема вычислений.

Теоретически и численно выявлены закономерности, проявляющиеся при формировании пространственной интерференционной структуры акустического поля, возбуждаемого в приповерхностном канале вертикальной синфазной антенной. Установлено, что с увеличением апертуры антенны до ее определенного (оптимального) размера, в канале формируется лишь один каустический пучок. При дальнейшем увеличении апертуры антенны наблюдается поочередное формирование следующих за ним каустических пучков, количество которых зависит от размеров антенны.

В рамках модового представления акустического поля в плоскостром океаническом волноводе проведено теоретическое исследование горизонтальной корреляционной функции сигналов поверхностной реверберации для развитого волнения с изотропным спектром. Показано, что корреляционная функция моностатической реверберации имеет универсальный вид, а в случае бистатического режима излучения характерный масштаб корреляции реверберации существенно зависит от времени запаздывания.

Экспериментально с использованием широкополосного гидроакустического излучателя оригинальной конструкции исследованы возможности реконструкции структуры донных слоев, залегающих на небольших глубинах, на основе метода когерентного сейсмоакустического зондирования. Разработаны и апробированы в морских условиях (совместно с ИО РАН на базе Южного отделения ИО РАН, г. Геленджик) методики натурного эксперимента с использованием излучателя и донных приемных станций. Получены данные, демонстрирующие возможность реконструкции параметров донных структур на глубинах до первых сотен метров в мелководных водоемах, что представляет практический интерес для сейсморазведки в речных акваториях, а также при инженерном сопровождении работ по эксплуатации речных и морских месторождений.

Исполнители: Хилько А.И., Бурдуковская В.Г., Лазарев В.А., Петухов Ю.В., Раевский М.А., Смирнов И.П., Быстранов В.Б., Комиссаров А.Ф., Сахаров В.Н., Романова Т.В., Уваров В.В.

Тема № 10.3 Взаимодействие мощного лазерного излучения с плазмой (0035-2014-0004)

Сектор теории СВЧ разряда (№121) Отдела физики плазмы

Научный руководитель темы: д.ф.-м.н. Семенов В.Е.

Сроки начала и окончания темы: 2014 – 2016 гг.

Исполнители: В.Е. Семенов, Н.В. Введенский, В.Б. Гильденбург, Д.С. Дорожкина, В.А. Костин, И.А. Павличенко, Е.И. Ракова, К.И. Рыбаков, А.А. Силаев, Н.Л. Смирнова, И.Д. Ларюшин, А.А. Романов

Исследованы процессы возбуждения поляризационных токов, наводимых ионизирующими фемтосекундными лазерными импульсами в газовых средах, на основе полуклассических и квантовомеханических подходов с учётом эффектов генерации коллективных плазменных полей. Основное внимание уделялось расчёту спектров порождаемого этим токами излучения в среднем инфракрасном диапазоне частот при использовании бихроматических и трихроматических ионизирующих лазерных импульсов. Показано, что в процессе ионизации может происходить возбуждение в образующейся плазме как собственных, так и вынужденных колебаний с частотами, лежащими в среднем инфракрасном диапазоне частот. Были продемонстрированы возможности управления как центральной частотой генерируемого излучения, так и особенностями его спектрального профиля при перестройке частот ионизирующих бихроматических и трихроматических лазерных импульсов и был обнаружен эффект резонансного усиления генерируемого излучения при прохождении частоты генерации через собственную частоту возникающего плазменного объекта.

Разработана вычислительная программа для решения нестационарного уравнения Шрёдингера в неограниченной (открытой) пространственной области. Алгоритм программы основан на разбиении расчётной области на «внутреннюю» и «внешнюю» части, в последней из которых пренебрегается кулоновским взаимодействием электронов с другими заряженными частицами. Во внешней части вводится поглощающий слой, обеспечивающий поглощение попадающих в него волновых пакетов. Эволюция поглощённой части волновой функции рассчитывается аналитически и добавляется к решению на сетке. Высокая точность и скорость работы разработанной программы обеспечивается использованием специального разработанного ранее эффективного метода поглощения. С использованием разработанной программы исследовано формирование энергетических спектров фотоэлектронов в поле бихроматического фемтосекундного лазерного импульса, содержащего поле на основной частоте и на второй гармонике, и определена роль квантовых эффектов в процессах возбуждения нелинейных низкочастотных токов в среднем ИК-диапазоне длин волн при ионизации газов бихроматическими лазерными импульсами

На основе единого подхода, включающего численное интегрирование уравнений Максвелла, ионизационных уравнений для плотности плазмы и уравнений гидродинамики (учитывающих пондеромоторную силу лазерного импульса) для расчета плотности электронного тока в плазме, рассчитаны основные параметры пространственно-временной эволюции плазменно-полевых структур и низкочастотных терагерцовых токов, генерируемых при распространении в атмосферном воздухе фемтосекундных ионизирующих лазерных импульсов. Найдены зависимости спектра и пиковой мощности генерируемого излучения от длительности, интенсивности и фазовой структуры лазерного импульса. Показано, что в области частот, меньших обратной длительности лазерного

импульса, спектр генерируемого терагерцового излучения определяется азимутальной структурой силы, возбуждающей низкочастотные токи в плазме. В случае многоциклового лазерного импульса, когда возбуждающая сила может быть осесимметричной, положение максимума в спектре и его ширина определяются в основном частотой столкновений электронов с тяжёлыми частицами. Для малоциклового лазерного импульса, когда возбуждающая сила не является осесимметричной, это положение и ширина определяются частотой и декрементом потерь собственной волны, которая может распространяться вдоль плазменного цилиндра. Показано, что для достаточно длинных импульсов, когда время ионизации превышает обратную плазменную частоту и частоту столкновений, положение максимума в спектре терагерцового излучения определяется обратным временем ионизации, которое имеет величину порядка длительности импульса для не слишком высоких интенсивностей. Указаны новые способы осуществления частотной перестройки, управления поляризацией и диаграммой направленности терагерцового излучения, основанные на контроле азимутальной структуры генерируемого терагерцового излучения, который может быть осуществлён, в частности, при изменении давления воздуха, ионизируемого в присутствии внешнего электрического поля.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Информационно-телекоммуникационные системы.

Критическая технология РФ: Технологии информационных, управляющих, навигационных систем.

Научное направление: Оптика и лазерная физика; Физика плазмы.

Тема №10.4. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия лазерного излучения с конденсированными средами и квантовыми газами (0035-2014-0005).

Лаборатория нелинейной спектроскопии (№173) Отдела нелинейной электродинамики

Руководитель д.ф.-м.н. Ахмеджанов Р.А.

Сроки начала и окончания темы: 2014 – 2016 гг.

Исполнители: Ахмеджанов Р.А., Зеленский И.В., Гуцин Л.А., Собгайда Д.А.

В качестве базовых элементов квантового компьютера в настоящее время предлагается использовать кубиты – квантовые системы с двумя базисными состояниями. Для реализации квантовых вычислений необходимо обеспечить три процедуры: инициализацию начального состояния (загрузку данных), унитарные преобразования над кубитами (реализацию алгоритма вычислений) и считывание конечного состояния (считывание результатов вычислений).

В настоящее время ведутся активные поиски квантовых систем, способных выполнять роль кубитов. Одним из перспективных подходов к физической реализации кубитов является использование активных центров (атомов, ионов и пр.) с долгоживущими уровнями, с которых возможны переходы под действием электромагнитного излучения на некоторый общий возбужденный уровень. При этом два из долгоживущих уровней используются для реализации кубита, а переходы в возбужденное состояние - для совершения преобразований над кубитом. Перспективным является также использование ансамблей таких активных центров, в частности ансамблей редкоземельных ионов в кристаллах [2-4].

Для считывания кубита можно непосредственно использовать электромагнитное излучение, резонансное переходу между энергетическими уровнями кубита. Однако такие переходы часто оказываются запрещены. Кроме того, пространственное разрешение такого измерения обычно ограничено длиной волны перехода между энергетическими уровнями кубита. Это обстоятельство, в случае кубитов с близкими энергиями уровней, ограничивает возможность селективного считывания кубитов.

Более удобным для считывания кубита оказывается использование электромагнитного излучения, резонансного переходу с одного из энергетических уровней кубита на некоторый вспомогательный уровень [5-7]. Недостатком таких способов является то, что они позволяют провести считывание кубита только в одном измерительном базисе – базисе энергетических уровней кубита. Этого недостаточно для полного определения состояния кубита. Процедура полного определения состояния кубита известная как quantum-state tomography требует возможности считывания состояния кубита в нескольких различных измерительных базисах. Отметим, что для считывания состояния кубита в произвольном требуемом базисе можно использовать комбинацию из унитарного преобразования над кубитом, переводящего требуемый базис в базис энергетических состояний, и последующего считывания кубита в энергетическом базисе. Такая схема использовалась в частности для экспериментальной реализации quantum-state qubit tomography в работе [2]. Для преобразования кубита в [2] используется последовательность из двух π -импульсов когерентного бихроматического излучения с заданными фазами между составляющими бихроматического поля и между импульсами последовательности. Такая процедура требует точного контроля площади используемых π импульсов и разности фаз между ними.

Мы предлагаем непосредственно использовать когерентное бихроматическое излучение для считывания состояния кубита в произвольном требуемом базисе и проведения quantum-state qubit tomography. Рассмотрим когерентное бихроматическое излучение вида:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 e^{-i\omega_1 t} + \vec{E}_2 e^{-i\omega_2 t}, \quad (1)$$

компоненты которого резонансны переходам между уровнями кубита $|1\rangle$, $|2\rangle$, и некоторым вспомогательным уровнем $|e\rangle$. Уровни $|1\rangle$, $|2\rangle$ и $|e\rangle$ образуют так называемую Λ -систему уровней. В этом случае суммарное бихроматическое поле взаимодействует только с суперпозиционным состоянием уровней $|1\rangle$ и $|2\rangle$, так называемым светлым состоянием $|b\rangle$, а ортогональное светлomu – также суперпозиционное, темное состояние $|d\rangle$ не взаимодействует с бихроматическим полем. Регистрируя, возбуждение кубита когерентным бихроматическим полем (по поглощению бихроматическим излучения или сигналу флуоресценции со вспомогательного уровня) мы производим считывание кубита в базисе светлого и темного состояний. Светлое и темное состояние следующим образом зависят от компонент когерентного бихроматического излучения:

$$|d\rangle = \frac{\Omega_2}{\Omega} |1\rangle - \frac{\Omega_1}{\Omega} |2\rangle, \quad (3)$$

$$|b\rangle = \frac{\Omega_1^*}{\Omega} |1\rangle + \frac{\Omega_2^*}{\Omega} |2\rangle, \quad (4)$$

где $\Omega_1 = (\vec{E}_1, \vec{d}_1) / \hbar$, $\Omega_2 = (\vec{E}_2, \vec{d}_2) / \hbar$ - частоты Раби компонент бихроматического излучения, \vec{d}_1 , \vec{d}_2 - дипольные моменты переходов $|1\rangle \rightarrow |e\rangle$, и $|2\rangle \rightarrow |e\rangle$, соответственно, $\Omega = \sqrt{|\Omega_1|^2 + |\Omega_2|^2}$.

Подбирая интенсивности и фазы компонент бихроматического излучения, можно произвести считывание кубита в любом требуемом базисе. Отметим что в частном случае, когда интенсивность одной из компонент когерентного бихроматического излучения равна 0 измерение происходит в энергетическом базисе.

В случае кубитов на основе ансамблей активных центров, или при многократных измерениях над идентичными кубитами на основе одиночных активных центров результаты считывания позволяют определить населенности состояний измерительного базиса. Для полного определения состояния системы необходимо провести измерения населенностей состояний трех различных измерительных базисов.

Для увеличения точности можно использовать измерения в большем количестве базисов. Рассмотрим для примера измерение когерентности ρ_{12} . Пусть $\Omega_1 = \Omega_0$, $\Omega_2 = \Omega_0 e^{-i\varphi}$ представим когерентность в виде $\rho_{12} = |\rho_{12}| e^{i\psi}$. Тогда регистрируемый сигнал S , в качестве которого может выступать коэффициент поглощения бихроматического излучения или сигнал флюоресценция с верхнего уровня $|e\rangle$ в случае кубитов на основе ансамблей активных центров (или средние сигналы поглощения флюоресценции при многократных измерениях над идентичными кубитами в случае кубитов на основе одиночных активных центров) запишется как:

$$S(\varphi) = \frac{A}{2} + A|\rho_{12}| \cos(\psi + \varphi), \quad (5)$$

где A - некоторый коэффициент пропорциональности.

Проведение измерений при различных φ позволяет определить коэффициент пропорциональности A , модуль $|\rho_{12}|$ и фазу ψ когерентности ρ_{12} .

Литература

1. M. Nielsen and I. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge University Press, 2001.
2. L. Rippe, B. Julsgaard, A. Walther, Y. Ying, and S. Kröll, *Phys. Rev. A*, 2008, **77**, 022307.
3. A. Walther, B. Julsgaard, L. Rippe, Y. Ying, S. Kröll, R. Fisher, and S. Glaser, *Phys. Scr.*, 2009, **T137**, 1-10.
4. S.E. Beavan, E. Fraval, M.J. Sellars, and J.J. Longdell, *Phys. Rev. A*, 2009, **80**, 032308.
5. patent № US 6800837, 05.10.2004.
6. patent № US 7667853, 23.02.2010.
7. patent № US 7791052, 07.09.2010.

*Приоритетное направление – информационно-телекоммуникационные системы
Критическая технология – нано-, био-, информационные, когнитивные технологии
Институтское направление – оптика и лазерная физика*

10.5. Исследование взаимодействия сверхсильного лазерного поля с веществом. (0035-2014-0006)

Руководитель А.М. Сергеев

Сроки выполнения: 2014-2017

Экспериментально и теоретически проведено исследование генерации пучков электронов при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с различными структурированными средами (граница фольги, металлическая проволока, пористая мишень). Определены параметры (угловая расходимость, функция распределения по энергиям) коллимированных пучков. Исследовано пространственное распределение твердотельной плазмы, создаваемой предимпульсом, в которой происходит ускорение электронов за счет развития неустойчивости лазерного импульса, приходящей к возбуждению плазменной волны, ускоряющей электроны.

(Кулагин Д.И., Мальков Ю.А., Мурзанов А.А., Яшунин Д.А. Бодров С.Б., Киселев А.М., Корытин А.И., Степанов А.Н., Сергеев Ю.А.)

С помощью оригинального программного комплекса исследовано развитие квантовоэлектродинамического (КЭД) каскада в поле двух сталкивающихся длинных (ширина огибающей много больше длины волны) лазерных импульсов, образующих в момент столкновения стоячую волну. Основной целью моделирования было выявление того, как на протекание каскада влияет поляризация импульсов, с целью чего были рассмотрены случаи линейной и циркулярной поляризации. Продемонстрировано, что за одно и то же время и при одной и той же энергии импульсов в циркулярно поляризованной волне может быть получено на порядок большее число частиц, причём получаемый выигрыш растет с интенсивностью лазерного импульса. Другое обнаруженное различие между динамикой КЭД каскада в поле стоячей электромагнитной волны циркулярной и линейной поляризации заключается в следующем. Каскад в циркулярно поляризованной стоячей волне достаточно быстро выходит на стационарный режим, при этом инкремент роста числа частиц не зависит от времени; кроме того, со временем не меняются форма спектров частиц и пространственное распределение плотности плазмы. Иная ситуация реализуется в случае линейно поляризованной волны: инкремент роста числа частиц оказывается периодической функцией времени; спектры также периодически меняются со временем: плазма то нагревается, то охлаждается. Также наблюдается периодическое изменение пространственного распределения плотности плазмы: в некоторые моменты времени существует два ярко выраженных максимума плотности плазмы на каждом периоде лазерного поля; затем каждый из них расщепляется, и на периоде поля образуется четыре максимума; через некоторое время они снова сходятся, и процесс повторяется. Подобное поведение объясняется тем, что в линейно поляризованной волне периодически преобладает то электрическое, то магнитное поле, в которых динамика каскада имеет существенно различный характер.

(Костюков И.Ю., Неруш Е.Н.)

С помощью оригинального программного комплекса моделировались взаимодействие сверхмощного лазерного импульса с тонкой плёнкой и генерация в облучаемой пленке гамма-квантов. Рассматривалась ситуация, когда под действием лазерного поля плёнка ионизируется, а её электроны быстро ускоряются и излучают фотоны высоких энергий. В ходе численного моделирования были найдены параметры плёнки и лазерного импульса, соответствующие наиболее эффективной генерации гамма-квантов. Показано, что ускорение ионов осуществляется наиболее эффективно в той же области параметров, что и эффективное излучение гамма-квантов. Таким образом, продемонстрировано, что ускорение ионов и излучение гамма-квантов – два основных канала поглощения лазерной энергии при высоких интенсивностях. В результате численного моделирования лазерно-плазменной генерации гамма-квантов найдены параметры генерируемого гамма-излучения. Показано, что с использованием уже существующих лазерных систем возможно создание источников гамма-квантов, превосходящих существующие источники по производительности, яркости и мощности.

(Башинов А.В., Гоносков А.А.)

Путём численного моделирования исследована зависимость параметров пучков ускоряемых петаваттным лазерным излучением протонов в двухкомпонентных мишенях от параметров слоя ускоряемых ионов – положения и толщины. Показано, что полная энергия, переданная в протоны, неограниченно растёт с ростом толщины ускоряемого слоя (увеличением количества ускоряемых протонов), а также достигает максимума при изначальном положении слоя на задней стороне мишени. Максимальная энергия ионов в ускоряемом пучке слабо зависит от структуры мишени, но несколько выше при изначальном расположении ускоряемого слоя на облучаемой поверхности мишени.

(Коржиманов А.В., Ефименко Е.С.)

Дан детальный анализ процесса самокомпрессии релятивистки сильного лазерного импульса в прозрачной плазме в условиях возбуждения кильватерной волны. Показано, что для лазеров петаваттной мощности в оптимальных условиях релятивистская

самофокусировка играет чрезвычайно важную роль, приводя на стадии насыщения к режиму квазиодномерной компрессии. Найденная аналитическая зависимость, согласно которой длина компрессии обратно пропорциональна начальной амплитуде лазерного импульса и уменьшается с увеличением начальной плотности плазмы по степенному закону с показателем -1.5 , хорошо согласуется с численными расчетами.

(Скобелев С.А.)

Проведены расчеты, позволившие выяснить предельные возможности генерации ультравысоких гармоник лазерного излучения среднего ИК диапазона в газах с учетом ограничивающих факторов, связанных с влиянием магнитного поля лазерного импульса и опустошением связанных уровней атомов рабочей среды; установлена относительная роль этих факторов для различных типов атомов, длин волн и интенсивностей лазерных импульсов. Показана возможность генерации атто- и субаттосекундных всплесков излучения с энергиями фотонов более 10 кэВ при воздействии на атомы гелия фемтосекундными импульсами с центральной длиной волны 10.6 мкм и пиковой интенсивностью порядка $5 \times 10^{14}\text{ Вт/см}^2$ и при воздействии на ионы гелия импульсами излучения с длиной волны 3.9 мкм и пиковой интенсивностью порядка $6 \times 10^{15}\text{ Вт/см}^2$.

(Рябикин М.Ю., Емелин М.Ю.)

Методами цепочки групп симметрии построена полная классификация энергетических уровней и строгая алгебраическая модель описания энергетического спектра димера аммиака $(\text{NH}_3)_2$ с учетом торсионного, обменного и инверсионного нежестких движений. Построенная модель является строгой в том смысле, что ее корректность ограничивается лишь правильностью выбора симметрии внутренней динамики димера.

(Буренин А.В.)

12.15. Пространственно-временная динамика нелинейных сетей активных элементов. (0035-2014-0007)

Руководитель В.И. Некоркин

Сроки выполнения: 2014-2017

Для модульных нейронных сетей, т.е. пространственно обособленных взаимодействующих подсетей, которые характеризуются высокой плотностью связей внутри модулей и редкими связями между ними, установлено существование синхронных режимов усредненной активности – синфазного и противофазного. Каждый из узлов сети демонстрирует стохастическую спайковую активность, а топология внутримодульных связей обладает свойством так называемого «малого мира». В отсутствие межмодульных связей каждый модуль демонстрирует нерегулярную активность в виде спайков, возникающих в случайные моменты времени. Показана возможность управления синхронными режимами всей сети за счет изменения межмодульного запаздывания. С помощью такого управления установлено: (а) чередование синфазного и противофазного режимов межмодульной синхронизации; (б) существование режима бистабильности; (в) изменение частоты колебаний усредненной модульной активности.

(В.И. Некоркин, Д.Г. Захаров, Д.В. Касаткин, А.С. Дмитричев, Д.С. Щапин, В.В. Клиньшов, С.Ю. Кириллов, О.В. Масленников, Кривенкова Л.П., Цыганов А.А., Сутягин А.А.).

На основе численного моделирования выяснены качественные особенности развития конвективных структур в охлаждаемом сверху слое воды, покрытом пленкой поверхностно-активного вещества (ПАВ), при изменении его толщины и скорости внутреннего сдвигового течения. Показано, что при толщине слоя 1 см , соответствующей минимальному масштабу приповерхностной конвекции в открытых водоемах, в нем

возникают упорядоченные конвективные структуры. При не слишком большой упругости пленки ПАВ формируются паттерны поверхностной температуры с ячейками разного масштаба, при этом наличие мелкомасштабных ячеек, заполняющих более крупные ячейки (с масштабом порядка толщины слоя), обусловлено развитием термокапиллярной конвекции в холодном пограничном слое. При увеличении скорости внутреннего течения крупные ячейки вытягиваются вдоль течения и трансформируются в продольные валы. С ростом упругости пленки происходит укрупнение мелких ячеек, а при достаточно большой упругости термокапиллярный узор полностью подавляется и переход "ячейки-валы" выглядит так же, как при чисто гравитационной конвекции. Показано, что средняя кинетическая энергия эквивалентной гравитационной конвекции близка к энергии основной конвекции с эффективным числом Релея, которое приблизительно в 2 раза меньше основного. Трансформации паттернов температуры при увеличении глубины слоя изучались в присутствии пленки ПАВ с большой упругостью, подавляющей термокапиллярный эффект. При этом обнаружено, что уже при глубинах 2-3 см в результате образования термиков (опускающихся столбов холодной жидкости) на поверхности возникают завихрения, искажающие упорядоченную картину тепловых ячеек, характерную для тонкого слоя. При увеличении скорости дрейфового течения сначала наблюдается вытяжение искаженных ячеек с образованием структур в форме "рыбьих голов", после чего возникают продольные валы, содержащие цепочки завихрений. Наличие термиков приводит к существенному (в 7-8 раз для слоя толщиной 3 см) росту средней кинетической энергии конвекции. Установлено, что с ростом глубины слоя картина паттернов поверхностной температуры приобретает черты, характерные для турбулентной конвекции. Полученные результаты согласуются с известными экспериментальными данными.

(В.П. Реутов, Г.В. Рыбушкина, С.В. Шагалов, В.В. Чернов, С.В. Кияшко, В.О. Афенченко, А.В. Назаровский, П.Р. Громов).

Разработана и исследована оптоэлектронная модель синаптически связанных нейронных генераторов, взаимодействующих через оптоволоконный канал связи. Модель имитирует синаптическую передачу импульсных сигналов между нейронами мозга. Воздействие на принимающий генератор осуществляется с использованием фотодиода, управляемого сигналом из оптоволоконного канала. Установлено, что оптоволоконный канал связи может обеспечить вынужденную синхронизацию. Экспериментально получены режимы синхронизации с различным соотношением частот. (В.Б. Казанцев, С.Ю. Гордлеева).

12.16. Акустические и оптические методы исследования структуры и динамики физиологических процессов в биологических тканях. (0035-2014-0008)

Руководитель: И.В. Турчин

Сроки выполнения: 2014-2017

С использованием разработанной нами ранее системы флуоресцентной визуализации мелких лабораторных животных показаны преимущества просветной сканирующей конфигурации (метод проекций) по сравнению с традиционной используемой конфигурацией "на отражение". При сотрудничестве с НижГМА и ИБХ РАН получены данные *in vivo* экспериментов на модельных животных с глубоко расположенными ортотопическими опухолями. Сравнение результатов экспериментов, полученных с использованием коммерческой установки Ivis Spectrum (США) и установки, разработанной в ИПФ РАН, показало высокую эффективность проекционного метода исследования. Возможность использования внешнего лазерного источника позволит

использовать данную систему для возбуждения маркеров с антистоксовской флуоресценцией [1].

(И.В. Турчин, М.С. Клешнин, М.Б. Прудников, В.И. Плеханов, В.А. Воробьев, А.Г. Орлова, П.В. Субочев, Пожидаев С.Н., Ермилина А.А.).

Разработана новая численная модель формирования изображения в ОКТ-системах, центральная длина волны которых находится в среднем ИК-диапазоне. Модель учитывает дисперсию оптических свойств объекта. Апробация модели проведена на примере слоистой среды с известными оптическими характеристиками [2].

Показаны возможности ОКТ в диагностике воспалительных заболеваний органов ЛОР. Показано, что ОКТ может применяться для дифференциальной диагностики ринитов, а также мониторинга состояния биотканей в процессе криотерапии [3].

(М.Ю. Кириллин, Шахова Н.М.).

Разработана новая методика исследования вязко-упругих свойств биологической ткани методом ультразвуковой эластографии с использованием радиационной силы акустической волны, позволяющая существенно упростить процедуру проведения измерений, за счет использования двухчастотного, двухфокусного пьезопреобразователя. Разработана установка для измерения радиационной силы, создаваемой ультразвуковым преобразователем, и ее изменения относительно его оси излучения.

Средствами ультразвукового доплеровского эластометра проведена серия экспериментов по дистанционному измерению модуля сдвиговой упругости тканей, в частности, тканей печени человека. Показана возможность достижения точности измерений, достаточной для практического применения

В экспериментах на бицепсе и предплечье человека показана возможность определения набора линейных и нелинейных модулей упругости тканей методом квазистатического вдавливания в них цилиндрического индентора с плоским основанием. Найдены модули упругости тканей в расслабленном состоянии, в напряженном состоянии и в состоянии модельного отека. Обнаружена более высокая чувствительность нелинейных модулей к состоянию тканей и показана возможность различения состояний ткани по набору её модулей упругости

Разработана конструкция и основные узлы акустотермографа, сочетающего активный сканирующий канал, предназначенный для визуализации внутренних структур организма в режиме эхолокации, и акустотермографический канал предназначенный для измерения внутренней температуры в выбранном участке ткани на основе приема собственного акустического излучения.. Проведены измерения внутренней температуры мозга у пациентов с черепно-мозговой травмой [4].

(Е.М.Тиманин, А.Д.Мансфельд, Р.В.Беляев, В.Д.Овчинников, В.В.Казаков, Б.Н.Клочков, В.А. Антонец,, А.Г.Санин, А.М.Рейман, Г.П.Волков, Е.В.Кротов, Овчинников В.Д.).

Проведены испытания технологии высыхающей капли (ТВК) как инструмента для выявления носительства особо опасных инфекций крупного рогатого скота (КРС) на основе анализа биологических жидкостей – цельной крови, сыворотки крови и молока. Технология основана на регистрации динамики механических характеристик образующегося нижнего адсорбционного слоя высыхающей капли методом акустической импедансометрии с последующей параметризацией и статистической обработкой результатов. Объем исследования – 183 пробы. Показано, что все использованные биожидкости информативны в отношении выявления инфицированных животных (отличия от контроля). Найдены признаки, позволяющие отличать вирусоносителей лейкоза от бактерионосителей туберкулеза [5].

(В.Г. Яхно, Т.А.Яхно, Соколов М.Е., Соколов А.В., Шемагина О.В., Ковальчук А.В., Тельных А.А., Нуйдель И.В.).

Публикации:

1. Mikhail Kleshnin, Marina Shirmanova, Ilya Fiks, Anna Orlova, Vladimir Plekhanov, Elena Zagainova, Sergey Lukyanov and Ilya Turchin, "Trans-illumination fluorescence imaging of deep-seated tumors in small animals", *Photonics & Lasers in Medicine*, 2014

2. R. Su, M. Kirillin, E.W. Chang, E. Sergeeva, S.H. Yun, and L. Mattsson "Perspectives of mid-infrared OCT for inspection and micrometrology of industrial ceramics", *Optics Express*, 22(13), 15804-15819 (2014).

3. A. Meller, M. Shakhova, Y. Rilkin, A. Novozhilov, M. Kirillin and A. Shakhov "Optical coherence tomography in diagnosing inflammatory diseases of ENT" *Photonics and Lasers in Medicine*, 3(4), 323–330 (2014)

4. Аносов А.А., Балашов И.С., Беляев Р.В., Вилков В.А., Гарсков Р.В., Казанский А.С., Мансфельд А.Д., Щербаков М.И. Акустическая термометрия головного мозга пациентов с черепно-мозговой травмой/ *Биофизика* Т.59, №3, С.545-551

5. Yakhno, T., Sanin, A., Ilyazov, R., Vildanova, G., Khamzin, R., Astascheva, N., Markovsky, M., Bashirov, V., Yakhno, V. (2014). Drying Drop Technology as a Possible Tool for Detection Leukemia and Tuberculosis in Cattle. *J. Biomedical Science and Engineering* (in press).

12.17. Высокоточные исследования молекулярных спектров высокого и сверхвысокого разрешения в интересах физики атмосферы и астрофизики. (0035-2014-0009)

Руководитель: М.Ю. Третьяков

Сроки выполнения: 2014-2017

1. Определены точные границы неадиабатической поправки для молекулярного иона H_3^+ . Для этого были получены значения электродинамической поправки с точностью лучше 0.01 см^{-1} . Построена поверхность потенциальной энергии с учетом адиабатической, релятивистской и вновь рассчитанной электродинамической поправки. На её основе рассчитаны колебательно вращательные уровни энергии молекулярного иона H_3^+ для колебательных уровней до 17000 см^{-1} .

Рассчитаны адиабатическая, релятивистская и электродинамическая поправки для изоэлектронного молекуле воды иона H_2F^+ . Они были присоединены к поверхности потенциальной энергии, полученной в приближении Борна-Оппенгеймера. Рассчитанные уровни энергии имеют на порядок лучшую точность по сравнению с предыдущими квантово химическими расчетами других авторов. Проведены высокоточные расчёты из основных принципов (с использованием квантово-химической поверхности потенциальной энергии в аппроксимации на полный базисный набор, а также с учетом релятивистской и адиабатической поправок) колебательных уровней энергии молекул NH_2 (с точностью 0.35 см^{-1} для энергий до 7000 см^{-1}) и H_2O^+ (с точностью 0.79 см^{-1} для энергий до 5000 см^{-1}). (Зобов Н.Ф., Овсянников Р.И., Кюберис А.А., Майзус И.И., Полянский О.Л.).

2. Исследованы физические механизмы, обуславливающие отклонение формы линии от традиционного контура Фойгта. В качестве объекта исследования использовались линии вращательного спектра молекулы CO , записанные в диапазоне частот от 115 до 806 ГГц ($J=0-6$) с помощью спектрометра РАД при комнатной температуре и различных давлениях с высоким отношением сигнала к шуму. Полученные спектры анализировались с использованием ряда моделей профиля линии, учитывающих основные механизмы столкновительного взаимодействия: эффект Дике и эффект ветра. Получены значения коэффициентов столкновительного уширения и параметров обужения линий, оценены пределы возможных сдвигов линий давлением.

На основе экспериментальных данных о континуальном поглощении в чистом водяном паре, полученных с помощью резонаторного спектрометра в диапазоне частот 190-260 ГГц получены количественные данные об относительных вкладах различных парных взаимодействий молекул во второй вириальный коэффициент уравнения состояния водяного пара.

Сделана оценка доли континуума мм диапазона, связанного с дополнительным дипольным моментом, возникающим в результате столкновений молекул воды, на основе известной информации о спектре водяного пара и результатов *ab initio* расчета дипольного момента молекулы воды при больших плотностях. Показано, что поглощение, связанное с дополнительным дипольным моментом в результате столкновений молекул воды в мм диапазоне пренебрежимо мало по сравнению с наблюдаемым континуумом.

(Третьяков М.Ю., Крупнов А.Ф. Макаров Д.С., Одинцова Т.А., Кошелев М.А, Вилков И.Н., Федоренко Е.Ф., Федосеев Г.В.).

3. Проведены исследования точности измерения частот спектральных линий молекул в мм и субмм диапазонах с помощью субдоплеровского спектрометра на основе провала Лэмба, достигнута абсолютная точность измерений ± 400 Гц.

Проведены измерения вращательных спектров сверхтонкой структуры изотопологов молекулы цианоацетилена HC_3N в диапазоне 45-510 ГГц методом провала Лэмба, а также измерения спектров сверхтонкой структуры молекулы метанола CH_3OH и CH_3OD .

Измерения выполнены для задач радиоастрономии и астрофизики, поскольку изотопологи HC_3N являются чувствительным зондом плотных ядер в областях звездообразования. Молекула CH_3OH представляет большой интерес для поиска вариаций фундаментальных констант, а обнаруженный ранее спектральный дублет в тонкой структуре E-метанола важен для понимания внутренней молекулярной динамики нежестких молекул.

Выполнены исследования формы контура спектральных линий при низких давлениях (однородное уширение сравнимо или меньше доплеровского) и влияния на форму линии модуляционных искажений при частотной (фазовой) модуляции частоты излучения. Построена теоретическая модель формы линии провала Лэмба при модуляционном способе регистрации линии. Обнаружено нелинейное изменение фазы сигнала от линии при модуляционном приеме, связанное с дисперсией групповой скорости.

(Белов С.П., Голубятников Г.Ю.).

12.18. Разработка физических основ акустических систем нового поколения; подраздел: Построение физико-математической модели и расчетных схем рассеяния широкополосных звуковых сигналов на сложных конструкциях с учетом эффектов пространственного и временного синхронизма. (0035-2014-0010)

Научный руководитель: Коротин П.И.

1) Разработка методов расчета рассеяния звуковых сигналов на телах сложной формы и геометрии с учетом резонансных свойств рассеивателя.

Конечно-элементный метод моделирования акустических задач доработан и адаптирован для расчета рассеяния звуковых сигналов на упругих телах с учетом их резонансных свойств. Метод расчета реализован в программном пакете «АСТРА-ОкРас» и включает алгоритмы обеспечивающее: моделирование распространения акустических волн в ближней зоне рассеивателя и упругих волн в структуре рассеивателя; задание без отрагательной границы внешней среды; задание падающих волн и пересчет рассеянного поля в дальнюю зону и/или на контрольную дистанцию. Разработанный метод позволяет рассчитывать уровни бистатической силы цели (СЦ) при отражении узкополосных

сигналов и уровни эффективной СЦ при отражении широкополосных сигналов с учетом декорреляции последних в зависимости от волновых размеров или резонансных свойств объекта. Продемонстрирована возможность описания неоднородных упругих оболочек с длиной порядка 20 длин волн в среде с помощью конечно-элементных моделей, которые позволяют выполнить расчет бистатической СЦ с точностью не хуже 3 дБ. Точность оценивалась по максимальным значениям диаграммы направленности и по усредненным уровням боковых лепестков. Достижение указанной точности подтверждено сравнением расчетов с результатами экспериментов, проведенных описанным далее, ближнепольным методом измерения.

Участники работы: Суворов А.С., Родионов А.А., Алипова О.И., Артельный В.В., Наседкин А.В., Артельный П.В. Соков Е.М., Фикс И.Ш., Орлов Д.А., Иваненков А.С., Турчин В.И., Циберев А.В., Сорвенков С.А., Одзерихо Д.А.

2) Разработка методики измерения характеристик рассеяния при наличии высокого уровня реверберационной помехи.

Разработана методика измерения бистатической СЦ рассеяния вытянутых тел в горизонтальной плоскости, основанная на регистрации падающего и рассеянного акустического поля горизонтальной линейной антенной, расположенной в ближнем поле от рассеивателя. При наличии высокого уровня реверберационных помех и малости расстояния между рассеивателем и приемной системой предложено использовать непрерывный режим работы излучателя подсветки, а выделения рассеянного поля на фоне мощной подсветки производить за счет движения рассеивателя и доплеровской фильтрации принимаемого сигнала. С использованием указанной методики измерения и линейных 64 элементных гидроакустических антенн, разработанных и изготовленных ИПФ РАН, в диапазоне частот 700Гц – 3кГц были выполнены измерения бистатической СЦ рассеяния для ряда масштабных моделей кораблей. Измерения проводились на полигоне ЦНИИ «Морфизприбор» (Ладожское озеро) путем буксировки на скорости ~ 0.3м/сек моделей кораблей параллельно приемной антенны на расстоянии от нее ~ 3 -5м. Модели подсвечивались акустическим источником, расположенным от них в дальней зоне. Режим излучения – полигармонический с изменением сетки частот по окончанию каждого измерительного галса. За счет применения при обработке спектрального анализа и выделения сигнала на доплеровских частотах, соотношение сигнал/шум при измерениях угловой и частотной зависимости СЦ составил более 10дБ.

Список участников работы:

Салин Б.М., Бармак А.С., Салин М.Б., Томаров В.П., Бармак А.С., Циберев А.В., Райкина Е.Л., Стромкова В.К., Балалаев А.Я., Чащин А.С., Харитонов А.В., Кондрашов В.А., Бобков П.П., Соков А.М., Емельянов М.Б, Оленин А.А., Костылев К.А., Наседкин А.В., Кибардин Г.А., Швец А.И., Кияшко Б.В., Тютин В.А, Потапов О.А., Пикалев В.В.

12.19. Распространение акустических волн в морской среде и земной коре. (0035-2014-0011)

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Б.Н.Боголюбов

Проведены работы по созданию новых пьезокерамических низкочастотных гидроакустических излучателей продольно-поперечного типа, работающих в частотных диапазонах 100 – 300 Гц и 500 – 800 Гц. Актуальность данных разработок связана с тем, что в настоящее время акустические буи, работающие в указанных диапазонах частот, востребованы в научных и прикладных работах, ведущихся в настоящее время в России. В то же время, излучатели, необходимые для создания таких буев, практически отсутствуют. В 2014 год были выполнены следующие работы:

- 1) численное моделирование излучателя продольно-поперечного типа на диапазон частот 100 – 300 Гц;
- 2) численное моделирование излучателя продольно-поперечного типа на диапазон частот 500 – 800 Гц;
- 3) разработка эскизной конструкторской документации на оба типа излучателей;
- 4) изготовление макета продольно-поперечного излучателя на диапазон частот 500 – 800 Гц;
- 5) натурные испытания продольно-поперечного излучателя на диапазон частот 500 – 800 Гц.

В работах по созданию излучателей принимали следующие сотрудники Отдела акустики океана и лаборатории 730:

- *Боголюбов Б.Н.* – численное моделирование, натурные испытания;
- *Смирнов С.А.* – численное моделирование;
- *Фарфель В.А.* – натурные испытания;
- *Мухин Е.Н.* – изготовление макета, натурные испытания
- *Новиков В.Ф.* – изготовление макета;
- *Сорокин А.М.* – изготовление макета;
- *Кирсанов А.В.* – натурные испытания;
- *Перфилов В.А.* – разработка ЭКД, натурные испытания;
- *Болотников А.В.* – разработка ЭКД;
- *Смирнов С.Ю.* – разработка испытательного стенда, натурные испытания;
- *Фаизов О.Р.* – изготовление макета

Проведены исследования, направленные на разработку согласованных со средой робастных методов оценки координат источника звука в гидроакустическом волноводе. Предложенные методы апробированы на данных акустических измерений, выполненных в 2013 и 2014 гг. на шельфе Черного моря и на Ладожском полигоне с использованием протяженных приемных и излучающих антенных решеток. Результаты апробации подтвердили эффективность рассмотренных методов. В процессе обработки данных проводилось сопоставление измеренных гидроакустических полей с результатами расчета данных полей методами нормальных мод и широкоугольного параболического уравнения. Сопоставление теории и эксперимента позволило оценить точность прогноза различных характеристик принимаемых сигналов. Эти результаты получены *А.Л. Вировлянским и А.Г. Сазонтовым.*

Выполнен теоретический анализ поверхностных волн Лява, бегущих по структуре слой-полупространство, имеющей вертикальную границу раздела сред в области полупространства, покрытого верхним слоем. Рассматривается структура с резким скачком плотности при переходе вертикальной границы раздела в указанной подстилающей области при постоянстве упругих характеристик среды по обе ее стороны. Сформулирован приближенный подход для расчета амплитуды волн, прошедших и отраженных от вертикальной границы. Полученные решения могут использоваться при разработке систем инженерной сейсморазведки. По результатам данного исследования подготовлена статья, которая будет направлена в журнал "Известия вузов. Радиофизика." Этот результат получен *Ю.М. Заславским.*

Предложен подход для дистанционного зондирования геоакустических параметров слоистого океанского дна. В его основе лежит метод согласования полей с использованием целевой функции, основанной на норме разности экспериментальной и модельной функций вертикального углового спектра акустического поля. Для локализации глобального минимума целевой функции использована комбинация метода быстрого отжига и прямых методов поиска. Для уменьшения влияния эффектов овражности целевой функции используется регуляризация на основе взаимной корреляции экспериментального и модельного вертикальных угловых спектров

акустического поля. Выполнен численный эксперимент по восстановлению параметров модельного волновода, таких как толщина водного слоя и слоя осадков, скоростей и коэффициентов затухания продольных волн и плотностей осадочного слоя и полупространства при воздействии шумовой помехи различного уровня.

По материалам данного исследования подготовлена статья, которая будет направлена в Акустический журнал. Исполнители: *Б.В. Кержаков и В.В. Кулинич.*

13.20 Исследование новых схем релятивистских генераторов и усилителей мм и суб-мм диапазонов (0035-2014-0012) .

Научный руководитель д.ф.-м.н. А.В. Савилов

Исполнители: Э.Б.Абубакиров, В.Л.Братман, Е.В.Иляков, Ю.К.Калынов, И.С.Кулагин, П.Б.Махалов, Н.Ю.Песков, А.Э.Федотов (основные), А.Б.Волков, Ю.Д.Гром, Ю.М.Гузнов, А.Н.Денисенко, И.Н.Дойникова, С.А.Запеввалов, А.Б.Кальпин, А.П.Конюшков, Т.О.Крапивницкая, А.Н.Леонтьев, К.Е.Основин, И.В.Ошарин, Р.М.Розенталь, Е.И.Солуянов, А.С.Шевченко, В.В.Ястребов

В рамках проекта в 2014 году проведены теоретические и экспериментальные исследования по реализации новых схем генераторов и усилителей мм и суб-мм излучения, включая:

1. *Импульсные гиротроны и оротроны с частотами до 1 ТГц и рекордной для данного диапазона мощностью (для систем спектроскопии высокого разрешения).*

При реализации гиротронов в терагерцовом частотном диапазоне (особенно при работе на высоких циклотронных гармониках) важной является проблема снижения доли излучаемой электронами СВЧ мощности, которая теряется вследствие омического нагрева стенок рабочей микроволновой системы. Одним из путей решения проблемы омических потерь является использование секционированных резонаторов. Соотношение между дифракционными и омическими потерями в резонаторе улучшается за счет использования микроволновых систем, в которых общая длина секций, где рабочая волна близка к отсечке и, соответственно, имеет место высокий уровень потерь в стенках, мала по сравнению с полной длиной пространства взаимодействия. В частности, в ИПФ РАН был предложен гиротрон на высокой циклотронной гармонике с трехсекционным резонатором, в котором волна является квазикритической только в начальной и конечной секциях, где и имеет место наиболее интенсивное электронно-волновое взаимодействие. В средней части такой системы волна далека от отсечки и практически не взаимодействует с электронным пучком. Генерация в таком резонаторе происходит в клистронном режиме, когда начальная и конечная секция используются, соответственно, для модуляции электронного пучка и отбора его энергии, а средняя секция играет роль пространства дрейфа и обеспечивает положительную обратную связь для рабочей волны. Эффективность взаимодействия в подобном режиме не уступает эффективности взаимодействия в традиционном (цилиндрическом) резонаторе такой же длины, но при этом при практически той же омической добротности дифракционная добротность системы оказывается существенно ниже и определяется суммарной длиной лишь первой и последней секций резонатора, что значительно повышает КПД прибора.

В 2014 году было начато экспериментальное исследование гиротрона с секционированным резонатором. Экспериментально показана возможность селективной генерации на третьей циклотронной гармонике в гиротроне с резонатором специального профиля. Этот резонатор представлял собой осесимметричную полость, состоящую из трех секций различного радиуса. При этом радиусы двух крайних секций были одинаковы, а средняя секция представляла собой расширение, включающее однородный участок, а также участки с плавным нарастанием и уменьшением радиуса. В гиротроне с приосевым электронным пучком (конфигурация гиротрона с большой орбитой) с энергией

частиц 80 кэВ, током 0.7 А и средним питч-фактором электронов 1.4 была получена генерация на третьей циклотронной гармонике на частоте 0.74 ТГц, при этом уровень тепловых потерь в резонаторе был значительно меньше, чем в терагерцовом гиротроне с традиционным резонатором. С учетом полученных данных, режим генерации был подвергнут повторному теоретическому анализу, в результате чего схема резонатора была доработана и находится на стадии изготовления.

Недостатком описанной схемы является закрытость дрейфовой секции с обеих сторон, что резко повышает вероятность ее паразитного возбуждения. В ИПФ РАН была предложена другая схема секционирования, также трехсекционная, но с открытыми секциями и с трансформацией поперечной структуры рабочей волны при переходе от первой секции к третьей. Такая схема была численно промоделирована в расчете на возбуждение приосевым электронным пучком с энергией частиц 30 кэВ, питч-фактором 1.7 и током до 1 А на четвертой циклотронной гармонике на частоте 0.5 ТГц. Расчеты продемонстрировали существенный выигрыш в КПД, который достигается в предложенной схеме гиротрона что за счет снижения доли омических потерь. Ожидаемая мощность генерации в этой схеме составляет несколько сотен ватт на частоте 0.5 ТГц. Система, формирующая указанный электронный пучок, находится в ИПФ РАН на завершающей стадии конструирования. Эксперименты с секционированным гиротроном планируются начать после завершения пуско-наладочных работ.

2. *Релятивистские коротковолновые мазеры с мультимегаваттным уровнем мощности на основе двумерной распределенной обратной связи.*

Двумерная распределенная обратная связь (РОС) является универсальным методом получения мощного когерентного излучения от пространственно-развитых активных сред различной физической природы, включая релятивистские электронные пучки (РЭП) ленточной и трубчатой конфигурации. Данный механизм обратной связи реализуется с помощью двумерных брэгговских резонаторов планарной или коаксиальной геометрии, формируемых секциями соответствующих волноводов с неглубокой двумерно-периодической гофрировкой стенок. Наряду с высокой селективностью, достоинством таких резонаторов является совместимость с каналами транспортировки интенсивных РЭП. Согласно результатам теоретического анализа, возникающие на «двумерной» гофрировке поперечные (по отношению к движению электронов) потоки электромагнитной энергии синхронизируют излучение различных частей пространственно-развитого РЭП, что позволяет получить устойчивый режим одномодовой генерации при поперечных размерах систем, достигающих до $10^2 - 10^3$ длин волн. Соответственно, на базе существующих электронных пучков использование двумерной РОС позволяет в перспективе реализовать генераторы направленного когерентного микроволнового излучения с гигаваттным уровнем мощности.

Экспериментальные исследования мощных генераторов с двумерной распределенной обратной связью проводятся в сотрудничестве ИПФ РАН и ИЯФ СО РАН (Новосибирск). В 2014 году реализована двухпучковая схема МСЭ-генератора с двумерной РОС. Данный генератор состоит из двух каналов, пространство взаимодействия которых разделено между собой металлической стенкой. Эти каналы запитывались близкими по параметрам ленточными РЭП 0.8 МэВ / 1 кА / 4 мкс, генерируемыми в едином катодном узле ускорителя ЭЛМИ. Пучки формировались в ленточном магнитно-изолированном диоде и транспортировались в сильном (до 1.4 Тл) ведущем магнитном поле в вакуумных каналах с поперечным сечением 0.95 см × 9 см. Сечение пучков в пространстве взаимодействия составляло 0.4 см × 7 см. Поперечное магнитное поле с амплитудой до 0.2 Тл создавалось планарным ондулятором с периодом 4 см, имеющим участок плавного пространственного включения длиной 24 см. Электродинамическая система генератора представляла собой комбинированный двухзеркальный резонатор. Входной (установленный на катодном конце резонатора) двумерный брэгговский отражатель имел длину 20 см и был выполнен из двух медных

пластин с двумерной «шахматной» гофрировкой с глубиной 0.02 см и периодом по обоим направлениям 0.4 см. Данная двумерная брэгговская структура обеспечивала связь четырех парциальных волновых потоков, распространяющихся во взаимно-перпендикулярных направлениях. Формируемые в данной структуре поперечные (по отношению к движению пучка) волновые потоки (волны «синхронизации») осуществляли пространственную синхронизацию излучения широкого ленточного РЭП в поперечном направлении. Данные волновые потоки за пределами резонатора рассеивались боковыми стенками (рассеивателями), профиль поверхности которых носил нерегулярный характер. Выходящая из двумерного отражателя попутная (синхронная) волна в регулярной части резонатора усиливалась электронным пучком, осциллирующим в комбинированном ондуляторном и однородном продольном ведущем магнитном поле. На выходе резонатора (с коллекторного конца) было установлено традиционное однопериодическое брэгговское зеркало длиной 20 см с периодом 0.2 см и глубиной 0.007 см, которое переотражало относительно небольшую часть энергии, излученной электронным пучком в катодном направлении, замыкая цепь обратной связи и обеспечивая условия самовозбуждения генератора. Измеренные в предварительных «холодных» электродинамических тестах частоты и добротности собственных мод резонатора были близки к расчетным, найденным в трехмерном моделировании.

Моделирование процесса установления автоколебаний в планарном двухпучковом МСЭ проводилось при параметрах пучка и электродинамической системы, близких к экспериментальному макету. Проведенный в моделировании анализ пространственного распределения выходного излучения продемонстрировал полную фазовую корреляцию полей в различных точках, что соответствует синхронизации излучения отдельных фракций широкого ленточного электронного потока. Важно подчеркнуть, что распределение поля электромагнитной волны по поперечной координате формируется двумерной брэгговской структурой, и для синхронной с электронным потоком парциальной волны это распределение практически однородно, что обеспечивает одинаковые условия энергообмена для всех фракций электронного пучка и относительно высокий КПД.

В проведенных экспериментах анализ спектра микроволнового излучения в каждом канале МСЭ осуществлялся с помощью гетеродинной измерительной системы. В соответствии с расчетом СВЧ-сигналы на детекторах наблюдались, когда ток пучка превышал 0.5 - 0.6 кА. Зависимость мощности излучения от величины ондуляторного поля имела достаточно четко выраженный оптимум и хорошо соответствовала расчетам. Спектр излучения в согласии с результатами проведенного моделирования при рабочих параметрах пучка демонстрировал стабильную узкополосную генерацию в окрестности частоты 75 ГГц, что соответствовало возбуждению одной из мод комбинированного брэгговского резонатора. Длительность СВЧ импульсов составляла $\sim 100 - 200$ нс. Ограничение полной длительности сигнала СВЧ излучения связано с возникновением плазмы в коллекторной части пространства взаимодействия. Ширина спектра излучения была близка к естественной ширине для импульсов данной длительности. Шумовая компонента составляла менее 25 дБ. Полная мощность излучения на уровне $\sim 30 - 50$ МВт в каждом канале была оценена по показаниям калориметра. При удалении металлической стенки, разделяющей каналы, анализ сигналов с гетеродинных смесителей демонстрировал стабильность фазы излучения в различных каналах и, следовательно, синхронизацию излучения двух параллельных пространственно-развитых ленточных РЭП.

Таким образом, в макете планарного 75-ГГц МСЭ с двумерной распределенной обратной связью устойчивый режим узкополосной одномодовой генерации реализован при поперечном размере системы $\sim 50 \times 2.5$ длин волн, что по степени сверхразмерности сопоставимо с электродинамическими системами современных мегаваттных гиротронов. С другой стороны, достигнутый энергозапас в СВЧ-импульсе на уровне $\sim 3 - 7$ Дж

является рекордным в классе релятивистских импульсных генераторов 4-мм диапазона длин волн.

3. *Исследование эффектов самоиндуцированной прозрачности при взаимодействии с электронными пучками в условиях циклотронного поглощения, разработка на этой основе модуляторов стационарных сигналов.*

На текущем этапе выполнения проекта проведено теоретическое исследование эффектов, возникающих при резонансном циклотронном взаимодействии коротких микроволновых импульсов и стационарных сигналов с первоначально прямолинейным электронным потоком в области нормального эффекта Доплера.

Показано, что в этих условиях в случае коротких импульсов реализуется классический аналог эффекта самоиндуцированной прозрачности, хорошо известного в оптике. А именно, при малой амплитуде импульса имеет место циклотронное поглощение. В то же время при достижении определенного уровня мощности входного сигнала циклотронное поглощение сменяется распространением практически без изменения формы. Указанный эффект обусловлен тем, что передний фронт электромагнитного импульса возбуждает поперечные циклотронные осцилляции у первоначально покоящихся электронов, а затем они демпфируются задним фронтом. При этом, также как в оптике, формируется один или несколько солитонов. Форма огибающей солитона найдена аналитически.

Продемонстрировано, что эффект самоиндуцированной прозрачности в ансамблях электронов-осцилляторов возникает только при учете неизохронности, которая в данном случае обусловлена релятивистской зависимости гирочастоты от энергии частиц. Подобно мазерам на циклотронном резонансе (МЦР) эта зависимость оказывается существенной уже при энергиях много меньших энергии покоя. Однако, если в МЦР частицы обладают начальной вращательной скоростью, и электронный поток является аналогом возбужденной активной среды, то эффекты самоиндуцированной прозрачности возникают при взаимодействии излучения с первоначально прямолинейным электронным потоком, формирующими резонансную пассивную среду.

На основе развитых моделей, а также в рамках PIC-кодов указанный эффект исследован при различных углах распространения электромагнитного импульса по отношению к направлению однородного магнитного поля. Показано, что в определенной области параметров формирование солитона сопровождается значительной компрессией входного сигнала. Определена мощность и длительность электромагнитных импульсов, необходимая для наблюдения указанного эффекта. Сделанные оценки показывают перспективность указанного механизма для повышения мощности и уменьшения длительности импульсов микроволнового сверхизлучения, что может быть востребовано в ряде приложений, включая радиолокацию с высоким разрешением.

При встречном взаимодействии электромагнитного импульса и электронного пучка продемонстрирована возможность существенного замедления входного импульса и формирование неподвижных солитонов. Кроме того, показано, что в этих условиях стационарный монохроматический сигнал может трансформироваться в регулярную последовательность импульсов, каждый из которых представляет собой солитон со стабильными параметрами. Ранее при исследовании таких условий взаимодействия были получены только стационарные режимы циклотронного поглощения и нелинейного просветления. Развитый нестационарный подход позволяет определить границы области устойчивости стационарных решений, вне которых реализуются режимы периодической и хаотической автомодуляции. Для практических приложений представляет наибольший интерес область параметров, в которой входной стационарный сигнал трансформируется в регулярную последовательность импульсов, каждый из которых близок по структуре к бегущему солитону. Сделанные оценки показали возможность использования исследованного эффекта для модуляции излучения коротковолновых гиротронов, что представляет интерес для современных методов спектроскопии.

13.21 Исследование новых схем лазеров на свободных электронах с накачкой мощными микроволновыми и оптическими импульсами (0035-2014-0013).

Научный руководитель д.ф.-м.н. Н.С. Гинзбург

Исполнители: И.В.Бандуркин, В.Р.Барышев, А.А.Вихарев, Ю.Ю.Данилов, В.Ю.Заславский, И.В.Зотова, Е.Р.Кочаровская, С.В.Кузиков, А.М.Малкин, Я.Л.Богомолов, Е.С.Семенов, А.С.Сергеев, С.Е.Фильченков, А.Д.Юнаковский (основные)
М.Н.Вилков, И.В.Железнов, Т.О.Крапивницкая, Ю.С.Опарина, Д.Л.Павлов, Л.А.Юровский, Л.М.Шевц, Э.М.Шер

В рамках проекта в 2014 году проведены теоретические исследования новых схем однопроходных ЛСЭ рентгеновского диапазона с накачкой мощными микроволновыми и оптическими импульсами, в том числе.

1. *При использовании накачки в виде электромагнитного импульса, распространяющегося в среде с аномальной дисперсией, формируемой волноводом с винтовой гофрировкой.*

Актуальной проблемой современной науки является создание источников когерентного рентгеновского излучения. Одними из основных кандидатов на освоение данного диапазона на высоком уровне мощности (пиковой и средней) выступают ЛСЭ. Использование в ЛСЭ раскачки частиц не в периодическом поле магнитостатического ондулятора, а в поле мощной электромагнитной волны (СВЧ-ондулятор) имеет ряд важных преимуществ. Прежде всего, при фиксированной длине волны выходного излучения ЛСЭ такой подход обеспечивает существенное снижение энергии электронов, что, в свою очередь, ведет не только к снижению стоимости и увеличению компактности ЛСЭ за счет снижения энергетика ускорителя электронов, но и к увеличению инкремента усиления рентгеновской волны электронным пучком.

В рамках проекта в ИПФ РАН предложена новая схема раскачки заряженных частиц полем СВЧ - «летающий ондулятор». Он представляет собой мощный коротким импульс когерентного микроволнового излучения, который движется вместе с рабочим электронным сгустком в волноводе с винтовой гофрировкой стенок. Гофрировка обеспечивает присутствие в микроволновом импульсе волновой компоненты с отрицательной (по отношению к направлению движения электронов) фазовой скоростью. Таким образом, близость групповой скорости СВЧ волны и скорости электронов обеспечивает протяженность пространства электронно-волнового взаимодействия, в то время как наличие волновой компоненты с отрицательной фазовой скоростью обеспечивает стимулированное рассеяние микроволн в оптическое излучение с высоким фактором доплеровского преобразования частоты.

Показано, что возможно добиться создания в гофрированном волноводе нормальной волны с групповой скоростью, близкой к скорости света, в которой доля рабочей (встречной) парциальной волны составляет порядка 50%. Согласно расчетам, в случае рентгеновского ЛСЭ с электронным пучком 0.1 нКл / 0.1 мм / 1 пс и «летающим» СВЧ-ондулятором с мощностью СВЧ волны 1 ГВт, длительностью 10 нс и длиной волны 0.8 см, при групповой скорости «летающего» ондулятора 0.7с в ЛСЭ обеспечивается электронно-волновое взаимодействие на длине около 10 метров с фактором ондуляторности 0.1. В случае длины волны рентгеновского излучения (~ 1 нм) необходимая для такого взаимодействия энергия электронов составляет 700 МэВ. При этом обратный инкремент роста (по амплитуде) неустойчивости, приводящей к генерации рентгеновской волны, составляет порядка трех метров. Таким образом, на длине 10 м достигается усиление (по мощности) около 30 дБ. Для сравнения, что в случае традиционного магнитостатического ондулятора с периодом 3 см и фактором ондуляторности 0.5 требуется энергия электронов около 2 ГэВ. При этом, естественно,

электронно-волновое взаимодействие - слабее, так что обратный инкремент составляет около 10 м. Таким образом, «летающий» ондулятор с пространством электронно-волнового взаимодействия 10 метров «эквивалентен» 30-метровому магнитостатическому ондулятору.

Согласно проведенному анализу, для реализации привлекательных вариантов СВЧ-ондуляторов длинноволновой части миллиметрового диапазона длин волн требуются импульсы (единицы-десятки наносекунд) электромагнитного излучения с мощностью излучения порядка 1 ГВт. В качестве источников СВЧ сигнала для «летающего» ондулятора ондулятора предложено использовать импульсную релятивистскую черенковскую ЛОВ. Проведен расчет такого генератора в 8-мм диапазоне длин волн и анализ возможности его реализации на основе сильноточного ускорителя «СИНУС-6» 500 кэВ / 5 кА / 25 нс (ИПФ РАН). Согласно проведенному моделированию выходная мощность излучения может составлять ~ 0.5 ГВт при эффективности на уровне 20%. К настоящему времени разработана и изготовлена микроволновая система такого генератора. Экспериментальное тестирование микроволнового источника «летающего» ондулятора предполагается провести в 2015 году. Кроме того, предполагается исследовать перспективы повышения мощности выходного излучения до уровня 1 ГВт за счет увеличения мощности запитывающего РЭП и оптимизации пространства взаимодействия генератора.

2. При использовании смещающегося пятна накачки, реализуемого отражением от дифракционной решетки chirпованного по частоте интенсивного лазерного излучения.

В 2014 году в рамках проекта предложена и теоретически исследована новая схема генерации когерентного импульсного излучения в предельно коротковолновых диапазонах (в том числе, рентгеновском), которая основана на использовании смещающегося пятна накачки, отраженного от дифракционной решетки chirпованного по частоте интенсивного лазерного излучения.

В настоящее время, перестраиваемое излучение указанных диапазонов получают в ЛСЭ при движении в поле ондулятора с периодом в несколько сантиметров релятивистских электронных сгустков с энергией до нескольких ГэВ. Такие пучки формируются линейными ускорителями, характерная длина которых при реализованных темпах набора энергии составляет несколько километров. Соответственно, ЛСЭ являются уникальными установками, стоимость которых исчисляется миллиардами долларов. Существенно уменьшить энергию электронов возможно при уменьшении периода магнитостатического ондулятора, что, однако сталкивается с серьезными техническими трудностями. В этой связи актуальность приобретает исследование возможности создания компактных источников коротковолновых диапазонов с использованием в качестве накачки полей мощных лазеров. При использовании оптической накачки достижение рентгеновского диапазона становится возможным уже при энергии электронов в несколько МэВ, что может быть обеспечено, например, при формировании электронных пучков на основе фотоинжекторов.

Отличительной особенностью предлагаемой схемы, основанной на вынужденном комптоновском рассеянии лазерного излучения на релятивистском электронном пучке, является смещение пространственно-ограниченной области (пятна) накачки вдоль пучка со скоростью близкой к групповой скорости рассеянной волны. Если область накачки неподвижна, то вследствие вытекания излучения из области взаимодействия, реализуется известный многопиковый режим усиления собственных шумов (SASE), когда каждая часть электронного пучка излучает практически независимо. При этом средняя мощность импульсов в таком режиме относительно невелика, так как длина области усиления рассеянного излучения ограничена размерами пятна накачки. При движении пятна накачки по электронному пучку будет иметь место принципиально иная ситуация. В этом случае на одной из границ области накачки формируется короткий одиночный импульс рассеянного излучения, который при движении относительно пучка постоянно

подпитывается немодулированными электронными фракциями. В результате мощность генерируемого моноимпульса может на порядки превосходить мощность излучения в многоимпульсном режиме. Как показывает проведенный анализ, в случае точного совпадения скорости движения пятна накачки с групповой скоростью рассеянного излучения амплитуда подобного «гигантского» импульса растет пропорционально длине области взаимодействия, которая, фактически, определяется длительностью импульса накачки. В то же время моделирование показало, что эффект усиления достаточно выражен и при отличии указанных скоростей. Для смещения области накачки по электронному пучку предложено использовать поворота частотно-модулированного (чирпованного) лазерного луча после отражения от дифракционной решетки – эшелетта. Сделанные оценки с использованием параметров, характерных для современных мощных лазеров показывают реализуемость указанного эффекта. В то же время принципиальным ограничением для реализации этого принципа генерации коротких импульсов может стать разброс параметров пучка, требования на который, согласно оценкам, являются достаточно жесткими. Формирование пучков с требуемым разбросом может потребовать дополнительных методов «охлаждения». В текущем году в ИПФ РАН для «охлаждения» умеренно-релятивистских магнитоуправляемых РЭП предложено использовать магнитостатический ондулятор в режиме так называемой «отрицательной массы».

10.6. Разработка мощных лазерных систем с высоким качеством пучка в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне. (0035-2014-0014)

Руководитель: Н.Ф. Андреев

Сроки выполнения: 2014-2017

Теоретически и экспериментально исследован регенеративный усилитель для усиления наносекундных импульсов с энергией ~ 1 нДж и частотой следования до 100 Гц в диапазоне 1054 ± 1 нм, сравнительно широкая полоса усиления которого обеспечивается сочетанием усиления в двух лазерных средах – Nd:YLF и Nd:LMA ($\text{LnMgAl}_{11}\text{O}_{19}$). При этом были разработаны квантроны с диодной накачкой, применение которых в регенеративном усилителе позволило поднять его выходную энергию до 500 мДж в импульсе и обеспечить близкое к дифракционному качество выходного излучения.

Создана установка для измерения сверхмалых поглощений в диэлектриках. Образцы нагревались импульсным излучением иттербиевого волоконного лазера (длина волны 1.07 мкм). Изменение фазы зондирующего излучения непрерывного маломощного ($\text{RMS}=0.1\%$) газового лазера (длина волны 0.632 мкм) мощностью 2 мВт фиксировалось с помощью фотодиода методом фазового контраста. Чувствительность метода составила $\sim 10^{-8} \text{ см}^{-1}$, что удалось достичь использованием синхронного детектирования. Это позволило зафиксировать изменение фазы $\sim \pi \cdot 10^{-5}$, что важно для входного контроля оптических материалов при создании мощных лазеров со средней мощностью от 10 кВт.

Сделаны расчёты для учёта вклада термоупругих напряжений в изменение показателя преломления в изотропном теле при $T=T(r,z)$. Показано, что для используемой геометрии нагрева (радиус пучка греющего излучения много меньше длины образца) можно пользоваться аналитическими формулами в приближении плоских деформаций для бесконечно длинного изотропного цилиндра с $T=T(r)$, сделав соответствующие замены, которые учитывают неоднородность излучения по z .

Исследованы образцы плавленого кварца, стекло К8, КГСС, кристаллического кварца, кристаллов LBO, VBO. На основе вышеописанных расчётов сделана калибровка образцов. В качестве калибровочного использовался образец стекла К8 с известным поглощением $7 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

Измерено поглощение воздуха: 10^{-7}см^{-1} (на длине волны 1.07 мкм), что соответствует континуальному поглощению в окне прозрачности. Измерены диссипативные потери в обезвоженном высококачественном кварцевом стекле, которые оказались на два порядка ниже релеевского рассеяния.

По результатам работы готовится соответствующая публикация.

(Андреев Н.Ф., Кулагин О.В., Власова К.В., Шубин С.В., Горбунов И.А., Давыдов В.С., Батраков М.И., Софронов В.К., Горячев Ю.А., Кулагин И.О., Кулагин С.О.)

Экспериментально исследована гибридная лазерная система на основе оптических волокон, активированных ионами Tm^{3+} , и керамики $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$. В качестве задающего генератора использован одномодовый тулиевый волоконный лазер на длине волны 1940 нм с длительностью импульсов, варьируемой в интервале 1-100 нс, следующих с частотой повторения 3-50 кГц. В качестве усилителя использован твердотельный усилитель на керамике $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$, который накачивался излучением эрбиевого волоконного лазера со смещением частоты за счёт ВКР (длина волны этого излучения составляла 1680 нм). Излучение накачки и сигнал вводились в одно и тоже одномодовое волокно, на выходе которого излучение фокусировалось в стержень из керамики $\text{Tm}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$. В результате получено усиление излучения на длине волны 1940 нм с коэффициентом ~ 100 , максимальная энергия пультсов достигала 1.5 мДж (при частоте повторения 5 кГц), максимальная средняя мощность достигала ~ 23 Вт (при частоте повторения 45 кГц), максимальная эффективность усилителя достигала 46% (по поглощенной накачке $\sim 48\%$).

(Антипов О.Л., Новиков М.А., Веревкин Ю.К., Бабина И.А.)

Построена гибридная эрбиево-тулиевая волоконная лазерная система, генерирующая 2-х микронные импульсы субмикроджоульного уровня. Импульсы с эрбиевой волоконной системы на длине волны 1.56 мкм, построенной полностью на телекоммуникационных компонентах, плавно перестраиваются в отрезке сильнонелинейного волокна со смещенной дисперсией в диапазон двух микрон и далее усиливаются в каскадах усилителей на основе активных волокон, допированных ионами тулия. Показано, что особенностью нелинейной динамики оптических импульсов в тулиевом активном волокне является возможность генерации двух и более импульсов, что позволяет предложить на основе разработанной системы генератор двух- или даже многоцветных оптически-синхронизованных импульсов.

(Анашкина Е.А., Андрианов А.В., Ким А.В., Коптев М.Ю., Муравьев С.В.)

13.22. Теоретическое и экспериментальное исследование гиротронов для установок УТС (0035-2014-0015)

Научный руководитель чл.-корр. Г.Г. Денисов

Основные результаты:

Разработаны методы анализа и синтеза сверхразмерных трехмерных электродинамических систем мегаваттных гиротронов.

Разработаны технологии изготовления волноводных и зеркальных компонентов электродинамических систем.

Изготовлен и успешно испытан макет гиротрона с частотой 170 ГГц и мощностью до 2 МВт, оснащенного новой перспективной электродинамической системой, обеспечивающей трансформацию рабочих мод гиротрона обоих направлений вращения в параксиальный волновой пучок.

Разработаны методы измерения и анализа выходных волновых пучков гиротронов.

Рассчитаны и изготовлены блоки согласующей оптики и гофрированные волноводы для использования в полномасштабных испытательных стендах гиротронов для установок УТС.

10.7. Разработка и создание твердотельных лазерных систем с высокой пиковой и средней мощностью, элементной базы таких систем. (0035-2014-0016)

Руководитель: Е.А. Хазанов

Сроки выполнения: 2009-2013

Для повышения частоты следования оптических импульсов в большеапертурных стеклянных усилителях необходимо, во-первых, повышать эффективность работы накачки уменьшая тепловклад от импульсов ламповой накачки усилителей; во-вторых уменьшать термонаведённые искажения оптического излучения, организуя оптимальный теплоотвод по всей образующей активного элемента; в-третьих улучшать компенсацию термонаведённых искажений, используя, например 90-градусные вращатели поляризации располагаемые между тождественными оптическими элементами.

В 2014 году работы велись по всем трём направлениям.

Разработана конструкция квантрона для активных элементов диаметром 60...100 мм, позволившая уменьшить тепловую нагрузку на 40%. Это позволило заменить 12, 16 и 18-ламповые квантроны, использовавшихся для накачки 60, 85, и 100 мм активных элементов, соответственно, 8 ламповым квантроном.

Разработан способ крепления активного элемента внутри кварцевой колбы, заполненной водой, уменьшивший в полтора раза длину части активного элемента, за которую осуществляется его крепление внутри колбы и организовано ламинарное движение охлаждающей жидкости во всём объеме, что позволило значительно уменьшить термонаведённые напряжения в элементе (так при старой конструкции колбы разрушение элемента наступало при частоте следования импульсов накачки раз в 300 секунд, в настоящее время можно работать при частоте следования импульсов накачки вплоть до 1 импульс в 150 секунд).

Идентичность используемых усилителей и источников электрической энергии для ламп накачки позволила скомпенсировать термонаведённые искажения до уровня менее 2%.

Всё это вместе позволило повысить частоту следования оптических импульсов для накачки параметрического усилителя в лазере PEARL с 1 импульса в 30-40 минут, до одного импульса в 10-12 минут. Параметры оптического импульса сохранены: длина волны 1054 нм, энергия импульса более 300 Дж, его длительность 1 нс, диаметр 97 мм, расходимость не хуже 2-х дифракционных пределов.

(Буланов А.В., Бурдонов К.Ф., Гинзбург В.Н., Еремеев А.А., Зайцев А.В., Зуев А.С., Зеленогорский В.В., Илларионов Д.В., Илларионов В.Н., Каракулов Ю.В., Карасев Д. И., Катин Е.В., Кожеватов И.Е., Кочетков А.А., Кочеткова Л.А., Кузьмин А.А., Кузьмина М.С., Негодов Г.Н., Мальшаков А.Н., Миронов С.Ю., Потемкин А.К., Силин Д.Е., Смирнова М.Н., Соловьев А.А., Стукачев С.Е., Шайкин А.А., Шайкин И.А., Яковлев И.В., Стародубцев М.В.)

Для создания мощного источника пикосекундных импульсов с частотой следования до 1 кГц на дисковых активных элементах из Yb:YAG разработан дизайн активного элемента с кладдингом, позволяющим существенно уменьшать паразитную генерацию излучения. Изготовление таких элементов предлагается осуществлять методом напайки на Yb:YAG/YAG активный элемент кладдинга из Cr:YAG. В качестве материала напайки будет использован Cr:GGG, обладающий очень близкими к YAG материальными характеристиками, но меньшую температуру плавления.

Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование коэффициента усиления, фазовых и поляризационных искажений излучения в дисковом Yb:YAG и композитном Yb:YAG/YAG активных элементах при торцевой накачке в нелазерных условиях (under non-lasing conditions).

Разработаны различные виды изоляторов Фарадея из керамик тербий-галлиевого граната и тербий-алюминиевого граната, обеспечивающие степень изоляции 30 дБ при киловаттном уровне мощности лазерного излучения, что позволяет их использовать в разрабатываемом лазере.

(Войтович А.В., Вяткин А.Г., Железнов Д.С., Кузнецов И.И., Кузнецов И.В., Лучинин Г.А., Миронов Е.А., Мухин И.Б., Палашов О.В., Перевезенцев Е.А., Снетков И.Л., Старобор А.В., Эктов Н.П.)

10.8. Разработка оптических устройств нелинейной и адаптивной оптики. (0035-2014-0017)

Руководитель: В.В. Ложкарев

Сроки выполнения: 2014–2017

Создана приборная база для исследования однородности питания растущего кристалла в ростовой форме на основе аналогии свойств теплопереноса и массопереноса.

(Родченков В.И., Ершов В.П., Воронцов В.В., Воронцов А.В.)

Создан лабораторный макет системы оптического контроля и регистрации положения доминирующих центров роста на ростовой грани.

(Зиновьев А.П., Павликов А.И., Крайнов А.Н., Старостин В.Н.)

Исследованы оптимальные условия кинетического режима питания растущей грани. Разработан действующий макет высокоэффективной помпы питателя нового поколения, исследованы его характеристики.

(Прохоров А.П., Бычков А.В., Смотрakov С.А., Плюсков П.Ю., Галушкина Г.Л., Пучков А.В., Логинов В.М., Малышева В.А.)

Проведен корреляционный анализ экспериментальных данных нефелометрического и ультрамикроскопического исследования рассеяния ростовых растворов. Получено хорошее взаимное соответствие этих исследований.

(Бубис Е.Л., Рубаха В.И., Нефедов В.Ю., Буренина В.Н., Беляев С.Н., Дмитриев А.В., Швецова Н.Р.)

На основе анализа экспериментальных исследований ведущих мировых разработчиков технологии магнитореологической обработки сформулирована концепция техпроцесса суперфиниширования оптических поверхностей водорастворимых кристаллов группы KDP.

(Новиков Е.А., Фадеев С.И., Баранов Г.М., Королихин В.В., Мальшакова О.А.)

Проведены численные расчеты и разработаны квазисимметричные светоделители в видимой и ближней ИК области спектра на основе двуслойной металл-диэлектрической структуры с 90-градусным фазовым сдвигом с двух выходов светоделителя. Проведена оптимизация такой структуры (выбор металлической и диэлектрической пленок и их толщин), позволяющая получать коэффициенты отражения и пропускания в таком светоделителе с разницей менее 1%.

Разработана методика шлифования и полирования (включая полирование образующей) лазерных элементов (цилиндрических и конусных) малого диаметра (диаметр от 1,5 до 1,2 мм, длина 35 мм) на основе плавленного кварца, фторида кальция, иттрий-алюминиевого граната с плоскостностью $N < 0,1$.

Разработана методика шлифования и полирования спаянных дисковых Yb:YAG/YAG- элементов на основе керамики с плоскостностью $N < 0.1$, используемых в мощных лазерных системах.

(Мамаев Ю.А., Коноплев Ю.Н., Старостин В.Н., Осокин А.Н., Матвеев А.З., Чакрыгин Н.К., Сатаева Н.Н.)

10.9. Развитие методов оптической когерентной томографии; нелинейная динамика оптических систем. (0035-2014-0018)

Руководитель: В.М. Геликонов

Сроки выполнения: 2014-2017

С целью развития метода оптической когерентной томографии (ОКТ) разработан усовершенствованный метод поляризационных измерений с фиксированным состоянием поляризации зондирующего излучения в спектральном варианте метода ОКТ. Метод обоснован теоретически для системы, только с двумя активными управителями поляризации, взаимно развернутыми на фиксированный угол 45° . Получено аналитическое решение, и проведены макетные исследования. Проведена экспериментальная апробация усовершенствованного двухканального приема рассеянного назад излучения с ко- и кросс-поляризациями при облучении оптически мутной среды волной с круговой поляризацией. Экспериментально подтверждено ожидаемое повышение уровня сигнала в кросс-канале на 3,9 дБ. Зафиксировано отсутствие наблюдавшейся ранее неопределенности ОКТ-сигнала, обусловленной произвольным состоянием поляризации. Экспериментально обнаружены паразитные поляризационные артефакты, возникающие при использовании ряда промышленных систем скоростного отклонения луча, и выявлены их причины. Усовершенствована геометрия сканирующих систем, позволившая снизить проявление в изображениях кросс-канала поляризационных артефактов на ~ 20 дБ, т.е. до вполне удовлетворительного уровня. В итоге реализован стабильный прием сигнала в канале с кросс-поляризацией с примерно 40 дБ динамическим диапазоном.

(В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов, Г.Б. Малыкин, Д.В. Шабанов, П.А. Шилягин, Д.А. Терпелов, А.А. Моисеев, В.А. Маткивский, С.В. Лесниченко, М.Н. Кучева, М.В. Никулина, С.Ю. Ксенофонтов, В.Н. Ромашов, К.Е. Волчков, П.В. Мусаткин)

Обоснован предложенный нами ранее метод формирования аттосекундных импульсов электромагнитного излучения длительностью порядка периода поля с несущей частотой порядка частот внутриаомных и внутримолекулярных резонансов, основанный на периодическом прерывании резонансного взаимодействия излучения с атомами газообразной среды. Показано, что предложенный метод позволяет получать экстремально короткие импульсы излучения в различных средах, а возможность понижения несущей частоты расширяет приложения аттосекундной физики.

Впервые одиночные фотоны гамма-излучения с энергией 14,4 кэВ от радиоактивного источника ^{57}Co с экспоненциально затухающей формой огибающей волнового пакета преобразованы в фотоны с огибающей волнового пакета в виде затухающей последовательности импульсов длительностью, много меньшей времени затухания. Получены также фотоны с огибающей волнового пакета в виде пары когерентных импульсов, что является первой демонстрацией временных кубитов (основных носителей квантовой информации) в гамма-диапазоне.

Теоретически исследован режим двухволновой генерации в Nd:YAG лазерах с насыщающимся поглотителем на переходах 1061,5 нм и 1064,15 нм. Предложена многомодовая модель лазера с насыщающимся поглотителем и найдены условия одновременной импульсной генерации на указанных длинах волн, что может найти

применение в различных приложениях, в частности для получения терагерцового излучения.

(Антонов В.А., Корюкин И.В., Радионычев Е.В., Хандохин П.А., Чернобровцева М.Д., Лескина Т.И.)

11.10. Лазерное наноструктурирование материалов. (0035-2014-0019)

Руководитель: Н.М. Битюрин

Сроки выполнения: 2014-2017

Получено лазерное наноструктурирование полимерных поверхностей с помощью слоя субмикронных диэлектрических шариков, которые служат здесь ближнепольными линзами, то есть методами ближнепольной литографии. Экспериментальные результаты и теоретическое моделирование процессов позволяет оценить, что этим методом можно получить плотность записи элементарных структур выше, чем 10^{10} см⁻².

Получены новые результаты по изучению эффектов, ограничивающих разрешающую способность создания трехмерных наноструктур методом многофотонной лазерной полимеризации. В этом году изучались особенности записи линий.

Получены новые материалы, способные наноструктурироваться при воздействии несфокусированного лазерного излучения на основе матриц титан-оксидного гибрида и полиметилметакрилата. С помощью спектроскопических и микроскопических измерений проведен анализ их оптических свойств.

По результатам работ в этом направлении руководителем темы опубликована глава в коллективной монографии, вышедшей в издательстве Springer.

(Соустов Л.В., Бредихин В.И., Июдина Г.В., Пикулин А.В., Агарева Н.А., Афанасьев А.В., Сапогова Н.В., Шилягина О.А., Каменский В. А., Смирнов А. А.)

12.11 Теоретическое и экспериментальное исследование взаимодействия терагерцового и лазерного излучения с поверхностями различных материалов и плазмой (0035-2014-0020).

Руководитель д.ф.-м.н. Токман М.Д.

Исполнители: Токман М.Д., Миронов В.А., Фадеев Д.А., Иляков И.Е., Шишкин Б.В., Жарова Н.А., Оладышкин И.В., Мартынов В.О., Смирнов Л.А., Протогенов А.П., Кузнецова Е.А., Моченева О.С., Вдовин В.В., Ерухимова М.А.

В соответствие с планом работ по данной теме на 2014г. были получены следующие результаты.

А) В области поисковых работ по разработке методов генерации терагерцового излучения при воздействии интенсивного лазерного излучения на твердотельные мишени проводились исследования механизмов генерации терагерцового излучения при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на поверхность металлов. Была развита аналитическая модель возбуждения низкочастотных токов под действием лазерного излучения, основывающаяся на гидродинамическом описании электронного газа в полуограниченном металле. Было показано, что пондеромоторное воздействие оптического импульса приводит к изменению электронной плотности вблизи границы, что в свою очередь ведёт к возникновению сильных локализованных квазистатических полей дипольного характера. Найденные в рамках модели низкочастотные поля излучения позволяют интерпретировать многие экспериментальные данные: диаграмму направленности и поляризацию терагерцового излучения, а также зависимость

эффективности генерации терагерцового сигнала от угла падения и типа поляризации оптического импульса. Был разработан численный код, предназначенный для моделирования процесса восстановления изображений с помощью терагерцового излучения. При помощи кода было проведено численное моделирование электродинамических процессов, протекающих при отражении мощного лазерного импульса от проводящей среды, с учётом возможности ионизации газа (воздуха) над поверхностью. Наряду с динамикой электронов в металле, разработанный численный код позволяет исследовать динамику воздушной плазмы над поверхностью металла и её взаимодействие с оптическими и низкочастотными полями. Показано, что при росте интенсивности лазерных полей происходит падение эффективности генерации вследствие отражения значительной части оптического излучения от плазменного слоя, а также за счёт сильной экранировки терагерцового сигнала, генерируемого поверхностью металла. Учёт этих эффектов привёл к качественному объяснению экспериментальных данных, говорящих о снижении эффективности генерации терагерцового импульса при возрастании оптического поля вблизи поверхности металла и появлении оптического пробоя газа.

В) Проводились исследования генерации поверхностных плазмонов (плазмон-поляритонов) инфракрасным излучением в материалах с дираковскими электронами. Теоретически обнаружен эффект генерации терагерцовых плазмонов инфракрасным лазерным излучением на разностной частоте. Непосредственная генерация излучения на разностной частоте без учета эффекта пространственной дисперсии в таких средах невозможна в силу отсутствия в них центра инверсии. В то же время схема, предполагающая генерацию плазмонов с последующей трансформацией плазмон-поляритона в моду свободного пространства, позволяет использовать присущую дираковским материалам сильную нелинейность для трансформации инфракрасного излучения в терагерцовое. Особенно важно, что такой режим предложен, в частности, для топологических изоляторов. Дело в том, что хотя эти материалы интенсивно исследуются специалистами в области транспортных процессов, оптические приложения топологических изоляторов практически только начинают обсуждаться. Мы показали, что в пересчете на объемный коэффициент, эффективная квадратичная нелинейность в таких материалах может быть на 4 порядка больше, чем для известной системы ассиметричных квантовых ям для тех же частот излучения.

С) Исследовалось также возбуждение ленгмюровских волн в плазме с помощью ультракоротких лазерных импульсов. Этот процесс относится к одному из наиболее перспективных способов генерации сильных электрических полей в плазме для ускорения заряженных частиц. Возбуждение плазменной волны коротким по сравнению с плазменной длиной волны лазерным импульсом происходит аналогично процессу излучения кильватерной волны движущимся зарядом. Для получения сверхсильных электрических полей необходимо использование релятивистски сильных коротких лазерных импульсов. В ходе работ по данной тематике аналитически и численно показано, что в результате самовоздействия лазерного импульса в плазме при возбуждении кильватерной волны происходит не только самофокусировка излучения, но и укорочение длительности волнового поля. В случае релятивистски сильных лазерных импульсов из-за насыщения нелинейности подавляется самофокусировка и реализуется квазиодномерный режим сжатия импульса. Предсказания теории подтверждены экспериментом. Указанный режим представляется оптимальным в приложении к ускорению заряженных частиц.

Критические технологии: Технологии обеспечения защиты и жизнедеятельности населения и опасных объектов при угрозах террористических проявлений.

Приоритетные направления развития науки: Безопасность и противодействие терроризму.

Направление работ института: Радиофизика и электроника, акустика.

Тема № 12.12. Приборы и методы микроволновой радиометрии (0035-2014-0021) .

Отдел радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии

Научный руководитель д.ф.-м.н. И.И. Зинченко.

Исполнители:

1. Вдовин В.Ф., д.ф.-м.н., в.н.с.
2. Носов В.И., с.н.с.
3. Штанюк А.М., с.н.с.
4. Лапкин И.В., н.с.
5. Елисеев А.И., м.н.с.
6. Коротаев Д.В., м.н.с.
7. Леснов И.В., м.н.с.
8. Мухин А.С., м.н.с.
9. Большаков О.С., вед. констр.
10. Дрягин С.Ю., вед. электроник
11. Мальцев В.А., вед. констр.
12. Никифоров П.Л., вед. констр.
13. Шкаев А.П., вед.констр. отд.180
14. Перминов В.Г., вед. технолог
15. Мансфельд М.А., констр. 1-й к.
16. Царев Б.Ю., ст. лаб.-иссл.
17. Минеев К.В., ст. лаб.-иссл.
18. Шишов А.А., ст. лаб.-иссл.

Содержание работы: Разработка приемных устройств и их элементов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн для применений в радиоастрономии, атмосферных исследованиях, диагностике различных сред и материалов и пр. Исследование возможностей реализации высокопроизводительных терагерцовых телекоммуникационных каналов.

1) Создан цифровой частотомер GLN-2540 диапазона 170-400 ГГц. Прибор является модернизированным вариантом ранее разработанного GLN-1005 (диапазона 70-170 ГГц). За счет оптимизации ряда узлов получены на порядок более высокая чувствительность, долговременная стабильность и точность частотомера при расширении диапазона рабочих частот. Принцип работы частотомера состоит в преобразовании частоты входного сигнала сначала в область частот (11 - 12.5) ГГц, а затем - в диапазон частот работы счетчиков (104 - 107) МГц. Преобразование осуществляется с помощью быстродействующих колец фазовой автоподстройки частоты. Основные параметры частотомера приведены в таблице.

Частотный диапазон	(170–400) GHz
Чувствительность (ориентировочно):	
170 ГГц	30 мкВт
260 ГГц	0,8 мВт
390 ГГц	2 мВт
Уровень повреждения	5 мВт
Точность	0,1 МГц
Стабильность, не хуже	$5 \cdot 10^{-7}$
Скорость слежения, не менее	100 МГц/с
Размеры	135 мм В × 450 мм Ш × 390 мм Г
Вес	8,5 кг
Питание	(220-230) В, (50–60) Гц

2) Для использования в схемах спектрометров, использующих быстрое сканирование частоты, необходимо изменение в сложившейся структуре построения синхронизаторов системы ФАПЧ. В основном это касается способа получения сигнала опорной частоты ЧФД. Это диктует необходимость применения широкополосного умножителя частоты опорного сигнала. В связи с этим была проведена модернизация 2-х синхронизаторов. При этом пришлось заменить УПЧ, разработать широкополосные умножители, скорректировать или переделать ЧФД:

- а) синхронизатор с полосой частот ПЧ 396-444 МГц.
б) синхронизатор с полосой частот ПЧ 528-582 МГц.

3) Выполнены работы по анализу перспектив и проблем реализации беспроводных телекоммуникационных каналов, построенных на основе приемо-передающих комплексов со сверхвысокочувствительными криостатируемыми приемниками ТГц диапазона частот. Показано, что предельная производительность таких каналов может превосходить уже на имеющейся сегодня твердотельной технологической базе 300 Гб/с, в перспективе имеется возможность достижения терабитных производительностей. Так же предложена и обоснована модифицированная формула Шеннона для оценки производительности телекоммуникационного канала, более адекватно описывающая его характеристики, особенно при использовании криостатируемых приемников. Предельная емкость телекоммуникационного канала, представленная как теоретический предел, получена на основе известной формулы Шеннона для приемника с отношением сигнал/шум определяемым из формулы (1):

$$\text{SNR} = P_{rx} / F k T B \quad (1)$$

где: F – шум-фактор приемника, T = T₀ = 300K – стандартная температура приемника, P_{rx} – мощность передатчика, k – постоянная Больцмана, B – частотная полоса канала. Очевидно, что отношение сигнал шум при использовании лучшей современной элементной базы, близкой по шумам к фундаментальному пределу, возможно заметное повышение эффективности телекоммуникационного канала. Емкость канала связана с соотношением сигнал/шум по формуле Шеннона (2):

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad (2)$$

Повышение чувствительности приемника на основе лучших современных образцов приемников ТГц диапазона позволяет повысить предсказываемый предел производительности телекоммуникационного канала по сравнению с известными вариантами неохлаждаемых приемников в ~3 раза. Расчёт квантового предела скорости передачи данных производился при следующих параметрах тракта: частота 350 ГГц, ширина полосы ~75 ГГц, уровень физической температуры приёмника (Т): 4 К. Вычисление скорости передачи данных при этом C = 9,817*10¹¹ бит/сек или 981,728 Гбит/сек. Так же проанализированы характеристики существующих приёмников и источников ТГц диапазона длин волн, способные обеспечить реальный технический предел скорости, близкий к фундаментальному пределу. На основе анализа разработан эскизный проект макета ТГц канала, подготовлено и направлено в печать две статьи.

Приоритетное направление: безопасность и противодействие терроризму; индустрия наносистем; информационно-телекоммуникационные системы; рациональное природопользование;

Критические технологии: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы Научные направления: радиофизика и электроника, акустика; астрономия и исследования космического пространства

12.13. Разработка радиофизических методов исследования океана. (0035-2014-0022)

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Ермаков С.А.

Получены новые экспериментальные данные о характеристиках радиолокационных сигналов Зсм-диапазона при зондировании ветрового поверхностного волнения в условиях умеренного и сильного ветра. Установлены зависимости интенсивности, доплеровских сдвигов частоты и радиолокационной модуляционной передаточной функции от угла падения, азимутального угла, скорости ветра, а также от поляризации зондирующего радиосигнала. Показано, что величины усредненных сдвигов мгновенного спектра радиолокационного сигнала растут с увеличением угла падения, относительно слабо зависят от скорости ветра и достаточно близки для вертикальной и горизонтальной поляризации. Величины этих доплеровских сдвигов удовлетворительно согласуются с оценками по брэгговской модели рассеяния даже в присутствии сильно нелинейных (обрушивающихся) волн. Капустин И.А., Сергиевская И.А. Турлаев Д.Г., Щегольков Ю.Б., Шомина О.В.

В ходе комплексных натурных исследований на Горьковском водохранилище получены новые данные о связи характеристик радиолокационных сигналов с характеристиками фитопланктона. Выполнены измерения скорости и направления ветра, концентрация фитопланктона и температуры воды, мощности и толщины акустического рассеивающего слоя водной толщи, собраны поверхностные и объемные пробы воды, измерены характеристики сигнала обратного рассеяния от поверхности воды судовым скаттерометром X – диапазона и спутниковым РСА TerraSAR-X. Установлено, что эффект уменьшения сигнала обратного рассеяния спутникового РСА существенным образом зависит от угла падения и скорости ветра. При увеличении скорости ветра эффект ослабления сигнала уменьшается, а увеличение угла падения приводит к увеличению эффекта. Обработка поверхностных проб показала, что увеличение концентрации фитопланктона сопровождается увеличением упругости биогенных ПАВ. Новые полученные данные являются подтверждением эффекта уменьшения радиолокационного сигнала в зонах с высокой концентрацией и демонстрируют возможности использования данных спутникового радиолокационного зондирования для установления степени цветения внутренних водоемов и шельфовых областей морей. Андрианова Т.А. Вебер В.Л. Голубев В.Н. Ермаков С.А., Коннов И.Р., Лазарева Т.Н., Лучинин А.Г., Любавин Л.Я., Макаров Е.В.

Получены экспериментальные зависимости доплеровских сдвигов радиолокационного сигнала от условий наблюдения, выявлены особенности структуры ветрового волнения. Проведены два цикла измерений доплеровским радиолокатором (длина волны 8 мм) с ножевой диаграммой направленности антенны (1°x30°). Измерения с Молитовского моста через р. Ока в городе Нижний Новгород проводились неподвижным радиолокатором. Исследовалась зависимость ширины доплеровского спектра от угла падения. Обработка данных показала, что увеличение угла падения ведет к увеличению сдвига доплеровского спектра и незначительному уменьшению его ширины. Второй цикл измерений сделан на Нижегородской канатной дороге через р. Волга. Измерения проводились в режиме зондирования в надир при движении носителя над р. Волга. Целью эксперимента было изучение влияния движения радиолокатора на параметры

доплеровского спектра. Было показано, что при ориентации ножевой антенны радиолокатора параллельно направлению движения, ширина измеряемого доплеровского спектра является минимальной и достигает максимума при повороте на 90 градусов.

Исполнители: Караев В.Ю., Каневский М.Б., Мешков Е. Панфилова М.А. Титченко Ю.А.

Разработана аналитическая модель лидарного изображения уединенной нелинейной внутренней волны (ВВ) в предположении, что поле ВВ описывается решением уравнения Кортевега-де Вриза. Модель описывает изменения лидарного эхо-сигнала, обусловленные воздействием ВВ на пространственное распределение показателя обратного рассеяния воды и энергетические потери на трассе распространения сигнала. Установлены закономерности изменения толщины слоев мутности под воздействием нелинейных ВВ. Показано, что наряду со сжатием слоя, наблюдавшимся в натуральных экспериментах, может происходить его уширение в зависимости от полярности солитона и положения слоя мутности относительно пикноклина. Мутный слой расширяется, если он смещается к пикноклину и сжимается при удалении от него. Показано, что сдвиговое течение, изменяя полярность солитона, может приводить к существенному увеличению амплитуды эхо-сигнала, образующего изображение ВВ, и изменять его структуру. Выполнен расчет и проанализированы особенности лидарных изображений нелинейных внутренних волн с использованием реальных профилей гидрооптических и гидрологических характеристик в Бареевом море. Сачкова С.В.Сергеева Е.А.Сергиевская И.А.Степанушкина О.Б.Титов В.И, Долин Л.С.

Разработан алгоритм для определения площади обрушений по оптическим изображениям взволнованной водной поверхности. По экспериментальным данным получена зависимость площади обрушений от скорости ветра. Разработана модель образования изображений волн с учетом явления затенения волн и при различных условиях освещения рассеянным светом неба. Проведены предварительные натурные исследования углового распределения яркости неба в различных диапазонах оптического спектра. Казарова А.Ю.

Рассмотрена задача о выборе амплитудно-фазовых распределений (АФР) на элементах вертикальной антенной решетки для формирования узких звуковых пучков и фокусировки поля в вертикальном сечении подводного звукового канала. Для нахождения АФР была сформулирована и решена вариационная задача о максимизации отношения средних интенсивностей звукового поля внутри и вне выбранного участка сечения волновода. Было использовано также дополнительное ограничение на диапазон допустимых углов скольжения возбуждаемых антенной волн. Использованное ограничение позволяет получить решение в виде пучка, который распространяется, не касаясь дна. Это может оказаться полезным в отсутствие информации о параметрах грунта.

13.23 Теоретическое и экспериментальное исследование giro-усилителей мм диапазона длин волн для перспективных систем радиолокации и связи (0035-2014-0023) .

Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.В. Самсонов

Участники: А.А. Богдашов, И.Г. Гачев, Г.Г. Денисов, С.В. Мишакин, В.Ю. Иванов, В.В. Маслов, А.Ш. Фикс

Разработаны и исследованы в экспериментах мощные широкополосные усилители на основе giro-ЛБВ с уникальными параметрами. Для импульсной giro-ЛБВ получена выходная мощность до 160 кВт на частоте около 34 ГГц при ширине полосы более 7% и коэффициенте усиления около 20 дБ. В экспериментах с непрерывной giro-ЛБВ получена

выходная мощность около 8 кВт при мгновенной ширине полосы усиления 2.6 ГГц. Гиро-ЛБВ работает в режиме с 50%-ной рекуперацией энергии, позволяющей реализовать КПД до 30%. Достигнутая мощность на порядок превышает мощность известных широкополосных усилителей 8-мм диапазона длин волн.

Выполнен теоретический анализ возможности реализации гиро-ЛБВ на частоте 95 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для радиолокации высокого разрешения. В результате 3-мерного компьютерного моделирования подтверждена работоспособность данного гиро-усилителя на третьей гармонике циклотронной частоты, что в свою очередь определяет возможность использования несверхпроводящей магнитной системы.

13.24. Теоретическое и экспериментальное исследование ТГц источников СВЧ излучения и методов диагностики и обработки материалов (0035-2014-0024).

Научный руководитель Глявин М.Ю.

Разработан мощный компактный источник питания импульсного соленоида, позволяющий формировать в рабочей области СВЧ прибора магнитные поля величиной десятки Тл.

Энергетическая часть источника питания выполнена на элементной базе российского производства. В частности в нем использованы новейшие накопительные конденсаторы с самовосстанавливающимся диэлектриком 1100 мкФ 5 кВ и тиристорно-диодный коммутатор, рассчитанный на импульсный ток до 10 кА длительностью до 1 мс. Конструкция источника питания обеспечивает удобство и безопасность его эксплуатации.

Экспериментально исследован импульсный гиротрон с рекордными значениями мощности (200 кВт) и эффективности (выше 20%) на частоте 670 ГГц. На основании экспериментальных данных проведена оптимизация квазиоптического тракта транспортировки и ввода СВЧ мощности в плазменную камеру. Получен локализованный разряд в струе газа и начато измерение его характеристик.

Выполнено конструирование и изготовление гиротрона с расчетной частотой 330 ГГц и мощностью 1 МВт на базе импульсного соленоида с азотным охлаждением.

Разработан прототип непрерывного гиротрона для спектроскопических исследований, работающий на серии мод на первой и второй гармониках гирочастоты с частотами от 250 до 500 ГГц. При возбуждении последовательности мод получена генерация на уровне десятков Ватт с возможностью плавной перестройки частоты в пределах полосы генерации одной моды до 650 МГц. Отработана конструкция встроенного квазиоптического преобразователя и технология изготовления резонатора, обеспечивающая омические потери в стенках на уровне, не превышающем 30%. Теоретически исследованы возможности возбуждения высших гармоник с системами с улучшенными селективными свойствами за счет использования нескольких электронных потоков.

13.25 Исследование и разработка гигаваттных ЛОВ и систем сопряжения их с выходными трактами (0035-2014-0025).

Руководитель: д.ф.-м.н. Ковалев Н.Ф.

Исполнители: Ковалев Н.Ф., Гойхман М.Б., Громов А.В., Нечуев С.И., Палицин А.В.

Исследована взаимная связь электронных и циклотронных волн тонкостенного трубчатого электронного пучка. Исследовано влияние на эффективность переизлучения ряда факторов в том числе - неоднородность электродинамической системы и силовых

линий фокусирующего магнитного поля, встречных электронных пучков и т.д. Полученные результаты были использованы для разработки мощных релятивистских ЛОВ с циклотронным выводом энергии.

Обобщена качественная теория стационарных состояний тонкостенных сильнозамагниченных электронных пучков в каналах транспортировки на случай произвольного поперечного сечения. Теория позволяет оценивать влияние перекосов и несоосностей электронных пучков с каналами транспортировки на режимы генерации высокочастотного излучения мощных релятивистских ЛОВ. Расширены понятия предельного и федосовского токов на несоосные сильнозамагниченные пучки, что позволило сформулировать условия возникновения не осесимметричных виртуальных катодов.

14.26 Исследование особенностей ЭЦР разряда и приложений (0035-2014-0026).

Руководитель: к.ф.-м.н. Водопьянов А.В.

Лаборатория ионных источников (№122), Лаборатория прикладной физики плазмы (№123)

Исполнители: Бондаренко В.Г., Бродский Ю.Я., Викторов М.Е., Водопьянов А.В., Гитлин М.С., Голубев С.В., Дубинов И.Д., Изотов И.В., Казаков М.Ю., Мансфельд Д.А., Никишин А.И., Обушко А.С., Разин С.В., Сенников П.Г., Сидоров А.В., Скалыга В.А., Шлепнев С.П.

Методами численного моделирования определены спектральные характеристики электромагнитного шума, создаваемого мультипакторным разрядом в радиотехнических системах, в зависимости от частоты и геометрических параметров используемых линий передачи.

Развиты методы приближенного расчета порогов мультипакторного разряда между металлическими электродами, поверхности которых не параллельны между собой. Корректность метода подтверждена прямым численным моделированием разряда, возникающего между электродами спиральной антенны. Полученные результаты можно использовать для повышения электрической прочности систем спутниковой связи.

Рассмотрен новый нелинейный режим циклотронной неустойчивости, объясняющий сложные временные структуры стимулированного электромагнитного излучения, генерируемого в зеркальной магнитной ловушке, заполненной неравновесной плазмой ЭЦР разряда. Для режима характерна самомодуляция плазменного циклотронного мазера за счет когерентного взаимодействия двух распространяющихся навстречу друг другу мод, приводящая к пространственной модуляции усиления. Предложена простая теоретическая модель, позволяющая воспроизводить различные временные масштабы квазипериодических вспышек электромагнитного излучения и высыпающихся энергичных электронов, регистрируемых в лабораторной ловушке.

Проведены теоретические исследования процессов генерации волн в двухкомпонентной неравновесной плазме. Получены аналитические оценки инкрементов неустойчивостей двух главных электромагнитных мод: медленной и быстрой необыкновенных волн, возбуждаемых за счет анизотропии кинетической энергии горячих электронов и распространяющейся поперек магнитного поля. На основании аналитических расчетов показано, что наиболее быстро из всех возможных ЭЦ неустойчивостей развивается неустойчивость быстрой необыкновенной волны, распространяющейся в квазипоперечном направлении. В лабораторных условиях легко могут быть реализованы условия, способствующие быстрому включению неустойчивости на косо́й необыкновенной волне, что позволит заметно увеличить мощность одиночного

электромагнитного импульса. В слаборелятивистском приближении вычислено точное выражение для инкремента неустойчивости на быстрой необыкновенной волне для произвольно заданной функции распределения. В частности, был рассмотрен случай двухтемпературной плазмы с анизотропной функцией распределения по скоростям (с конусом потерь) и найден максимальный инкремент конусной неустойчивости в зависимости от угла распространения волны.

14.27. Исследования рассеяния и трансформации микроволнового и лазерного излучения в плазме. (0035-2014-0027)

Руководитель д.ф.-м.н. Шалашов А.Г.

Исполнители: Шалашов А.Г., Балакин А.А., Фрайман Г.М., Господчиков Е.Д., Буянова М.Н., Хусаинов Т.А., Смолякова О.Б., Шагалова О.А., Серебряков Д.М.

По направлению «Исследования процессов распространения, трансформации и рассеяния микроволнового излучения в теплой, турбулентной магнитоактивной плазме, удерживаемой в лабораторных и астрофизических магнитных ловушках» были получены следующие результаты. Определены параметры для оптимального сверхвысокочастотного (СВЧ) нагрева теплой турбулентной магнитоудерживаемой плазмы с плотностью выше критической с использованием линейной трансформации электромагнитных мод магнитоактивной плазмы в окрестности областей плазменного резонанса. На основе развитой теории линейного взаимодействия электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме найдено непротиворечивое объяснение низкой эффективности конверсии волновых пучков, систематически наблюдающейся во всех экспериментах по электронно-циклотронному нагреву плотной за критической плазмы в токамаках и стеллараторах, использующих линейную конверсию внешнего электромагнитного излучения в электростатические плазменные (бернштейновские) волны. С использованием метода эталонных задач существенно пересмотрен устоявшийся в литературе подход к оценке роли флуктуаций в процессе линейной трансформации вблизи поверхности плазменного резонанса. Установлено, что для реалистичных параметров флуктуаций плотности плазмы и магнитного потока, влиянием флуктуаций нельзя объяснить наблюдающуюся в современном эксперименте низкую эффективность нагрева плазмы. Показано, что вопреки сложившимся представлениям, основным фактором, препятствующим проникновению волнового поля сквозь область непрозрачности в окрестности поверхности плазменного резонанса, в условиях современного эксперимента являются новые геометрические эффекты, связанные с двойной кривизной тороидальных магнитных поверхностей. Эффективность «просачивания» электромагнитного излучения достигает максимума, когда волновой фронт пучка искривлен специальным образом; в установках с большим аспектным отношением оптимальная поверхность фазового фронта с высокой точностью совпадает с магнитной поверхностью, на которой выполняется условие плазменного резонанса. В отличие от флуктуационных эффектов, которые традиционно привлекались для объяснения низкой эффективности просачивания, геометрические эффекты могут быть скомпенсированы оптимальной фокусировкой волнового пучка на стадии проектирования системы ввода излучения, что позволит существенно повысить эффективность нагрева за критической плазмы в тороидальных магнитных ловушках (с 10% до 70% на примере недавно созданной системы ввода микроволнового излучения токамака FTU, Италия). Компенсация этих эффектов позволит существенно повысить эффективность нагрева плотной плазмы в условиях современного эксперимента.

По направлению «Исследования квантовых эффектов при электрон-ионных соударениях в сверхсильных электромагнитных полях в плазме» были получены

следующие результаты. В ходе численного моделирования электрон-ионных столкновений в сильных полях в рамках уравнения Шредингера было показано хорошее совпадение энергетических характеристик столкновений в квантовом и классическом пределах. В частности, согласно анализу спектра рассеянных электронов, распределение горячих электронов по энергиям имеет вид $1/W^{3/2}$, как и при классическом рассмотрении электрон-ионных столкновений. Это является важным результатом, свидетельствующим о правомерности классического описания даже в случае, когда характерный нелинейный масштаб задачи рассеяния сравним с длиной волны де Бройля электрона. Еще одним свидетельством эквивалентности классического и квантового подходов в условиях задачи является тот факт, что в распределении электронов по энергиям имеется характерная «отсечка» на частоте, соответствующей энергии, полученной электронами, рассеянными с максимальным изменением скорости. Кроме того, продемонстрировано наличие группировки электронов с образованием сгустков длительностью много меньшей периода лазерного поля. Это позволяет надеяться на эффективную генерацию сверхкоротких лазерных импульсов, вплоть до аттосекундной длительности, при обстреле плазменной мишени мощными лазерными импульсами. Полученный результат важен для определения оптимальных условий при генерации импульсов предельно короткой длительности в условиях рамановского рассеяния в плазме. Поскольку один из перспективных сценариев рамановской компрессии в плазме предусматривает переход ко все более плотной плазме, в которой влияние электрон-ионных столкновений значительно возрастает и требует все более точного описания.

Список публикаций по теме:

1. A. G. Shalashov and E. D. Gospodchikov. Theory of the ordinary and extraordinary mode coupling in fluctuating plasmas. *Plasma Phys. Control. Fusion*. V. 56. P. 125011 (2014)
2. A. G. Shalashov., E. D. Gospodchikov, T.A. Khusainov, Theory of the O-X mode coupling in fluctuating plasmas. 9th Int. Workshop “Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications”, Nizhny Novgorod, July 24-30, 2014. Nizhny Novgorod: Institute of Applied Physics RAS, 2014. P.111.
3. Е. Д. Господчиков, Т.А. Хусаинов, А.Г. Шалашов Влияние флуктуаций плотности плазмы на процесс линейной трансформации электромагнитных волн электронного циклотронного диапазона частот в магнитоактивной плазме // Тезисы Докладов ХLI Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС г. Звенигород, 10-14 февраля 2014 года. ЗАО НТИЦ «ПЛАЗМАИОФАН» с.108 (2014)
4. Д.М. Серебряков, А.А. Балакин, Г.М. Фрайман. Электрон-ионные столкновения в сильных электромагнитных полях в квантовом пределе. *Физика плазмы* т.40, с.807-814 (2014)

14.28. Исследование волн, неустойчивостей и структур в низкотемпературной плазме, включая моделирование волновых явлений в космической плазме. (0035-2014-0028)

Руководитель: д.ф.-м.н. Костров А. В.

Сроки выполнения: 01.01.2014 –31.12.2016.

Экспериментально исследована динамика формирования резонансных конусов электромагнитных источников в магнитоактивной плазме в свистовом и верхнегибридном диапазонах частот при быстром включении высокочастотного сигнала, подводимого к излучающей антенне. Показано, что после вначале в диаграмме направленности антенны формируются широкие максимумы излучения в нерезонансных направлениях, которые в дальнейшем обужаются, а их направление приближается к резонансному. Пока

формирование резонансных конусов не закончено, наблюдается тонкая структура резонансных конусов в виде вторичных максимумов излучения. Отмечено, что формирование резонансных конусов в верхнегибридном диапазоне продолжается почти на порядок дольше, а относительная амплитуда вторичных максимумов излучения в этих условиях почти на порядок больше, чем в свистовом диапазоне. Показано, что это различие в формировании резонансных конусов связано с эффектами пространственной дисперсии плазмы, доминирующими в верхнегибридном диапазоне частот.

16.29. Теоретическое исследование электромагнитных свойств плазмы магнитосфер Солнца, планет и Земли, космической и астрофизической плазмы и плазмоподобных сред. (0035-2014-0029)

Руководитель: чл.-корр. РАН Вл.В. Кочаровский

Отдел астрофизики и физики космической плазмы

Исполнители: С.С. Давыденко, В.В. Зайцев, Е.Я. Злотник, В.В. Кочаровский, С.В. Тарасов

На основе точных решений статических уравнений Власова-Максвелла и аналитического расчёта синхротронное излучение, создаваемое оптически тонкими самосогласованными токовыми структурами в релятивистской бесстолкновительной плазме с функциями распределения частиц в виде суммы нескольких степенных составляющих, показано, что его спектр в зависимости от угла наблюдения может иметь различное число степенных компонент, доминирующих в определенных частотных интервалах [1-3]. Это число может быть больше числа степенных компонент в энергетическом, т.е. усредненном по углам, распределении частиц, и тогда часто используемое приближение изотропного распределения частиц во внешнем магнитном поле оказывается некорректным для описания и интерпретации синхротронного излучения самосогласованных токовых структур в космической плазме.

Установлено, что частотно-угловой спектр синхротронного излучения, выходящего из самосогласованных токовых структур (без внешнего магнитного поля) в релятивистской бесстолкновительной плазме с полистепенным распределением частиц, может содержать изломы, экстремумы и другие особенности, отсутствующие в излучении ансамбля тех же частиц, у которых распределение импульсов усреднено по углу и которые помещены во внешнее однородное магнитное поле [1-3]. Продемонстрировано также, что особенности в виде изломов и экстремумов спектра синхротронного излучения характерны для обобщенных токовых слоев Харриса и филаментов Беннетта с экспоненциально-степенным энергетическим распределением частиц при наблюдении под достаточно малым углом к направлению тока в этих структурах. Наблюдение указанных особенностей для тех или иных астрофизических объектов будет свидетельствовать о формировании синхротронного излучения частицами, образующими самосогласованную магнитостатическую структуру, а не пришедшими в нее из внешних областей и обладающими несамосогласованным с ней энергетическим распределением с меньшим числом степенных компонент, как это может иметь место, например, для космических лучей.

1. Vl. Kocharovsky, V. Kocharovsky, V. Martyanov, S. Tarasov , “The breaks and the hidden components in the power-law spectra of synchrotron radiation of the self-consistent current structures”, *Astronomy & Astrophysics*, 2014 (submitted).

2. В.В.Кочаровский, Вл.В.Кочаровский, В.Ю.Мартьянов, «Точно решаемые задачи в физике самосогласованных токовых слоёв» // В электронном сборнике статей «Современные достижения в плазменной гелиогеофизике».- М.: ИКИ РАН, 2014 (направлена в электронной форме).

3. S.V. Tarasov, V.I.V. Kocharovskiy, V.V. Kocharovskiy, V.Yu. Martyanov, “Spectral and angular features of synchrotron radiation of the self-consistent current sheets” // Program of the 41st EPS Conference on Plasma Physics (Berlin, June 23 – 27, 2014).

Предложен механизм субсекундных квазипериодических пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечной арки в виде эквивалентного электрического контура. Механизм объясняет период осцилляций, их высокую добротность, $Q \geq 10^3$, синфазность пульсаций на разных частотах и наблюдаемые зависимости частоты осцилляций от потока терагерцового излучения. Решено нелинейное уравнение для осцилляций электрического тока и найдено установившееся значение амплитуды осцилляций. Предложенная модель пульсаций свидетельствует в пользу плазменного механизма субтерагерцового излучения.

1. V.V. Zaitsev, A.V. Stepanov, P. Kaufmann, On the Origin of Pulsations of Sub-THz Emission from Solar Flares, *Solar Phys* (2014), DOI 10.1007/s11207-014-0515-9

Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра. Эта структура в виде квазигармонических параллельно дрейфующих полос повышенного излучения обязана своим происхождением плазменному механизму генерации на уровнях двойного резонанса, где плазменная частота близка к гармоникам гирочастоты электронов. Показано, что заметная поляризация наблюдаемого на Земле радиоизлучения может возникнуть, только если оно является результатом рассеяния (в том числе, индуцированного) плазменных волн ионами или слияния этих волн с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона. В этих условиях обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна оказывается в зоне непрозрачности и не покидает источник. Указаны возможные причины деполяризации радиоизлучения с зебра-структурой, которое выходит из источника полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны.

1. E.Ya. Zlotnik, V.V. Zaitsev, A.T. Altyntsev, On Polarization of the Zebra Pattern in Solar Radio Emission, *Solar Phys* (2014) 289:233–249, DOI 10.1007/s11207-013-0327-3

Построена трёхмерная модель полей и токов, возникающих в плоской проводящей атмосфере в результате одиночного электрического разряда. Разряд описывается локализованным импульсным сторонним током, пространственно-временные параметры которого могут соответствовать различным типам тропосферных разрядов (внутриоблачному разряду, разряду облако–земля) либо разрядам в мезосфере (спрайтам). Временной профиль разрядного тока учитывает наличие быстрой и медленной компонент, в случае разряда облако–земля соответствующих стадиям возвратного удара и непрерывного тока, направление разрядного тока произвольно. Модель основана на численном решении уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области (FDTD) и позволяет в рамках единого подхода описать как соответствующий быстрой компоненте разряда электромагнитный импульс, так и последующую квазистатическую релаксацию возмущения пространственного заряда, формирующегося в основном медленной компонентой тока. При анализе полей молниевых разрядов модель учитывает возмущение проводимости в окрестности грозового облака произвольной формы. В тропосфере и мезосфере электрическая проводимость экспоненциально растёт с высотой, выше мезопаузы профиль проводимости выбирается в соответствии с известными моделями ионосферы (в частности, IRI и MSIS-E-90). Проанализирована зависимость характеристик электромагнитного импульса и последующего всплеска квазистатического электрического поля от пространственно-временных параметров разрядного тока, возмущения электрической проводимости внутри грозового облака и расстояния до молниевых разряда. Модель позволяет определить ряд важных параметров компонент разрядного тока из сопоставления результатов расчётов с данными наблюдений электромагнитного и квазистатического полей и оценить вклад импульсных тропосферных источников в формирование глобальной атмосферно-ионосферной токовой

системы.

16.30. Спектральные радиоастрономические исследования на миллиметровых и субмиллиметровых волнах. (0035-2014-0030)

Научный руководитель темы: д.ф.-м.н. А.В. Лапинов

Отдел радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии

Исполнители:

1. Зинченко И.И., д.ф.-м.н., зав. отд. 180
2. Кисляков А.Г., д.ф.-м.н., г.н.с.
3. Пирогов Л.Е., к.ф.-м.н., с.н.с. отд. 180
4. Лебский Ю.В., с.н.с.
5. Бубнов Г.М., м.н.с.
6. Троицкий Н.Р., м.н.с.
7. Трофимова Е.А., м.н.с.
8. Яворовская А.И., м.н.с.
9. Андриянов А.Ф., вед.констр. отд.180
10. Шкаев А.П., вед.констр. отд.180
11. Носова Е.В., констр. 1-й к.
12. Землянуха П.М., ст. лаб.-иссл. отд.180
13. Французова И.П., Техник 1 к.

Содержание работы: Детальные исследования областей звездообразования на миллиметровых и субмиллиметровых волнах, а также поиск вариаций фундаментальных констант на основе прецизионной радиоастрономической и лабораторной спектроскопии молекул.

Результат выполнения работы

Получены новые наблюдательные данные о межзвездных облаках и формирующихся в них протозвездных объектах большой массы, сделан ряд оценок относительно физических характеристик, динамики и химического состава газовой среды в областях звездообразования.

Разработаны программы на основе языка Python и пакета MIRIAD для комбинирования данных наблюдений на интерферометре и на одиночной антенне. Комбинирование производится путем преобразования карт, полученных на одиночной антенне, в функции видности и их последующей обработки совместно с данными интерферометра. Кроме того, на основе языка Python разработаны программы для аппроксимации многокомпонентных спектров, таких, например, как спектр $N_2H^+(3-2)$, состоящий из 38 компонент сверхтонкой структуры.

Проведены наблюдения области образования массивных звезд S255IR в линиях различных молекул на 30-м радиотелескопе Института миллиметровой радиоастрономии в Испании. С помощью разработанных процедур эти данные были скомбинированы с ранее полученными данными наблюдений на интерферометре SMA, что позволило исследовать распределение излучения в этих линиях с высоким угловым разрешением без потери информации о низких пространственных частотах.

Проведен анализ данных молекулярных наблюдений в туманности NGC7538 (в сочетании с данными ИК наблюдений). Получены оценки масс протозвездных конденсаций, которые составляют несколько сотен масс Солнца. Показано, что эти конденсации находятся в вириальном равновесии.

На радиотелескопе APEX в Чили проведен поиск линии HeH^+ (эта молекула пока не обнаружена в космосе, но считается важным зондом ранней Вселенной) в спектре

далекого квазара ($z = 4.6$). При частоте покоя перехода около 2 ТГц из-за красного смещения линия попадает в диапазон 350 ГГц. Ранее нами была зарегистрирована возможная линия этой молекулы в другом квазаре на $z = 6.4$. Наблюдения продолжаются.

С целью выбора места для создания миллиметровой обсерватории проведены исследования астроклимата на миллиметровых волнах в различных регионах. В частности, при помощи созданного в ИПФ измерителя атмосферного поглощения проводились регулярные измерения прозрачности атмосферы на северном Кавказе. Построены статистические распределения величины атмосферного поглощения в разные сезоны.

В области исследования возможных вариаций фундаментальных констант написана заявка и проведены первые измерения торсионно-вращательных переходов в линиях метанола при помощи радиотелескопа IRAM-30m в темном молекулярном облаке L1498. Для этой цели были отобраны наиболее сильные переходы в диапазоне 3 и 2 мм, обладающие разной чувствительностью к вариациям в отношении массы электрона к массе протона, m_e/m_p . При помощи созданного субдоплеровского спектрометра выполнены повторные лабораторные измерения данных переходов и определены значения их лабораторных частот с точностью лучше 1 кГц. Окончательный вывод о верхнем пределе относительно вариаций m_e/m_p будет сделан после дополнительных радиоастрономических измерений.

36.31. Разработка модульных технических и программных средств с использованием новых стандартов (0035-2014-0031).

Научный руководитель Бабер И. С.

Исполнители: Карпов Н.И., Митрофанов О.Г., Марьев С.П., Пегеев В.П.

1) Разработка вариантов концепции автоматизированной системы управления системой накопления и коммутации электрической энергии лазерной установки, оценка необходимых ресурсов на их реализацию и обеспечение функционирования, определение порядка приёмки и условий испытаний системы.

2) Разработка проектных решений по системе и её частям, определение функций подсистем, определение состава комплексов задач, функций и параметров основных программных средств, требований к визуализации и регистрации информации.

3) Выбор состава и разработка спецификации технических и программных средств системы, разработка функционально- алгоритмической структуры системы, алгоритмов управления объектом автоматизации.

4) Разработка информационно – математического обеспечения системы: перечня входных и выходных сигналов и данных, определение типов сигналов, диапазонов изменения, требований к точности и периодичности измерения, разработка видеокладов операторских панелей.

75.32. Исследование нелинейных волновых процессов в геофизической гидродинамике. (0035-2014-0032)

Научный руководитель д.ф.-м.н. Троицкая Ю.И.

Сроки выполнения: 2014-2017

На основе прямого численного моделирования трансформации внутренних уединенных волн на донном уступе в двухслойной жидкости дана классификация режимов диссипации их энергии.

Определен универсальный параметр, равный отношению расстояния между слоем скачка плотности и положением дна после уступа h_2+ к амплитуде падающей волны a_1 . В порядке убывания универсального параметра выделены пять режимов диссипации энергии волн (слабонелинейный режим, режим сдвиговой неустойчивости, образование вихрей, режим проникновения воды из нижнего слоя через уступ (режим «болуса») и режим полного отражения). Показано, что потери волновой энергии не превышают 50% от первоначальной энергии падающей волны, достигая максимума в режиме образования вихрей.

Предложен новый механизм возникновения «волн-убийц» на встречных струйных течениях в результате нелинейной самомодуляции захваченных волн. Построена нелинейная модовая теория для волн на встречных струйных течениях, использующая приближенное разделение переменных для двумерной моды. Получены аналитические формулы для ряда "ключевых" нелинейных решений, включая локализованные трехмерные волновые пакеты на глубокой воде (солитоны захваченных волн). Адекватность теории продемонстрирована с помощью численного решения исходных уравнений потенциальной гидродинамики. В частности, показана устойчивость солитонов захваченных волн., Горшков Кинстантин Александрович, Долина Ирина Сергеевна.

Выполнена реконструкция инструментально измеренных (запись смещения поверхности в точке) событий аномально высоких волн («волн-убийц») с использованием численного расчета уравнений огибающей для эволюции в пространстве. Впервые продемонстрирована адекватность такой реконструкции (до времен менее или порядка 10 мин) посредством расчета исходных уравнений гидродинамики, где начальные условия (до момента экстремального события) заданы по результатам реконструкции. Для примера "волны-убийцы" в Северном море результат моделирования воспроизводит инструментальную запись с удовлетворительной точностью. Слюняев А.А., Сергеева А.В., Баландина Галина Николаевна, Слюняев Алексей Викторович, Соустова Ирина Анатольевна, Талипова Татьяна Георгиевна, Якубович Евсей Исаакович.

Разработан и апробирован в натуральных условиях метод определения характеристик ветрового волнения и некоторых параметров подповерхностных процессов с помощью судового навигационного радиолокатора с цифровой регистрацией данных. Зондирование осуществляется на горизонтальной поляризации излучения под скользящими углами. Данный метод внедрен в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Чёрного и Азовского морей». Папко Владислав Владимирович, Дружинин Олег Александрович, Ермакова Ольга Станиславовна, Казаков Василий Иванович, Кандауров Александр Андреевич, Баландина Галина Николаевна, Баханов Виктор Владимирович, Власов Сергей Николаевич.

Разработана высокочувствительная нелинейно-акустическая методика для наблюдения макро-скопических проявлений наномасштабных медленных спонтанных процессов в гранулированной среде. Наблюдения объяснены бистабильностью находящихся на поверхностях гранул микроконтактов, для переключения которых между положениями равновесия достаточно энергии тепловых флуктуаций. Матвеев Лев Александрович, Пелиновский Ефим Наумович, Пискунова Лилия Владимировна, Радостин Андрей Викторович.

В лабораторных условиях большого термостратифицированного бассейна ИПФРАН с высокоскоростным ветро-волновым каналом, исследована зависимость от скорости ветра сечения обратного рассеяния микроволнового излучения X-диапазона на прямой и перекрестной поляризации. Баханов Виктор Владимирович, Власов Сергей Николаевич, Горшков Кинстантин Александрович, Долина Ирина Сергеевна, Кемарская Ольга Николаевна, Копосова Елена Викторовна, Коротков Дмитрий Петрович, Лисина Ольга Николаевна, Сергеев Даниил Александрович Троицкая Юлия Игоревна, Шишкина

Ольга Дмитриевна, Ермошкин Алексей Валерьевич.

77.33. Разработка средств и методов микроволновой диагностики и нелинейно динамического моделирования и их применение для исследования окружающей среды и климата. (0035-2014-0033)

Руководитель: Фейгин Александр Маркович

Сроки выполнения: 01.01.2014 – 31.12.2016.

Успешно испытан лабораторный образец микроволнового спектрометра для дистанционного контроля термической структуры тропосферы. Модернизированы и испытаны лабораторные образцы мобильных радиометрических комплексов для термического и озонметрического зондирования средней атмосферы.

Проведена экспериментальная кампания по исследованию процессов конвекции в тропосфере. На основании данных микроволнового зондирования проведен анализ структуры и устойчивости нижней атмосферы во время аномально теплой зимы 2013-2014 г.г.

Разработан и реализован программно алгоритм построения нелинейных климатических мод путем анализа пространственно распределенных временных рядов различных климатических характеристик.

На основе использования современной трехмерной химической-транспортной модели выполнены и впервые одновременно сопоставлены с соответствующими данными спутниковых измерений расчеты тропосферного содержания оксида углерода (CO) и аэрозоля над территориями Сибири и российского Дальнего Востока с учетом их источников, определяемых растительными пожарами. Обнаружено, что для достижения наилучшего количественного согласия с данными измерений эмиссии аэрозоля, рассчитанные при использовании типичных факторов эмиссий из литературы, должны быть увеличены соответственно в 2.2 и 2.8 раза для случаев лесных и травяных пожаров относительно эмиссий CO.

Опубликованы 2 статьи в журналах, учитываемых в базах данных Web of Science и Scopus:

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы, радиофизика и электроника

Публикации

1. Konovalov, I. V., Berezin, E. V., Ciais, P., Broquet, G., Beekmann, M., Hadji-Lazaro, J., Clerbaux, C., Andreae, M. O., Kaiser, J. W., and Schulze, E.-D.: Constraining CO₂ emissions from open biomass burning by satellite observations of co-emitted species: a method and its application to wildfires in Siberia // Atmospheric Chemistry and Physics - v.14. p. 10383-10410. -2014.

2. М.Ю. Куликов, А.А. Красильников, А.А. Швецов, Л.И. Федосеев, В.Г. Рыскин, Л.М. Кукин, Д.Н. Мухин, М.В. Беликович, Д.А. Караштин, Н.К. Скалыга, А.М. Фейгин: Одновременные микроволновые измерения озона и температуры средней атмосферы с поверхности Земли. Известия ВУЗов - Радиофизика, 2014 (принята к печати).

80.34. Актуальные проблемы электродинамики атмосферы. (0035-2014-0034)

Руководитель: Мареев Евгений Анатольевич

Сроки выполнения: 01.01.2014 – 31.12.2016.

Разработаны модели генераторов глобальной электрической цепи: конвективного генератора, облаков с электрической структурой, грозовых разрядов. Получены и проанализированы результаты экспериментов по приему и регистрации электромагнитных полей, тока и радиоизлучения грозовых разрядов на базе многофункциональных экспериментальных комплексов. Проведен очередной цикл натурных экспериментов по разнесенному приему вариаций электрического поля, тока и радиоизлучения грозовых разрядов, обновлен банк данных результатов измерений. На основе полученных экспериментальных данных исследованы спектральные характеристики флуктуаций низкочастотных электрического поля. Разработана методика мониторинга конвективных атмосферных электрических явлений. Построена модель крупномасштабной электродинамики грозового облака. Усовершенствована плазмохимическая модель воздействия высотного разряда на состав атмосферы.

Выполнение фундаментальных научных исследований по теме (проекту) **"Разработка и создание твердотельных лазерных систем с высокой средней мощностью и их компонентов."** (0035-2014-0107)

Для создания мощного источника пикосекундных импульсов с частотой следования до 1 кГц на дисковых активных элементах из Yb:YAG разработан дизайн активного элемента с кладдингом, позволяющим существенно уменьшать паразитную генерацию излучения. Изготовление таких элементов предлагается осуществлять методом напайки на Yb:YAG/YAG активный элемент кладдинга из Cr:YAG. В качестве материала напайки будет использован Cr:GGG, обладающий очень близкими к YAG материальными характеристиками, но меньшую температуру плавления.

Выполнено теоретическое и экспериментальное исследование коэффициента усиления, фазовых и поляризационных искажений излучения в дисковом Yb:YAG и композитном Yb:YAG/YAG активных элементах при торцевой накачке в нелазерных условиях (under non-lasing conditions).

Разработаны различные виды изоляторов Фарадея из керамик тербий-галлиевого граната и тербий-алюминиевого граната, обеспечивающие степень изоляции 30 дБ при киловаттном уровне мощности лазерного излучения, что позволяет их использовать в разрабатываемом лазере.

(Войтович А.В., Вяткин А.Г., Железнов Д.С., Кузнецов И.И., Кузнецов И.В., Лучинин Г.А., Миронов Е.А., Мухин И.Б., Палашов О.В., Перевезенцев Е.А., Снетков И.Л., Старобор А.В., Эктов Н.П.)

4.2. Федеральные целевые научно-технические программы

4.2.1. «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2013–2020 годы»

Мероприятие 1.3 Шифр лота 2014-14-579-0178. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0107 «Разработка новых инструментальных средств дистанционного зондирования температуры нижней и средней атмосферы с поверхности Земли»

Руководитель д.ф.-м.н. Фейгин А.М.

Сроки выполнения: 11.2014-31.12.2016.

Аннотационный отчет

Произведены обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы и патентные исследования, затрагивающие научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИЭР. Разработана общей концепция экспериментального образца мобильного микроволнового комплекса спектрорадиометров для мониторинга термической структуры атмосферы нижней и средней атмосферы в диапазоне высот 0-55 км, работающего в диапазоне 5-ти миллиметровой полосы излучения/поглощения молекулярного кислорода. Разработан общий алгоритм автоматизации процесса проведения непрерывных измерений. Разработана методика решения обратной задачи восстановления температурного профиля в реальном времени по результатам измерений яркостной температуры атмосферы с помощью разрабатываемого комплекса.

- 1) Рациональное природопользование,
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы,
- 3) физические и химические процессы в атмосфере, радиофизика и электроника, акустика.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0055. шифр ФЦП 2014-14-579-0052-2603. «Разработка методов и создание экспериментального образца комплекса многочастотной радиолокации для мониторинга океана и внутренних водоемов», (шифр работы, присвоенный организацией «Аракс-А», Тема 8814982).

Научный руководитель С.А. Ермаков

Аннотационный отчет

Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках прикладных научных исследований. Проведены патентные исследования. Выбраны и обоснованы направления исследований, методов и средств проведения лабораторных и натурных (полевых) испытаний. Выполнен анализ существующих математических моделей вариаций характеристик ветровых волн в присутствии внутренних волн и течений, штилевых зон, пленок ПАВ. Проведен анализ существующих математических моделей отображения вариаций характеристик ветровых волн в присутствии внутренних волн и течений, штилевых зон, пленок ПАВ в характеристиках радиолокационных сигналов различных участков СВЧ-диапазона. Выполнен анализ результатов спутниковых радиолокационных наблюдений океана и внутренних водоемов для выявления особенностей проявления внутренних волн, штилевых зон, пленок ПАВ на радиолокационных изображениях. Разработаны принципы многочастотной радиолокации для исследования характеристик ветровых волн и мониторинга океана и внутренних водоемов. Разработаны технические принципы построения КМРЛ для МО и ВВ. Разработан макет модуля приемника (ММПР), макет модуля передатчика (ММП), макет модуля цифровой обработки сигналов (ММЦОС). Разработаны Программы и методики лабораторных испытаний ММПР, ММП, ММЦОС.

Выполнен промежуточный отчет о НИР. Разработана отчетная документация в соответствии с требованиями технического задания. Кроме того, за счет внебюджетных источников: проведены сбор и первичная обработка спутниковых изображений поверхности океана и внутренних водоемов для выявления особенностей проявления внутренних волн и течений, штилевых зон, пленок ПАВ на радиолокационных изображениях; изготовлены ММПР, ММП, ММЦОС; проведены лабораторные испытания ММПР, ММП, ММЦОС; разработаны методы контактных, оптических и акустических измерений характеристик ветровых волн и приповерхностного слоя для использования во

время натурных (полевых) испытаний. Проводилось оснащение рабочих мест исследователей и разработчиков и ресурсное обеспечение экспериментальных исследований.

- 1) рациональное природопользование
- 2) технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН: физические процессы в океане.

Соглашение № 14.604.21.0065 от 27 июня 2014 г. с Минобрнауки России. «Разработка компактного нейтронного источника высокой интенсивности для бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний» (Тема № 8804981 «БНЗТ»).

Руководитель: к.ф.-м.н. В.А. Скалыга (2014 – 2016)

Целью выполнения проекта является создание необходимого научно-технического задела для разработки технологии создания компактных нейтронных источников с высокой интенсивностью, достаточной для успешного их использования в медицинских приложениях, а именно для бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний. Для достижения поставленной цели будет разработан макет компактного нейтронного источника высокой интенсивности, произведено сравнение разработанного устройства с ближайшими аналогами, произведены патентные исследования. Это потребует решения ряда задач тесно связанных друг с другом. В рамках первого этапа проекта были решены следующие задачи:

- Разработана вакуумная система макета компактного нейтронного источника.
- Разработана система ввода СВЧ излучения макета компактного нейтронного источника со следующими параметрами: система обеспечивает коэффициент прохождения излучения в форме гауссова пучка с частотами 37,5 и 75 ГГц и мощностью до 200 кВт через нее не ниже 95%; система обеспечивает защиту от попадания плазмы из магнитной ловушки на входное кварцевое СВЧ-окно; система обеспечивает эффективное согласование излучения с плазмой внутри магнитной ловушки и нагрев электронной компоненты в условиях электронного циклотронного резонанса.

Количество исследователей по теме 11, из них: со степенью магистра – 1, со степенью кандидата наук – 5, со степенью доктора наук – 1, исследователей в возрасте до 39 лет – 6.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ – Науки о жизни.

Критическая технология РФ - Биомедицинские и ветеринарные технологии.

Научное направление, определенное Уставом института – Электродинамика плазмы.

4.2.2. Федеральная целевая программа № 1,

Государственный контракт № 12411.14.00099.09.012 от 03.08.12, «Разработка технологий комплексных акустических и гидродинамических испытаний на основе крупномасштабных моделей на оборудованных стационарных и мобильных полигонах».

Научный руководитель Суворов А.С.

Секреты производства-оформленные ноу-хау:

- расчетно-экспериментальная технология совместного использования крупномасштабных моделей и численного моделирования для определения характеристик шумоизлучения корпусов ПЛ и влияния на них конструкции корпуса

- технология гидродинамических испытаний с использованием буксируемых крупномасштабных моделей;

- технология проведения аэродинамических измерений, направленных на верификацию численных моделей формирования источников гидродинамического шума полезная модель:

- устройство для ввода твердых частиц в потоки газа в аэродинамических каналах.

1) *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Безопасность и противодействие терроризму*

2) *Критическая технология РФ: Базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии*

3) *Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН: Акустика*

4.3. Работы по программам фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук

4.3.1. Программа фундаментальных научных исследований Президиума РАН 19П «Фундаментальные проблемы нелинейной динамики в математических и физических науках»

Тема №5171043 «Динамика-1» «Нейродинамика и динамика сложных систем»

Руководитель В.И. Некоркин

Сроки выполнения: 2012–2014

Теоретически и экспериментально изучена синхронизация высших порядков в системе осцилляторов с импульсными запаздывающими связями. Построены зоны синхронизации в пространстве параметров. Ширина зон зависит линейно от силы связи и периодически от времени запаздывания. Показано, что синхронизация возможна при сколь угодно больших величинах запаздывания, что было подтверждено экспериментально вплоть до сотен периодов собственных колебаний. Установлено, что в определенных интервалах величин запаздывания может сосуществовать несколько различных устойчивых режимов синхронизации одного порядка. Данный эффект является новым и ранее в теории синхронизации описан не был. Изучение влияния запаздывающих связей на режимы синхронизации высших порядков имеет большое значение для понимания процессов в нейронных сетях мозга и физических системах, в которых возникает задача синхронизации импульсов.

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

НН ИПФ – Радиофизика и электроника, акустика

Тема №5181043 «Динамика-2» «Разработка симуляторов живых систем, моделирование динамических режимов их функционирования»

Руководитель В.Г. Яхно

Сроки выполнения: 2012–2014

Предложен способ спектральной оценки неравномерных временных рядов ритмограммы сердечного ритма, который позволяет с достаточной полнотой проводить их дальнейший спектральный анализ. Проблема связана с тем, что известные методы оценки спектра ритмограмм основаны на получении спектра равномерных рядов. Хотя качество таких методов оказывается достаточным при использовании квазиравномерных ритмограмм, в случае динамичных изменений сердечного ритма, вызванных нормальным функционированием в социальной среде, такие подходы могут давать некорректные результаты. Работоспособность нашего подхода оценки неравномерных временных рядов ритмограммы сердечного ритма продемонстрирована на экспериментальных данных.

Рассмотрены варианты методов цветовой сегментации и семантического описания изображений в задаче распознавания «изображений для взрослых». Предложен метод построения адаптивной цветовой модели человеческой кожи, основанный на использовании информации о найденных на изображении лицах. Рассмотрена возможность использования семантических признаков, получаемых при помощи разработанных авторами нейроподобных детекторов атрибутов лица, для осуществления более подробной классификации изображений такого рода. ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

НН ИПФ – Радиофизика и электроника, акустика

Тема № 5191043 «Динамика-3» «Динамический хаос и структуры в гидродинамических системах»

Руководитель: В.П. Реутов

Сроки выполнения: 2012-2014

Экспериментально обнаружена мультивариантность сценариев перехода к пространственно-однородному режиму генерации роликовых структур при параметрическом возбуждении капиллярных волн на поверхности вибрирующего слоя вязкой жидкости. Разные сценарии перехода к однородному состоянию характеризуются чередованием качественно различных конфигураций доменов сложной формы и реализуются в зависимости от начальных условий, заданных на границах кюветы. Построена феноменологическая модель параметрического возбуждения волн в среде с большими потерями, описывающая наблюдаемые эффекты как конкуренцию доменов с различной ориентацией роликов.

ПН РФ – Рациональное природопользование

КТ РФ – Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

НН ИПФ – Физические процессы в океане; Физические и химические процессы в атмосфере.

НИР № 5221041 «Динамика-6» «Исследование когерентного параметрического взаимодействия волновых полей в резонансных средах».

Научный руководитель: д.ф.-м.н. М. Д. Токман

Теретически и экспериментально исследован параметрический эффект взаимного влияния оптических и терагерцовых импульсов при их совместном распространении в нелинейных электрооптических кристаллах. Показано, что изменение величины

терагерцового поля приводит не только к изменению энергии оптического импульса, но и к его спектральному сдвигу. Использование при регистрации оптического излучения фильтров (или детекторов) с резкой частотной зависимостью пропускания (или чувствительности) позволяет реализовать новый метод когерентного детектирования терагерцового излучения. Для предложенного метода предсказана и продемонстрирована чувствительность, существенно превышающая чувствительность стандартного метода электрооптического стробирования.

Предложен авторезонансный механизм формирования инвертированных распределений по уровням Ландау для дираковских электронов в графене и топологических изоляторах (ТИ), основанный на эффекте нелинейного захвата. Показано, что для минимальных на сегодняшний день констант релаксации энергетический спектр с «разрывом» в несколько уровней Ландау может быть сформирован при помощи существующих полупроводниковых каскадных лазеров. На основе развитого метода описания релаксации в квантовых системах построена теоретическая модель релаксационной динамики циклотронного возбуждения в двумерном электронном газе. Получено полное согласие модели и результатов экспериментов по возбуждению электронов в системе квантовых ям на поверхности GaAs терагерцовым импульсом.

Критические технологии: Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Приоритетные направления развития науки: Информационно-телекоммуникационные системы.

Направление работ института: Физика конденсированных сред, – оптика и лазерная физика.

НИР № 5981041 «Динамика-5» «Структурные особенности самовоздействия трехмерных волновых пакетов»

Научный руководитель: академик А. Г. Литвак, зам. к.ф.-м.н. В. А. Миронов

В рамках направления «Физика плазмы» исследовалась возможность возбуждения и поддержания запутанного состояния в системе параметрически связанных квантовых осцилляторов в поле накачки на удвоенной частоте. Найдена волновая функция изолированной системы двух осцилляторов в условиях параметрической неустойчивости в вырожденном режиме, описывающая перепутанные состояния. Рассмотрено влияние тепловых шумов на существование запутанного состояния. Показано, что запутанное состояние формируется при температуре резервуара меньше критической, определяемой инкрементом параметрической неустойчивости.

Критические технологии: Технологии новых и возобновляемых источников энергии.

Приоритетные направления развития науки: Энергетика и энергосбережение.

Направление работ института: Электродинамика плазмы. Физика плазмы.

Тема 5201042 «Динамика-4» «Анализ поведения сложных систем по временным рядам»

Руководитель – д.ф.-м.н. Фейгин А. М.

Срок исполнения 2014 г.

Разработан эмпирический подход к созданию оптимальных моделей климатической динамики. В основе подхода лежит построение низкоразмерной стохастической модели оператора эволюции путем прямого анализа пространственно распределенных временных рядов. На серии модельных примеров показана способность

таких моделей описывать ключевые динамические свойства системы, ответственные за наблюдаемые режимы поведения. Продемонстрированы предсказательные свойства моделей применительно как к прогнозу критических переходов – резких качественных изменений поведения – в динамике климатических моделей различной сложности, так и к прогнозу климатических индексов по данным климатического мониторинга. Выведен байесов критерий оптимальности модели, позволяющий выбрать модель, сложность которой наиболее адекватна анализируемой выборке данных. Ключевым шагом разработанного подхода является конструирование низкоразмерного базиса фазовых переменных модели по временным рядам, определенным на пространственной сетке. Для этой цели предложены новые методы разложения данных, основанные на выделении пространственно-временных и/или нелинейных мод, вносящих принципиальный вклад в наблюдаемую динамику.

- 1) Рациональное природопользование,
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы,
- 3) физические и химические процессы в атмосфере, радиофизика и электроника, акустика.

Тема №523.1 «Динамика-7» «Локализованные волновые структуры в нелинейных неоднородных средах: эволюция и взаимодействие».

Руководитель Таланов В.И.

Сроки выполнения: 2012–2014 гг.

Нелинейная динамика в модели лесных пожаров

Модель лесных пожаров на двумерных и трехмерных сетях клеточных автоматов рассмотрена с использованием новой методологии исчисления бесконечно малых и бесконечно больших величин, которая позволяет перейти от качественного обозначения бесконечности к ее количественному исчислению, в соответствии с принципом «Целое больше части». Модель лесных пожаров связана с перколяционными фазовыми переходами. Она, в определенном смысле, комбинирует динамическую и статическую перколяцию. В литературе известны две версии модели лесных пожаров: одна с последовательным вовлечением соседей в пожар и вторая с мгновенным сгоранием всего кластера ближайших соседей. Было показано, что и в том и другом случае мы имеем дело с одной моделью, но с разным разрешением по времени. В зависимости от точности разрешения одна и та же модель может демонстрировать мгновенное выгорание или пошаговое поведение. Как только мы выбираем бесконечно малую скорость роста деревьев и бесконечно малое отношение вероятности возгорания к вероятности роста, мы немедленно определяем степень бесконечности размеров системы, при которых наблюдается ее критическая динамика. Получены соответствующие неравенства для критических индексов модели.

Нелинейная динамика в нейтральных сообществах в экологии

Пространственная структура нейтральных сообществ в экологии обладает нетривиальными свойствами, для описания которых традиционно используются зависимости видового богатства от площади. Альтернативным способом описания является фрактальный анализ, финальный продукт которого – мультифрактальный спектр – сочетает в себе информацию как о скейлинговых параметрах видового богатства, так и о структуре сообщества в смысле относительных представленностей видов. Проведен мультифрактальный анализ пространственной структуры сообщества для нейтральной решеточной модели. Моменты распределения особей по видам в реалистичном диапазоне

дистанций распространения формируют семейство кривых одинаковой формы, которые посредством процедуры скейлингового коллапса приводятся к единой универсальной кривой. Аналогично видовому богатству, моменты демонстрируют три региона степенного скейлинга. На малых и больших масштабах наблюдается тривиальный скейлинг, соответствующий абсолютной выравненности распределения видов по численности. Для среднего региона скейлинга получены мультифрактальные спектры для различных скоростей видообразования и функций распространения. Анализ спектров показывает, что ключевые параметры модели определяют не только видовое богатство и его скейлинг, но также и показатели доминирования и редкости. Обнаружен феномен отрицательных размерностей в мультифрактальном спектре, которые не имеют прямой интерпретации с чисто физической точки зрения, но несут биологический смысл, поскольку отражают особенности скейлинга видового богатства синглтонов.

Развита теория возмущений для описания эволюции солитонов, допускающих представление в виде составных образований, сформированных более «элементарными» стационарными волнами- кинками(перепадами поля). В отличие от известных приближенных подходов, в рамках предлагаемой теории адекватно описываются и процессы трансформации солитонов с существенным отличием их формы от стационарной. Это позволяет исследовать распространения уединенных волн в средах с быстроменяющимися параметрами, а также изучать динамику их столкновений при любых соотношениях их пространственных масштабов, а не только близких друг к другу, как это имеет место в традиционном описании взаимодействия солитонов. Прямое численное моделирование указанных процессов, а также данные натуральных наблюдений(для внутренних волн в шельфовой зоне) подтверждают эффективность предложенного подхода.

- 1) рациональное природопользование
- 2) технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН: физические процессы в океане.

Тема 5251042, «Динамика-8» Волны, вихри и турбулентность в неоднородных геофизических потоках. Лабораторный и численный эксперимент и теоретические модели"

Научный руководитель Троицкая Ю.И.

Сроки выполнения 2012-2014 г.г.

Экспериментально показано, что профиль дефекта скорости в воздушном потоке в развивающемся турбулентном течении в канале прямоугольного сечения над водной поверхностью является автомодельным, а форма автомодельного профиля скорости не зависит от шероховатости поверхности в пределах экспериментальной точности. Предложен метод измерения коэффициента аэродинамического сопротивления поверхности воды, основанный на использовании свойства автомодельности профиля дефекта скорости воздушного потока. Предложен и реализован в лабораторных условиях метод определения формы границы раздела воды и воздуха, основанный на комбинировании контактных (струнные волнографы) и бесконтактных методов (высокоскоростная съемка с подсветкой лазерной плоскостью), позволяющий восстанавливать форму поверхности воды в широком диапазоне ветровых условий, включая экстремальные. С использованием предложенных методов и модифицированной техники цифровой оптической анемометрии в лабораторных условиях впервые получены поля скорости воздушного потока вблизи поверхности воды, искривленной волной, в том числе ниже гребней волн, при сильном и ураганном ветре. Продемонстрирован безотрывный характер

полей скорости воздушного потока, осредненных по турбулентным пульсациям. Показано, что слой постоянного потока импульса с логарифмическим профилем средней скорости воздушного потока расположен на расстоянии не более 3 см от искривленной поверхности воды. Значения параметров турбулентного пограничного слоя в слое постоянных потоков согласуются с данными контактных измерений

- 1) рациональное природопользование
- 2) технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН: физические процессы в океане.

Тема 5251042, «Динамика-9» "Сильно нелинейные морские волны в прибрежной зоне: теоретические модели, численное моделирование и прогноз".

Руководитель: Пелиновский Е.Н.,

Сроки выполнения 2012-2014 г.г.

Выполнены теоретические и натурные исследования сильно нелинейных волн в приложении к проблеме аномальных морских волн. В частности:

- Предложен новый механизм возникновения «волн-убийц» на встречных струйных течениях в результате нелинейной самомодуляции захваченных волн. Построена нелинейная модовая теория для волн на встречных струйных течениях, использующая приближенное разделение переменных для двумерной моды. Получены аналитические формулы для ряда "ключевых" нелинейных решений, включая локализованные трехмерные волновые пакеты на глубокой воде (солитоны захваченных волн)

- Исследовано поведение солитонного газа в рамках интегрируемого уравнения Кортевега-де Вриза, так и неинтегрируемого уравнения Бенджамина-Бона-Макони. Показано, что третий и четвертый статистические моменты уменьшаются в результате нелинейного взаимодействия солитонов.

- Выполнена реконструкция инструментально измеренных (запись смещения поверхности в точке) событий «волн-убийц» с использованием численного расчета уравнений огибающей для эволюции в пространстве. Впервые продемонстрирована адекватность такой реконструкции (до времен менее или порядка 10 мин) посредством расчета исходных уравнений гидродинамики, где начальные условия (до момента экстремального события) заданы по результатам реконструкции.

- Проведены наблюдения волн-убийц в прибрежной зоне острова Сахалин в восточной части Охотского моря. Оценено повторяемость (примерно две волны в сутки) и характерная форма (главным образом, волновая группа – «три сестры»)

- Развита аналитическая нелинейная теория трансформации и наката длинных волн на берега каналов и узких бухт произвольного сечения. Исследовано влияние поперечной формы канала на характеристики наката.

- Рассчитано поле давления вблизи вертикальной стенки при подходе солитона большой амплитуды в бассейне конечной глубины. Используются как нелинейные уравнения Буссинеска в форме уравнений Грина-Нагди, так и потенциальная форма уравнений Эйлера.

- 1) рациональное природопользование
- 2) технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Радиофизика и электроника, акустика.

Тема № 5991041 «Динамика-10» «Электрон-ионные столкновения в релятивистски сильных лазерных полях»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Г.М. Фрайман

Предложен метод получения интенсивных сверхкоротких лазерных импульсов с заданным фазовым фронтом. Метод состоит в использовании обратного рамановского рассеяния в плазме. Метод позволяет задавать фазу лазерных импульсов с длительностью от 100 фс и интенсивностью до одной десятой от релятивистской интенсивности.

Критические технологии: Технологии новых и возобновляемых источников энергии.

Приоритетные направления развития науки: Энергетика и энергосбережение.

Направление работ института: Электродинамика плазмы. Физика плазмы.

Тема № 0941041 «Квант-динамик». «Динамика ферми-жидкости (эксперимент)».

Научный руководитель: д.ф.-м.н. А. В. Турлапов

Сроки: 2012 – 2014

Построена феноменологическая модель коллективного взаимодействия разреженного газа двухуровневых атомов с резонансным излучением. Коллективные квантовые эффекты во взаимодействии среды с излучением традиционно наблюдаются плотных средах, где расстояние между частицами много меньше длины волны электромагнитного излучения. Характерным примером является сверхизлучение и сверхпоглощение Дике.

В эксперименте с ультрахолодным газом атомов обнаружено снижение поглощения света атомами при облучении резонансным монохроматическим излучением. Эффект отчетливо наблюдается при малых плотностях, вплоть до межчастичного расстояния, равного 1/3 длинам волны. Эффект наблюдался в газе атомов лития, приготовленных при температуре несколько десятков нанокельвинов, что позволяет минимизировать доплеровские сдвиги в спектрах атомов. Относительно небольшое сверхтонкое расщепление лития также позволяет перевести атом в режим двухуровневого при помощи внешнего магнитного поля, что поможет будущему теоретическому пониманию эффекта. Построена феноменологическая модель эффекта, учитывающая зависимость поглощения света от плотности атомного газа. Модель не зависит от типа атома, поскольку атом близок к приближению двухуровневого.

Наблюдавшийся коллективный эффект важен для диагностики ультрахолодных атомных газов. В подобных системах фотографирование в поле резонансного излучения является основным методом диагностики. Игнорирование подобного эффекта приводит к систематическим сдвигам в измеряемых величинах, таких как число атомов, плотность, температура, энергия. Изученный эффект использован в прецизионных измерениях над ферми- и бозе-газами.

Критические технологии: Нанотехнологии и наноматериалы.

Приоритетные направления развития науки: Индустрия наносистем.

Направление работ института: Физика конденсированных сред.

4.3.2. Программа 13П «Экстремальные световые поля и их приложения»

Тема № 0081131 «Спекание» «Разработка физико-химических основ получения наноразмерных порошков оксидов алюминия и редкоземельных элементов и спекание лазерной керамики с использованием микроволнового нагрева».

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Егоров С.В.

Исследована кинетика кристаллизации алюмоиттриевого граната (YAG) из аморфной дисперсной фазы, полученной на основе агрегативно устойчивых золь гидроксидов алюминия – иттрия $5Al(OH)_3 \cdot 3Y(OH)_2(CH_3COO)_3$ в условиях микроволнового нагрева (на частоте 24 ГГц) в интервале температур $800^{\circ}C \div 950^{\circ}C$ и времен от 0 до 250 минут. Экспериментально показано, что фазовые превращения в компактированных материалах идут значительно быстрее, чем в насыпных порошках. При этом для порошков кинетика (зависимость $T(t)$) превращения аморфной фазы в YAG при СВЧ - нагреве совпадает с кинетикой фазовых превращений при традиционном нагреве.

Количество исследователей - 7, в том числе: 1) имеющих степень магистра - 0, 2) имеющих степень кандидата наук - 2, 3) имеющих степень доктора наук - 0, 4) исследователей в возрасте до 39 лет - 0.

Приоритетное направление: Индустрия наносистем

Критическая технология: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

Научные направления: физика конденсированных сред; оптика и лазерная физика

Тема № 0211133. «Высокоинтенсивные фемтосекундные лазерные импульсы в диагностике твердотельной и газовой плазмы: терагерцовая нелинейная спектроскопия полупроводников и исследование кинетических процессов в лазерной плазме».

Руководитель А.Н. Степанов

Сроки выполнения: 2012–2014

Исследован распад плазменного филамента, формируемого интенсивным фемтосекундным лазерным импульсом в воздухе, азоте и аргоне при давлениях от 2 до 760 Торр. Экспериментально продемонстрировано, что при уменьшении давления воздуха и азота от атмосферного до 50-100 Торр начальная плотность плазмы почти не изменяется и составляет около 10^{17} см⁻³, при дальнейшем уменьшении давления начальная плотность уменьшается. Время распада филамента существенно зависит от давления: при атмосферном давлении плотность плазмы уменьшается в 10 раз за время ~ 1 нс, при 10 Торр – за время ~ 10 нс. В аргоне независимо от давления плотность плазмы почти не изменяется в течение нескольких наносекунд. Проведены теоретические расчеты, дающее хорошее согласование с экспериментом.

Экспериментально исследовано наведенное интенсивным терагерцовым излучением двулучепреломление в жидкостях (ацетон, $CHCl_3$, CCl_4 , C_6H_6). Найдены нелинейные коэффициенты Керра в исследованных жидкостях. Определены быстрый электронный и медленный ориентационный вклады в нелинейность, а также время релаксации ориентационной нелинейности. Исследована генерация второй гармоники оптического излучения при совместном воздействии пробного оптического и интенсивного терагерцового импульсов на поверхности различных материалов (металл, полупроводник, диэлектрик). Показано, что ТГц поле большой напряженности может существенно изменять эффективность генерации второй гармоники с поверхности. Изучено влияние ориентации образцов и напряженности ТГц поля на интенсивность второй гармоники.

РН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 0231133 «Раман». «Новые волоконно-оптические задающие генераторы предельно коротких лазерных импульсов с перестройкой по длине волны в ближнем и среднем ИК-диапазоне».

Руководитель С.В. Муравьев

Сроки выполнения: 2012-2014

Продемонстрирована фемтосекундная волоконная эрбиевая лазерная система типа «задающий генератор и мощный усилитель». Финальный каскад усилителя выполнен на специально разработанном световоде с большой площадью поля моды и высокой концентрацией оксида эрбия, накачиваемого по оболочке. Получены импульсы с энергией 400 нДж длительностью 530 фс. Показано, что излучение разработанной системы может быть преобразовано в диапазон длин волн < 1 мкм за счет генерации дисперсионных волн в пассивном нелинейном волокне. Получены ультракороткие импульсы со спектральной шириной ~ 100 нм на центральной длине волны 0.9 мкм, которые могут быть применены при разработке петаваттных лазерных систем в качестве затравочного сигнала в параметрических усилителях.

Реализована концепция принципиально нового типа усилителя с высоким порогом нелинейных эффектов – с использованием конусного волокна. Особенностью такого усилителя является то, что сигнал вводится в тонкий одномодовый конец световода, а вывод сигнала и ввод накачки осуществляются через толстый выходной конец с большим диаметром поля моды (диаметр сердцевинки увеличивается ~ 5 раз по сравнению с входным концом). Плавное изменение диаметра по длине конусного волокна приводит к тому, что высшие моды при распространении от тонкого к толстому концу не возбуждаются, обеспечивая высокое качество выходного излучения. Увеличение диаметра сердцевинки до 50 мкм приводит к увеличению диаметра поля моды до величины более 30 мкм, что обеспечивает крайне низкий порог нелинейных эффектов. В предварительном эксперименте chirпированные импульсы длительностью 5 пс были усилены до энергии 3.5 мкДж. Анализ FROG-спектрограммы показал наличие линейного chirпа, что позволяет рассчитывать на сжатие этих импульсов до длительности менее 100 фс.

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Технологии наноустройств и микросистемной техники

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 0301133 «Субфемта-2». «Разработка лазерной системы среднего ИК диапазона на основе параметрических усилителей для генерации мощных ультракоротких импульсов; фемто- и аттосекундная спектроскопия сверхбыстрых процессов».

Руководитель А.В. Ким

Сроки выполнения: 2012-2014

Разработана и численно оптимизирована схема параметрической системы для генерации ультракоротких импульсов в среднем ИК диапазоне с помощью созданного трехмерного сверхширокополосного численного кода. Экспериментально продемонстрирован альтернативный метод получения ультракоротких затравочных импульсов в диапазоне 2-3 мкм в полностью волоконной схеме. С помощью моделирования показана возможность создания усилителя канала накачки с большой энергией импульса на конических иттербиевых световодах с большим размером моды.

Теоретически показаны возможности эффективной генерации ультравысоких гармоник с энергиями фотонов более 10 кэВ и импульсов субаттосекундной длительности при взаимодействии интенсивного излучения среднего ИК диапазона с нейтральными газами.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 0221133 «Гридэ». «Наномодификация вещества в полях мощных сфокусированных фемтосекундных импульсов: физические эффекты и приложения».

Руководитель Н.М. Битюрин

Сроки выполнения: 2012–2014

Теоретические расчеты показали, что слой полистирольных шариков с диаметром примерно равным длине волны второй гармоники лазера на сапфире с титаном, нанесенный на диэлектрическую подложку, фокусирует излучение второй гармоники и не фокусирует излучение основной частоты. Экспериментально продемонстрировано, что, преобразуя несколько процентов энергии импульса основной частоты во вторую гармонику, можно получать структуры на поверхности с использованием шариков с размером порядка длины волны второй гармоники. При этом для получения структур с помощью излучения только второй гармоники требуется значительно большая плотность энергии в импульсе, чем плотность энергии в импульсе второй гармоники при бихроматическом воздействии. Получить структуры при облучении импульсами только основной частоты в этом случае не удастся. Таким образом, использование бихроматических импульсов позволяет существенно увеличить плотность записи структур.

ПН РФ – Индустрия наносистем

КТ РФ – Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 0241133 «Полоса»

«Лазерно-плазменный ускоритель электронов до энергии 200 МэВ»

Руководитель А.А. Шайкин

Сроки выполнения: 2012–2014

Введена в строй новая камера взаимодействия позволяющая легко изменять конфигурацию проводимых экспериментов. Наличие различных опор для корпуса камеры и оптического стола внутри позволяет проводить юстировку на воздухе с последующей откачкой и обеспечивает юстировку оптической схемы с требуемой точностью (на уровне нескольких мкм).

Для улучшения качества излучения использовано деформируемое зеркало работающее в двух различных режимах – режим непрерывного мониторинга, позволяющий получать максимальную «яркость» излучения в дальней зоне, но требующий непрерывного зондирующего излучения, и режим разовых импульсов, позволяющий исправлять фазовый фронт излучения с использованием датчика Шака-Гартмана. Однако это не гарантирует максимальной интенсивности поля при фокусировке излучения. В настоящее время разрабатывается алгоритм позволяющий совместить положительные стороны этих методов.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Энергоэффективные световые устройства
НН ИПФ – оптика и лазерная физика

Тема № 0261133 «Крио». «Криогенный дисковый лазер с высокой средней и пиковой мощностью для параметрической накачки мощного фемтосекундного лазера».

Руководитель О.В. Палашов

Сроки выполнения: 2012–2014

Изготовлена новая задающая лазерная система на базе фемтосекундного лазера, позволяющая обеспечить оптическую синхронизацию импульсов канала усиления накачки и канала фемтосекундного сигнала.

На базе криогенного дискового квантрона разработан новый предварительный усилитель с охлаждением протоком жидкого азота, что позволило значительно улучшить стабильность работы предварительного усилителя и обеспечить его долговременную работу в течение рабочего дня, а конструкция квантрона позволила минимизировать необходимость постоянной юстировки усилителя как в заливном криостате. Разработана и установлена схема нового оконечного усилителя с телескопической схемой усиления и охлаждением протоком жидкого азота.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Энергоэффективные световые устройства

НН ИПФ – оптика и лазерная физика

4.3.3. Программа 20П «Квантовые мезоскопические и неупорядоченные структуры»

НИР № 0931081 «Квант-макро». «Экспериментальный поиск новых сверхтекучих состояний фермионов».

Научный руководитель: д.ф.-м.н. А. В. Турлапов

Сроки: 2012 – 2014

В эксперименте с ультрахолодными ферми-атомами лития реализован и исследован кинематически двумерный бозе-газ. Бозоны получены путём ассоциации ферми-атомов в молекулы-димеры. Газ находится в состоянии близком к основному и исследован в широком диапазоне s-взаимодействий. В том числе, благодаря использованию композитных бозонов удалось получить газ с наиболее сильными на данный момент взаимодействиями. Измерены термодинамические характеристики, включающие в себя плотность, давление, сжимаемость. Проведено сравнение с теоретическими моделями, найдено отличие от предсказания среднеполевой теории точечных бозонов.

Критические технологии: Нанотехнологии и наноматериалы.

Приоритетные направления развития науки: Индустрия наносистем и материалов.

Направление работ института: Физика конденсированных сред.

Тема № 5371083 «Макрофизика» «Макроскопические проявления квантовой динамики атомных, молекулярных и кластерных систем в электромагнитном поле»

Руководитель М.Ю. Рябикин

Сроки выполнения: 2012-2014

Впервые предложен, теоретически обоснован и экспериментально апробирован метод управления спектрально-временными формами одиночных гамма-фотонов, основанный на когерентном преобразовании мессбауэровского излучения радиоактивного источника в резонансном ядерном поглотителе, совершающем ультразвуковые колебания вдоль направления распространения излучения.

Теоретически показана возможность использования магнитного дрейфа электрона при ионизации атома в поле интенсивного лазерного излучения среднего ИК диапазона для управления генерацией ультракоротких рентгеновских всплесков излучения высоких гармоник путем контроля относительных вкладов различных электронных траекторий в сильнонелинейный атомарный отклик.

На основе построенной аналитической модели показана возможность формирования в произвольной атомной системе ультракоротких импульсов излучения вакуумного ультрафиолета (ВУФ) длительностью порядка периода поля посредством периодически прерываемого резонансного взаимодействия ВУФ излучения с атомами среды. Получаемые импульсы могут иметь относительно низкую несущую частоту порядка частот внутриаомных и внутримолекулярных резонансов, что открывает возможность существенного расширения их приложений в физике сверхбыстрых процессов.

ПН РФ – Физика конденсированных сред

КТ РФ – Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.3.4. Программа «Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики»

1.Тема №5361192, шифр «Торнадо» «Моделирование атмосферных электрических явлений в условиях изменяющегося климата»

Руководитель: Мареев Евгений Анатольевич.

Сроки выполнения: 30.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация:

В результате работ, проведенных в 2014 г.:

Выполнен анализ статистики и энергетики грозовых событий в средних широтах в период активной конвекции с использованием данных натуральных экспериментов по регистрации полей и приему радиоизлучения гроз в конвективный период 2014 г.

Модернизирован разработанный электрический блок для модели WRF, необходимый для наукастинга опасных быстроразвивающихся грозовых явлений, сопровождающихся молниевыми разрядами, посредством добавления нового механизма присвоения зарядов с учетом электронейтральности в столбе воздуха.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы.

2.Тема №5421192, шифр «Лед» Название темы: «Радиофизические методы анализа региональных особенностей динамики природных и антропогенных процессов»

Руководитель: Иудин Дмитрий Игоревич

Сроки выполнения: 30.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация

Развита модель динамики теплового состояния, термического режима и гидротермического состояния ледниковой и снежной толщи на основе трехмерной сети клеточных автоматов. Репертуар поведения отдельных автоматов сети определяется сложной реологией и термодинамикой льда. Режим всей сети характеризуется тремя основными процессами: аккумуляцией массы вещества, перемещением ее вниз под действием силы тяжести (движением ледника) и абляцией (расходом). Форма, размеры, строение и режим сети определяются морфологической и геофизической классификацией ледников. Предложенная модель позволяет дополнить традиционно используемую в гляциологии и теории движения ледников систему уравнений для моделирования вязкопластичной динамики ледников (уравнение неразрывности, уравнение импульсов, уравнение баланса тепла) феноменологическим описанием движения воды в толще и у ложа ледников (быстрые и медленные дренажные системы). Развиваемый подход на основе трехмерной сети клеточных автоматов служит основой развития представлений о динамике ледников в рамках концепции самоорганизованной критичности. В рамках развиваемого подхода предложена перколяционная модель формирования сложной флуктуирующей границы теплового и холодного льда двухслойных ледников.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: радиофизика и электроника, биогеография, экология, физика атмосферы

4.3.5. Программа «Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов»

НИР № 4661331 «ОФН-П24-РАН-2012» «Управление когерентностью цугов импульсов и самосинхронизация продольных мод в сверхизлучающих гетеролазерах с массивами субмонослойных квантовых точек»

Научный руководитель чл.-корр. РАН Вл.В.Кочаровский (отделы-исполнители – 130 и 110).

Исполнители: Вл.В. и В.В.Кочаровские, В.А.Кукушкин, Д.Л.Пасманик, М.А.Гарасев, Е.Р.

Усовершенствована классификация режимов генерации полупроводниковых лазеров класса D, в которых время жизни фотона в резонаторе много меньше времени жизни поляризации активной среды, каждый из которых - квазистационарный, автомодуляционный, регулярный импульсный, импульсный с частичной самосинхронизацией мод, нерегулярный импульсный с квазипериодическими цугами импульсов и квазихаотический – охарактеризован с помощью использования подхода эффективных эмпирических мод. Предложенный новый подход в динамической теории сверхизлучающих лазеров, в том числе гетеролазеров с массивами субмонослойных квантовых точек, основан на замене стандартного разложения электромагнитного поля и поляризации активной среды по «холодным» или «горячим» модам резонатора и по волнам непрерывного спектра на разложение по оригинальным эмпирическим модам с переменной пространственно-временной структурой [1 - 3]. Последние определяются собственными функциями специальной матрицы ковариации лазерного поля и позволяют дать компактное описание многомасштабного динамического спектра генерируемой

последовательности когерентных лазерных импульсов, в частности, выделить сверхизлучательную, самосинхронизованную, чирпованную и слабокогерентную компоненты излучения.

Широкие возможности развитого подхода продемонстрированы для случая, когда отражения от торцов активного образца не слишком малы по сравнению с величиной интегральных брэгговских отражений комбинированного лазерного резонатора и параллельно с цугами сверхизлучательных импульсов благодаря вызванной ими самосинхронизации части мод возникает ещё одна импульсная квазипериодическая составляющая с периодом, примерно равным времени обхода резонатора светом [4, 5]. В результате установлено, что сверхизлучательные моды могут давать вклад в обходящий резонатор импульс синхронизованного излучения, а его энергосодержание может быть сравнимо с энергосодержанием импульсов сверхизлучения несамосинхронизованных мод. Также показано, что для многомодовой генерации с частичной синхронизацией мод взаимная когерентность цугов импульсов сверхизлучения может быть ниже, чем взаимная когерентность отдельных импульсов синхронизованного излучения даже в далеко отстоящих цугах. Для каждого из указанных режимов установлены требуемые для его реализации области параметров лазеров на полупроводниковых многослойных структурах с субмонослойными квантовыми точками и комбинированными резонаторами Фабри-Перо с распределённой обратной связью встречных волн.

Публикации

1. *Vl.V.Kocharovskiy, A.A.Belyanin, E.R.Kocharovskaya, and V.V.Kocharovskiy. Superradiant lasing and collective dynamics of active centers with polarization lifetime exceeding photon lifetime. Advanced Lasers: Laser Physics and Technology for Applied and Fundamental Science Series: Springer Series in Optical Sciences, V. 193. Shulika, Oleksiy; Sukhoivanov, Igor (Eds.) 2015, ch. 4, 250 p.*

2. *Vl.V.Kocharovskiy, E.R.Kocharovskaya, and V.V.Kocharovskiy. On the way to a superradiant heterolaser. Invited talk at the seminar of the Physical-Technical University of Wuerzburg, Germany, June 27, 2014.*

3. *Вл.В.Кочаровский, А.С.Гаврилов, Е.Р.Кочаровская, В.В.Кочаровский, Е.М.Лоскутов, Д.Н.Мухин. Холодные, горячие и блуждающие моды в сверхизлучающих гетеролазерах. Программа и тезисы докладов 4-го Всероссийского симпозиума с международным участием «Полупроводниковые лазеры: физика и технология» (Санкт-Петербург, 10–13 ноября 2014 г.) - С.-П.: Политехнический университет, 2014. С. 15.*

4. *E.R.Kocharovskaya, V.V.Kocharovskiy, Vl.V.Kocharovskiy. Superradiant Lasing: Quasi-regular and Quasi-chaotic Regimes. Invited talk at the VII-th International Conference "Solitons, collapses and turbulence: Achievements, Developments and Perspectives" (SCT-14) (Chernogolovka, Aug. 4 – 8, 2014).*

Приоритетное направление – 2. Индустрия наносистем

Критические технологии - 8. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Научное направление по уставу ИПФ – Оптика и лазерная физика

НИР №4671311 «Нанокристаллы» «Высокоскоростное получение наноструктурированных алмазных и кремниевых пленок методом газофазного осаждения в плазме, поддерживаемой мощным электромагнитным излучением миллиметрового диапазона длин волн»

Научный руководитель: академик Литвак А.Г., зам. д.ф.-м.н. А.Л. Вихарев, д.ф.-м.н. С.В. Голубев

Методом металлоорганической газофазной эпитаксии с активацией азота в плазме, поддерживаемой излучением гиротрона, получены монокристаллические пленки InN

гексагональной модификации на подложках фианита и сапфира. Достигнута рекордная скорость роста пленок $10 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$. Показано, что применение подложек фианита ориентации (111) по сравнению с темплейтами GaN/Al₂O₃(0001) и подложками сапфира(0001) позволяет существенно улучшить структурное совершенство и оптические параметры пленок InN. Пленки InN имели n-тип проводимости с концентрацией электронов $n=(8,0 \cdot 10^{19} - 4,9 \cdot 10^{20}) \text{ cm}^{-3}$. При этом подвижность электронов при комнатной температуре достигала величины $180 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$.

Проведено исследование процессов травления монокристаллического (100) алмаза в плотной водородной плазме СВЧ разряда. Эти процессы важны для подготовки подложек для гомоэпитаксиального осаждения тонких монокристаллических пленок, необходимых для развития алмазной электроники. Проведенные исследования показали, что травление в H₂ плазме позволяет выявить дефекты на поверхности кристаллов и удалить повреждения связанные с механической полировкой. Установлено, что шероховатость поверхности (R_a) до и после травления остается весьма низкой R_a~0.3-0.5 нм. Определена зависимость скорости травления от температуры подложки и ориентации поверхности монокристалла, а также энергия активации для процесса травления в водороде.

Проведено исследование работы катодов с алмазным покрытием в составе мощного СВЧ компрессора. Алмазные пленки осаждались на поверхность молибденовых катодов CVD методом с помощью плазмохимического реактора на основе непрерывного гиротрона с частотой 30 ГГц и мощностью до 10 кВт. В ходе исследования изучались эмиссионные свойства молибденовых катодов с алмазным напылением в сильноточном режиме и зависимость этих свойств от параметров осаждения. Показано, что нанесение структурированных алмазных пленок на поверхность молибденовых катодов позволяет увеличить ток и однородность электронной эмиссии. Установлено, что существенное влияние на увеличение тока эмиссии оказывают допирование пленки азотом, а также одновременное уменьшение размера кристаллов и увеличение содержания в пленке графитовой sp² фазы при повышении концентрации метана в газовой смеси. Использование исследуемых катодов в мощном СВЧ компрессоре позволило добиться более эффективной работы переключателя компрессора и поднять коэффициент усиления мощности.

В рамках самосогласованной численной модели СВЧ разряда проведены расчеты функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) для Ag/H₂ газовых смесей с различным содержанием аргона при учете атомарного водорода. Данные смеси часто используются для осаждения алмазных пленок. Расчеты проводились методом Монте-Карло, при этом учитывались упругие столкновения электронов с молекулами, неупругие соударения, неупругие соударения 2-го рода с колебательно возбужденными молекулами, температура нейтрального газа. Установлена резкая зависимость частоты ионизации, как от содержания аргона, так и от наличия атомарного водорода в смеси. Данный эффект объясняется тем, что атомы Ag и H по сравнению с молекулами H₂ не обладают вращательными и колебательными степенями свободы, сток энергии в которые уменьшает температуру электронов. В результате расчетов построена двумерная численная модель, адекватно описывающая непрерывный СВЧ разряд в 2-х волновых пучках миллиметрового диапазона, используемый для выращивания пленок монокристаллического и поликристаллического CVD алмаза.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Индустрия наносистем и материалов.

Критическая технология РФ: Нанотехнологии и наноматериалы.

Научное направление: Физика плазмы.

НИР №4681331 «Оплот» «Получение высокоплотной наноструктурной керамики микроволновым спеканием с применением внешних полей»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Семенов В.Е.

В последние годы широко исследуются методы высокоскоростного спекания керамических материалов, использующие приложение к спекаемому образцу внешних полей. В частности, продемонстрировано резкое сокращение времени, необходимого для спекания, а также снижение температуры спекания при приложении постоянного или низкочастотного переменного электрического поля. В данной работе показано, что аналогичного эффекта можно достичь при воздействии на образец микроволнового электромагнитного поля.

Проведены экспериментальные исследования процессов спекания наноструктурной лазерной керамики на основе иттрий-алюминиевого граната ($Y_3Al_5O_{12}$, YAG) в условиях микроволнового нагрева с использованием гиротронных комплексов миллиметрового диапазона длин волн. Продемонстрировано ускорение процессов твердофазного синтеза граната и спекания керамики по сравнению с традиционными методами нагрева.

Продемонстрировано получение плотных (98 – 99 % от теоретической плотности) керамических материалов двух типов (на основе оксида алюминия и алюмомагниевого шпинели) в процессах с нулевым временем выдержки при температуре спекания.

Показано, что механизм быстрого спекания при микроволновом нагреве с достаточно высокой удельной поглощаемой мощностью основан на ускоренном массопереносе в расплавленных межзеренных границах под действием термических напряжений, возникающих в материале в условиях объемного тепловыделения.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования интенсивного микроволнового излучения для создания высокоплотных ультрадисперсных и наноструктурных керамических материалов.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Индустрия наноси-стем.

Критическая технология РФ: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов.

Научное направление: Физика конденсированных сред; Оптика и лазерная физика.

Тема № 4641333 «Нанотомография» «Неинвазивная оптическая диагностика и мониторинг злокачественных новообразований с использованием таргетного контрастирования наноагентами»

Руководитель: А.М. Сергеев

Сроки выполнения: 2012–2014

Проведено экспериментальное исследование оптических свойств суспензий золотых и кремниевых наночастиц и возможности их использования в качестве контрастирующих агентов в оптической диффузионной спектроскопии (ОДС). Оптические свойства суспензий наночастиц и модельных сред восстановлены на основе данных спектрофотометрических измерений в диапазоне 500 – 1100 нм с применением оригинальной теоретической модели. Экспериментальные исследования с помощью системы ОДС проводились на жидком фантоме на основе раствора липофундина и туши, моделирующего оптические свойства реальной биоткани. На разработанной нами ранее экспериментальной установке для оптоакустического биоимиджинга проведено исследование биотканей с использованием нескольких длин волн лазерного излучения для разделения хромофоров с различными спектрами поглощения. Данные исследования показали необходимость учета изменения облученности ткани на различных глубинах, что требует дополнительного усовершенствования как экспериментальной установки, так и методов обработки данных.

ПН РФ – Науки о жизни

КТ РФ – Нанотехнологии и наноматериалы
НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема №46313333 «Когерентность» «Исследование условий создания одномерных и двумерных структур с периодом от 80 нм до 2000 нм на основе метода импульсной интерференционной литографии, в том числе с использованием схем с иммерсией»

Руководитель: Верёвкин Ю.К.

Срок выполнения: 2012-2014

В квазиоптическом приближении получены выражения для картины интерференции двух пучков когерентного излучения при этом один или оба пучка имеют квадратичные фазовые фронты. Использование двух пучков с квадратичными фазовыми фронтами позволяет создавать структуры с изменяющимся в пространстве периодами с произвольным соотношением линейного и квадратичного изменения периода. Такие структуры могут быть полезны при точной компенсации дисперсии в длинных линиях связи, для разделения и сведения каналов связи. Созданы структуры с изменяющимся в пространстве периодом (менее 750нм) на плёнках TiO_2 и плавленом кварце. Диагностика структур проводилась методом атомно-силовой микроскопии и аналитических результатов решения задачи отмеченной выше.

Созданы периодические структуры с периодом ~ 160 нм. Для этой работы использовалось излучение четвёртой гармоники Nd:YLF лазера. Для диагностики использовался атомно-силовой микроскоп - Solver PRO с кантилевером - NSG01 (NT-MDT, Зеленоград, Россия). Структуры изготовлены на фоторезисте - AZ1512 (MicroChemicals GmbH, Германия), толщина 150 нм.

ПН РФ – Индустрия наносистем

КТ РФ – Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов;
Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств.

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 4621333 «Нанополосы»

«Научные основы создания наноструктурированных материалов с помощью лазерного излучения»

Руководитель: Н. М. Битюрин

Сроки выполнения: 2012–2014

Проведены эксперименты по созданию структур в полимерных пленках ПММА методом интерференционной литографии с использованием пятой гармоники неодимового лазера с жидкостным проявлением. Отработаны режимы проявления, интерференционная схема и получены периодические структуры с периодом порядка длины волны лазерного излучения, проанализированные с помощью атомно-силовой микроскопии.

Построены гидродинамические модели образования и консервации микро- и нано-пузырьков в полимерах при воздействии импульсного лазерного излучения. Показано, что при величинах флуенса выше некоторого порогового значения происходит формирование пузырей в объеме образца на некотором расстоянии от поверхности. После прохождения волны сжатия/разрежения, происходит их уменьшение с последующим исчезновением. При увеличении энергии лазерного импульса область образования пузырьков расширяется. При величинах флуенса выше некоторого другого порогового значения, формирующиеся пузыри вырастают достаточно большими, чтобы не исчезнуть в процессе остывания.

Экспериментально изучен эффект лазерной постагрегации кристаллинов – белков, входящих в состав хрусталика глаза, агрегация которых в хрусталике является причиной возникновения катаракты. Эффект постагрегации заключается в том, что агрегация белков продолжается и после выключения лазера и приводит к появлению сильного наведенного рассеяния в отсутствие действующего излучения. Фотоагрегация белков в водном растворе проводилась при воздействии импульсов ХеСІ лазера (308нм).

ПН РФ – Индустрия наносистем

КТ РФ – Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.3.6. Программа «Фундаментальные проблемы физики высокотемпературной плазмы с магнитной термоизоляцией»

НИР № 0561321 Исследование новых схем gyro-приборов с управляемой частотой и фазой излучения для плазменных установок УТС

Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.В. Самсонов

Участники: А.А. Богдашов, И.Г. Гачев, Г.Г. Денисов, С.В. Мишакин, Е.В. Соколов, В.Ю. Иванов, В.В. Маслов

Разработаны и исследованы в экспериментах мощные широкополосные усилители на основе gyro-ЛБВ с уникальными параметрами. Для импульсной gyro-ЛБВ получена выходная мощность до 160 кВт на частоте около 34 ГГц при ширине полосы более 7% и коэффициенте усиления около 20 дБ. В экспериментах с непрерывной gyro-ЛБВ получена выходная мощность около 8 кВт при мгновенной ширине полосы усиления 2.6 ГГц. Gyro-ЛБВ работает в режиме с 50%-ной рекуперацией энергии, позволяющей реализовать КПД до 30%. Достигнутая мощность на порядок превышает мощность известных широкополосных усилителей 8-мм диапазона длин волн.

Выполнен теоретический анализ возможности реализации gyro-ЛБВ на частоте 260 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для спектроскопических приложений. Начата разработка технологии изготовления винтовых структур с мелкомасштабными (менее 1 мм) элементами.

Выполнен теоретический анализ возможности реализации gyro-ЛБВ на частоте 95 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для диагностики высокотемпературной плазмы. В результате 3-мерного компьютерного моделирования подтверждена работоспособность данного gyro-усилителя на третьей гармонике циклотронной частоты, что в свою очередь определяет возможность использования несверхпроводящей магнитной системы.

Приоритетное направление: информационно-телекоммуникационные системы, перспективные вооружения, военная и специальная техника

Критическая технология: базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии, технологии создания электронной компонентной базы

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы.

НИР № 5901321 «Мост» Квазиоптические системы для управления потоками мощного излучения в системах ЭЦР нагрева и диагностики термоядерной плазмы.

Научный руководитель: проф. М.И.Петелин

Разработаны новые варианты квазиоптического резонансного диплексера, предложенного в ИПФ РАН для суммирования и быстрого - частотно-управляемого - переключения волновых потоков.

В ходе сотрудничества ИПФ РАН с IPP, Greifswald и IPP, Garching продемонстрировано – при использовании диплексера типа FADIS - быстрое переключение волнового пучка из 140 ГГц гиротрона между двумя выходными каналами. Модифицированный - на критической связи – вариант диплексера был продемонстрирован вблизи 34 ГГц в режиме notch-фильтра: подавление прошедшего сигнала на центральной частоте превысило 80 дБ. Фильтр такого рода на частоте 303 ГГц планируется использовать в совместном (японо-германо-российском) эксперименте по коллективному томсоновскому рассеянию на стеллараторе LHD (NIFS, Nagoya).

Приоритетное направление: энергоэффективность, энергосбережение, информационно-телекоммуникационные системы.

Критическая технология: технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику.

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы

НИР № 5911321 «ЭЦР» «Исследование механизмов нагрева и потерь электронов с релятивистскими энергиями в плазме ЭЦР разряда в открытой магнитной ловушке»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.В. Голубев

Проведены 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 ЭЦР. Впервые исследованы частотные и энергетические характеристики нестационарных импульсов электромагнитного излучения плазменного циклотронного мазера, активной средой которого является плазма ЭЦР разряда в прямой магнитной ловушке. Показано, что высыпания электронов из-за циклотронной неустойчивости разреженной плазмы обеспечивают быструю (по сравнению с потерями за счет кулоновских столкновений) релаксацию запасенной энергии в горячей компоненте плазмы (до 60%).

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: нет.

Критическая технология РФ: нет.

Научное направление: Физика плазмы.

НИР № 5921321 Развитие методов активной диагностики высокотемпературной плазмы с использованием мощного суб-ТГц и ТГц излучения

Научный руководитель д.ф.-м.н. Глявин М.Ю.

1. Разработан и экспериментально исследован гиротрон с рабочей частотой 670 ГГц на базе импульсной магнитной системы с азотным охлаждением. В режиме разовых импульсов получена рекордная для данного диапазона мощность 0.2 МВт при длительности импульса 30 микросекунд.

2. Выполнен расчет электронно-оптической и электродинамической систем гиротрона с импульсным соленоидом, предназначенного для генерации разовых СВЧ импульсов на частоте 300 ГГц и выходной мощностью до 1 МВт.

3. Численными методами впервые проведено 3х-мерное моделирование гироприборов ТГц диапазона, в том числе исследовано влияние азимутальной

несимметрии электронного потока и электродинамической системы на режимы генерации гиротронов со сверхразмерными резонаторами.

4. Впервые реализованы локальные (характерный размер порядка 1 мм) области плотной плазмы при высокочастотном пробое газа в узконаправленных потоках ТГц излучения (670 ГГц) и сделаны оценки параметров плазмы.

5. Сделаны оценки параметров гиротронов, требуемых диагностики функции распределения альфа частиц и ионной температуры термоядерной плазмы методом коллективного рассеяния с использованием излучения ТГц гиротрона. Показано, что для практической реализации предлагаемого подхода в большинстве существующих гиротронов требуется увеличить либо частоту следования импульсов, либо их длительность. Диапазон 600-700 ГГц, представляется наиболее предпочтительным для диагностики плазмы с температурами до 10 кэВ, диагностика более высоких температур пока не доступна. Следует отметить, что, согласно проведенным расчетам, гиротроны работающие на частотах порядка 1 ТГц и выше, не обеспечивают достаточных преимуществ при диагностике плазмы в связи с быстрым ростом интенсивности фонового электронно-циклотронного излучения на гармониках.

6. Теоретически исследовано влияние отраженного от элементов передающего тракта или плазмы сигнала на режимы работы гиротрона. Предложена теория, правдоподобно объясняющая наблюдавшуюся в эксперименте ступенчатую зависимость частоты гиротрона влиянием паразитного отраженного сигнала. В качестве отражателей рассмотрены варианты нерезонансной нагрузки, находящейся на большом расстоянии от гиротрона, и нескольких высокочастотных резонаторов, расположенных в выходном волноводном тракте гиротрона. Отражение мощности от плазмы может объяснить экспериментально наблюдавшееся искажение поперечной структуры излучения гиротрона, работавшего на модулированный отражатель в виде колеблющейся мембраны (аналог отражения от неустойчивой плазмы).

7. Теоретически исследована возможность стабилизации частоты излучения гиротрона при использовании отраженного от внешних резонансных и нерезонансных высокочастотных нагрузок сигнала. Показано, что в этом случае существенно снижаются вариации частоты, вызванные флуктуациями технических параметров.

8. Для гиротронов средней мощности проанализирован вопрос оптимизации параметров электродинамической системы с точки зрения КПД для гиротронов работающих при низких рабочих напряжениях. Выполнены расчеты конкретных гиротронов на различных гармониках гирочастоты. Показано, что генерация на основной и второй гармониках с приемлемой эффективностью возможна вплоть до напряжений 5-10 кВ, что позволяет перейти к более простым и дешевым источникам питания.

Приоритетное направление: энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; безопасность и противодействие терроризму.

Критическая технология: технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетiku; атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы

НИР № 5931321 «Слон» «Развитие квазиоптических методов моделирования СВЧ нагрева плазмы в системах управляемого термоядерного синтеза с магнитным удержанием»

Научный руководитель д.ф.-м.н. А. Г. Шалашов

Теоретически исследованы пути повышения эффективности электронного-циклотронного нагрева плотной плазмы в тороидальных магнитных ловушках. Разработан квазиоптический код для моделирования и оптимизации сценариев ЭЦР нагрева плазмы в тороидальных конфигурациях с нарушенной аксиальной симметрией (стеллараторах) с учетом волновых эффектов, обусловленных пространственной дисперсией и нелокальностью поглощения СВЧ волн. Исследовано влияние эффектов трехмерной кривизны фазового фронта волновых СВЧ пучков и флуктуаций плазмы на процесс линейной трансформации электромагнитных волн в окрестности плазменного резонанса в тороидальных магнитных ловушках. Разработан новый операторный формализм для описания диэлектрического отклика в неоднородных средах с пространственной дисперсией.

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение

Критическая технология РФ: 13. Технологии новых и возобновляемых источников энергии; 31. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии

Научное направление: физика плазмы

НИР № 5941321 «Перспектива» «Разработка новых принципов построения и испытание макетов новых гиротронов для перспективных ЭЦР систем плазменных установок УТС»

Научный руководитель: чл.-корр. РАН. Г.Г. д.ф.-м.н. Денисов

Показана принципиальная возможность захвата колебаний мегаваттного гиротрона внешним сигналом. Ввод сигнала осуществляется новой квазиоптической системой, обеспечивающей оптимальную связь внешнего источника с резонатором гиротрона. Первый эксперимент выполнен с импульсным гиротроном на частоте 35 ГГц. Измеренные полоса и время захвата колебаний находятся в согласии с расчетом. Использование режима захваченных колебаний позволяет обеспечить работу генератора на очень высоких модах, стабилизировать частоту при нестабильных параметрах высоковольтных источников, повысить КПД, обеспечить когерентность нескольких гиротронов мегаваттного уровня мощности.

При использовании синтезированного квазиоптического преобразователя, обеспечивающего высокоэффективный вывод излучения мод различных вращений, показана возможность электронного переключения направления выходного волнового пучка мегаваттного гиротрона.

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение.

Критическая технология: Технологии создания электронной компонентной базы, технологии новых и возобновляемых источников энергии

Научное направление: Электроника больших мощностей/ Гирорезонансные приборы, релятивистская микроволновая электроника

4.3.7. Программа «Фундаментальные науки – медицине»

Тема №5381143 «Медицина» «Волновые технологии для неинвазивной диагностики, планирования и прогноза лечения онкологических заболеваний»

Руководитель Н.М. Шахова

Сроки выполнения: 2012-2014

Предложено два подхода к развитию неинвазивной диагностики меланомы: на основе оптико-акустической микроскопии (ОАМ) и с использованием спектроскопии терагерцового диапазона (ТГц) частот. Предложено комплементарное использование оптической диффузионной спектроскопии и УЗИ-доплерографии для неинвазивной оценки кислородного статуса опухоли, играющего важную роль в чувствительности опухоли к химиотерапии. С помощью оптико-акустической микроскопии (ОАМ) получены *ex vivo* изображения меланинсодержащих новообразований кожи, проанализированы возможности изменения параметров оптико-акустического микроскопа для повышения эффективности визуализации меланин-содержащих новообразований кожи. Проведена адаптация комбинированного ИК-ТГц спектрометра для анализа «запахов» новообразований кожи. На основе квантово-каскадного лазера разработан высокостабильный, спектрально чистый генератор терагерцового излучения (3.4 ТГц) с фазовой автоподстройкой частоты для использования в качестве источника ТГц излучения в спектрометре высокого разрешения и системе ТГц-видения. Для разработки ранних предикторов эффективности неoadьювантной ХТ на основе использования неинвазивной комбинированной диагностики (ОДС и УЗИ-доплерография) проведен ретроспективный анализ корреляции патоморфологического ответа опухоли и критериев, характеризующих биологические особенности опухоли.

ПН РФ – Науки о жизни

КТ РФ – Биомедицинские и ветеринарные технологии

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.3.8. Программа «Вещество при высоких плотностях энергии»

Тема № 0901223 «Экстремальное вещество» «Создание и изучение экстремальных состояний вещества и быстропротекающих процессов в нём с помощью петаваттных лазерных систем»

Руководитель А.В. Коржиманов

Сроки выполнения: 2013-2014

Экспериментально реализована схема разделения мощного оптического импульса на две независимые реплики. Схема позволяет изменять соотношение энергий в репликах в диапазоне от 1:10 до 10:1. Задержка между репликами может изменяться от 1 до 40 нс. Проведено исследование путём численного моделирования процессов ускорения пучков ионов средней массы (в частности, железа) в двухкомпонентных тонких мишенях лазерным излучением мощностью около одного петаватта. Были определены параметры мишени, при которой ожидается максимальное энерговыделение пучка ускоренных ионов при его торможении в слое золота. Показано, что при этих параметрах энерговыделение может достигать величин в десятки МДж/г, что требует разработки новых подходов к оценке величины этого энерговыделения, которые бы учитывали одновременно не только ионизационные потери на нейтральных атомах, но и потери при многократной ионизации, при столкновениях со свободными электронами, а также потери на коллективные возбуждения в образующейся плазме.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетiku

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.3.9. Программа «Фундаментальные проблемы импульсной сильноточной»

НИР №0061011 «Пик» «Мультигигаваттный источник свч импульсов субнаносекундной длительности миллиметрового диапазона длин волн»

Научный руководитель д.ф.-м.н. А. В. Савилов

Предложена новая схема раскачки заряженных частиц полем СВЧ волны в лазере на свободных электронах - «летающий ондулятор». Он представляет собой мощный импульс микроволнового излучения, распространяющийся в волноводе с винтовой гофрировкой стенок с групповой скоростью близкой к скорости ускоренного сгустка электронов, на котором происходит стимулированное рассеяние микроволн в оптическое излучение. Гофрировка обеспечивает присутствие в микроволновом импульсе волновой компоненты со встречной (по отношению к направлению движения электронов) фазовой скоростью, что обеспечивает высокий фактор доплеровского преобразования частоты. В качестве источника для СВЧ ондулятора предложено использовать импульсную релятивистскую лампу обратной волны миллиметрового диапазона длин волн с гигаваттным уровнем мощности выходного излучения. Проведены предварительные расчеты такого генератора, разработана и находится в изготовлении микроволновая система. Экспериментальное тестирование микроволнового источника «летающего» ондулятора запланировано на следующем этапе выполнения проекта.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- безопасность и противодействие терроризму;
- индустрия наносистем и материалов;
- науки о жизни;
- энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Критические технологии РФ:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
- нанотехнологии и наноматериалы;
- технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации;
- технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов;
- технологии создания электронной компонентной базы;
- технологии биоинженерии.

Научное направление, определенное уставом института:

- радиофизика и электроника, акустика.

НИР №0131011 «Поверхность» мощные коротковолновые генераторы поверхностной волны с одномерными и двумерными периодическими структурами»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Н. С. Гинзбург

В рамках проекта продолжены исследования генерации мощного когерентного импульсного излучения черенковского типа в пространственно-развитых электродинамических системах. Основными задачами очередного этапа являлись: проведение сравнительного анализа различных схем генераторов поверхностной волны с точки зрения возможностей освоения коротковолновых диапазонов в условиях существенной сверхразмерности пространства взаимодействия, разработка усилительных схем, а также развитие моделей, описывающих процесс сверхизлучения электронных сгустков в замедляющих системах различной геометрии.

Экспериментальное исследование генераторов поверхностной волны продолжено на основе термоэмиссионного ускорителя «Сатурн» 300 кэВ / 300 А / 10 мкс (ИПФ РАН). Разработаны проекты мощных генераторов поверхностной волны коаксиальной и цилиндрической геометрии в 4-мм и 2-мм диапазонах длин волн. Проведено

экспериментальное исследование макета генератора поверхностной волны 8-мм диапазона длин волн с одномерной (однопериодической) замедляющей структурой цилиндрической геометрии, диаметр которой составлял около 5 длин волн (периметр $\sim 16\lambda$). В оптимальной области параметров получено излучение с мощностью ~ 3 МВт при длительности импульса до 0.5 мкс. Спектральные измерения продемонстрировали установление узкополосного режима генерации со структурой поля, близкой к азимутально-симметричной. Однако, согласно проведенному моделированию, данный одночастотный режим устанавливается на нелинейной стадии эволюции в результате кооперации нескольких мод волноводных мод и имеет мультистабильный характер.

Для реализации устойчивого режима генерации на азимутально-симметричных модах разработан макет генератора поверхностной волны с двумерно-периодической структурой, начато ее экспериментальное исследование. Проведено «холодное» тестирование электродинамической системы генератора и электронно-оптические эксперименты по транспортировке пространственно-развитого трубчатого РЭП в генераторе. Целью экспериментов является сравнение когерентных свойств излучения при использовании в генераторе одномерно- и двумерно-периодических замедляющих структур. Эксперименты планируется завершить на следующем этапе исследований.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- безопасность и противодействие терроризму;
- индустрия наносистем и материалов;
- науки о жизни;

Критические технологии РФ:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
- нанотехнологии и наноматериалы;
- технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов;
- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную

энергетику;

- технологии создания электронной компонентной базы;
- технологии биоинженерии.

Научное направление, определенное уставом института:

- радиофизика и электроника, акустика.

НИР №0361011 «РЕГ» «Теоретическое и экспериментальное исследование гироклистронов на последовательности пространственно- развитых мод»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Н.И.ЗАЙЦЕВ, д.ф.-м.н. Э.Б.АБУБАКИРОВ

Текущий этап исследований релятивистских гироклистронов был посвящен оптимизации входных и выходных узлов мощных электронных приборов. Для подавления электронно-циклотронного разряда (ЭЦР) в импульсном релятивистском гироклистроне миллиметрового диапазона волн в коллекторной области использован выходной резонатор с оптимизированным профилем конического участка. Применение такого резонатора позволило увеличить мощность и длительность импульса выходного излучения. В режиме синхронизации автоколебаний выходного резонатора было получено излучение с выходной мощностью 10 МВт при КПД 33% и длительности импульса 0.75 мкс. В режиме усиления было получено излучение с выходной мощностью 8 МВт при КПД 30% и длительности импульса 0.7 мкс.

Теоретически исследованы варианты квазиоптического ввода СВЧ сигнала в усилительный гироклистрон с большим сечением рабочего пространства. В модельном эксперименте вращающаяся мода $H_{15,1}$ была возбуждена в окрестности частоты 36 ГГц в полосе 50 МГц с эффективностью больше 0.9.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- безопасность и противодействие терроризму;

- индустрия наносистем и материалов;
- информационно-телекоммуникационные системы.

Критические технологии РФ:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
 - нанотехнологии и наноматериалы;
 - технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации;
 - технологии создания электронной компонентной базы;
- Научное направление, определенное уставом института:*
- радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 0421011 «Дистанция» Релятивистские черенковские генераторы микроволнового диапазона для систем дистанционного воздействия

Научный руководитель д.ф.-м.н. Ковалев Н.Ф.

Исполнители: Ковалев Н.Ф., Гойхман М.Б., Громов А.В., Нечуев С.И., Палицин А.В.

Проведен цикл исследований полосовых и энергетических свойств адиабатических преобразователей быстрых циклотронных волн сильноточных релятивистских электронных пучков в электромагнитные волны. Найдены коэффициенты трансформации и предложено несколько способов их увеличения. К ним, в том числе, относятся:

- использование дополнительных гофрировок на стенках выходного волновода;
- резонансные переотражения в дополнительные несимметричные электромагнитные волны.

С помощью предложенных способов можно также увеличить полосу эффективного преобразования электромагнитных волн в циклотронные волны и, соответственно, уменьшить времена переходных процессов в релятивистских ЛОВ. Численные эксперименты подтвердили эффективность предложенных решений.

НИР №0591011 «ОБРАЗ» «Электродинамические и электронно-оптические системы мощных терагерцовых лсэ на основе электронных пучков микросекундной длительности»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Н.Ю.ПЕСКОВ

В проекте исследуется возможность создания в терагерцовом диапазоне мощных ЛСЭ на основе интенсивных РЭП микросекундной длительности. Для реализации ЛСЭ в указанном диапазоне при умеренно-релятивистской энергии пучков предлагается использовать режим вынужденного рассеяния волн, в котором волна накачки выступает в роли так называемого ВЧ-ондулятора. Его очевидным преимуществом перед традиционными (магнитостатическими) ондуляторами является более короткий период поля (длина волны). Экспериментальная реализация данной схемы осуществляется в сотрудничестве ИПФ РАН и ИЯФ СО РАН на базе ускорителя «ЭЛМИ» (ИЯФ СО РАН), формирующего параллельные ленточные пучки (0.8 МэВ/ 1 кА / 4 мкс).

В рамках очередного этапа проекта продолжены теоретические и экспериментальные исследования мощных длинноимпульсных ТГц ЛСЭ нового типа. Предложена схема двухстадийного терагерцового ЛСЭ на основе кольцевого брэгговского резонатора бегущей волны, запитываемого параллельными ленточными РЭП. Первый пучок, движущийся в поле планарного ондулятора используется для генерации волны накачки мм диапазона. Во второй секции в процессе встречного внутриврезонаторного

рассеяния на втором параллельном электронном пучке эта волна накачки трансформируется в ТГц излучение. Кольцевой резонатор составлен из четырех deflectоров, каждый из которых в окрестности частоты брегговского резонанса отклоняет излучение на угол 90° , обеспечивая тем самым замыкание кольца обратной связи для низкочастотного генератора накачки, и одновременно реализует эффективную передачу этой волны в секцию рассеяния. Разработан проект планарного двухпучкового мультимегаваттного ЛСЭ-генератора в диапазоне 1.5 - 2 ТГц на основе ускорителя «ЭЛМИ». Изготовлены ключевые элементы электродинамической системы ЛСЭ, продемонстрировано хорошее соответствие ее «холодных» тестов с результатами теоретического анализа и трехмерного моделирования.

Продолжено исследование генератора накачки, в качестве которого предполагается использовать планарный 75-ТГц МСЭ с двумерной распределенной обратной связью (РОС), реализованный на основе ускорителя «ЭЛМИ» на предыдущих этапах исследований. На данном этапе в МСЭ продемонстрирована возможность синхронизации излучения двух параллельных ленточных электронных пучков при использовании двумерной брегговской структуры, установленной на входе пространства взаимодействия и реализующей двумерную РОС. Режим стабильной узкополосной генерации получен при поперечных размерах системы 45×2.5 длин волн, что по степени сверхразмерности сопоставимо с электродинамическими системами современных мегаваттных гиротронов. Мощность излучения в каждом канале составляла $\sim 30 - 50$ МВт при длительности импульса до 200 нс. Т.о. достигнут энергозапас в СВЧ-импульсе на уровне $\sim 3 - 7$ Дж, рекордный для релятивистских импульсных генераторов в данном диапазоне длин волн.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- безопасность и противодействие терроризму;
- индустрия наносистем и материалов;
- технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику;
- науки о жизни;

Критические технологии РФ:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
- нанотехнологии и наноматериалы;
- технологии создания электронной компонентной базы;
- технологии биоинженерии.

Научное направление, определенное уставом института:

- радиофизика и электроника, акустика.

4.3.10. Программа «Нестационарные явления в объектах Вселенной»

НИР № 5341031 Астрономия-РАН-2014 «Нестационарные явления на магнитных вырожденных звёздах и в релятивистских джетах».

Научный руководитель акад. В. В. Железняков.

Проект 1. Когерентный механизм излучения на протонных циклотронных гармониках в высокотемпературной электрон-позитронной плазме.

Научн. рук. — В. В. Железняков, отв. исп. — П. А. Беспалов.

Рассмотрены условия распространения и возбуждения сравнительно низкочастотных электромагнитных волн в релятивистской магнитоактивной электрон-позитронной плазме с малой фракцией неравновесных нерелятивистских протонов. Взятые за основу параметры среды отвечают условиям в магнитосфере пульсара за пределами, но вблизи светового цилиндра. При неравновесных распределениях нерелятивистских протонов по импульсам в радиодиапазоне возможно развитие

неустойчивость на частотах, близких к гармоникам нерелятивистской гирочастоты протонов. Когерентное излучение может приводить к возбуждению электромагнитных волн с очень высокой яркостной температурой вблизи эквидистантно разнесённых частот в радиодиапазоне. Отметим, что такого типа спектры излучения пульсара в Крабе регистрируются в современных экспериментах. Сделанные выводы дополняют более ранние исследования, согласно которым на более высоких частотах за счёт синхротронного излучения релятивистских электронов и позитронов формируется оптическое излучение пульсара.

Проект 2. Исследование возможности взрывного нагрева хромосфер вследствие развития МГД-неустойчивостей в корональных магнитных петлях на звёздах поздних спектральных классов.

Научн. рук. — В. В. Зайцев, отв. исп. — Е. Я. Злотник, А. А. Круглов.

Обычно предполагается, что нагрев хромосфер Солнца и звёзд поздних спектральных классов происходит из-за вторжения энергичных частиц, ускоренных в звёздных коронах. С другой стороны, данные недавних наблюдений свидетельствуют о непосредственном нагреве хромосферных оснований компактных магнитных петель на Солнце до температуры в несколько миллионов градусов. Показано, что ускорение электронов и нагрев плазмы в хромосферах звёзд могут реализоваться при развитии в хромосферных основаниях магнитных петель неустойчивости Рэля—Тейлора. Эта неустойчивость приводит к проникновению внешней хромосферной плазмы внутрь петли и вызывает генерацию индукционного электрического поля, которое эффективно ускоряет электроны и обеспечивает нагрев хромосферы в соответствующей точке.

Проект 3. Моделирование жёстких гамма-источников в двойных системах.

Научн. рук. — Вл. В. Кочаровский, отв. исп. — Е. В. Деришев.

Известны несколько двойных систем, состоящих из компактного объекта и массивной звезды, расположенных на сравнительно близких орбитах. Такие системы являются мощными источниками переменного излучения в жёстком гамма-диапазоне (энергии фотонов от гига- до тераэлектронвольт). В данной задаче выполнен анализ спектров и переменности жёсткого гамма-излучения от двойных звёздных систем с компактными объектами. Предложена модель взаимодействия пульсарного ветра со звёздным ветром в массивных двойных системах с учётом переноса энергии-импульса жёстким излучением.

Проект 4. Моделирование переноса излучения в плазменных атмосферах нейтронных звёзд.

Научн. рук. — Вл. В. Кочаровский, отв. исп. — М. А. Гарасёв, Е. В. Деришев.

Для верхних слоёв атмосфер нейтронных звёзд, где происходит формирование циклотронных линий в спектре, характерно сильное преобладание рассеяния излучения над поглощением. В результате, прежде чем покинуть атмосферу, фотоны могут претерпеть многие тысячи комптоновских рассеяний. Учёт этого процесса в уравнениях переноса излучения сопряжен с большими вычислительными трудностями. В ходе выполнения проекта были получены приближённые уравнения переноса излучения, с одной стороны, качественно правильно описывающие комптонизацию излучения в циклотронной линии, а, с другой, значительно менее вычислительно сложные. В дальнейшем это позволит построить модели атмосфер нейтронных звёзд, в которых взаимовлияние плазмы и излучения друг на друга будет учтено самосогласованным образом. Полученные таким образом решения будут полезны для интерпретации наблюдательных данных и для определения на их основе параметров атмосфер нейтронных звёзд.

Проект 5. Сильный дихроизм плазмы по столкновительному поглощению в квантующем магнитном поле фотосфер белых карликов.

Научн. рук. — В. В. Железняков, отв. исп. — С. А. Корягин.

Разработана эффективная схема квантовомеханического расчёта вероятности излучения фотона при столкновении низкоэнергичного электрона с протоном в сильном магнитном поле с целью подтвердить сильное отличие коэффициентов столкновительного поглощения для разных нормальных электромагнитных волн в фотосфере магнитного белого карлика. Предложенная схема учитывает квазиклассическое движение электрона вблизи ядра и квантовомеханическую дифракцию электрона вдали от рассеивающего центра, обуславливающую характерное квазисвязанное хаотическое движение электрона в рассматриваемых условиях. Квантовый расчёт вероятностей сведён к обращению матриц конечной размерности. Квантовомеханическая схема позволила сделать вывод о сильном дихроизме низкотемпературной замагниченной плазмы белого карлика по столкновительному поглощению не только в случае классического движения тепловых электронов, но и в случае существенно квантованного движения частиц, когда электрон может находиться лишь на основном уровне Ландау до и после столкновения. Последний вариант реализуется на белых карликах с наиболее сильным магнитным полем, для которых возможно наблюдение дихроизма по сильной линейной поляризации излучения не только в инфракрасном, но и в оптическом диапазоне.

*Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ:
7. Транспортные и космические системы.*

Критическая технология РФ: 24. Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения.

Научное направление работы в уставе института: «Астрономия и исследования космического пространства».

4.3.11. Программа «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология»

Тема № 533.1 Шифр «Шельф» «Когерентная сейсмоакустика морского дна»

Научный руководитель Малеханов А.И.

Сроки: 2012 – 2014 гг.,

Разработана конструкция, проведены лабораторные (на базе гидроакустического бассейна ИПФ РАН) и натурные (в условиях Горьковского водохранилища) испытания прототипа буксируемого когерентного гидроакустического излучателя нового типа. Излучатель обеспечивает формирование широкополосного зондирующего сигнала в двух рабочих диапазонах: в полосе 100 – 700 Гц и в полосе 600 – 1500 Гц.

- 1) Рациональное природопользование
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Радиофизика и электроника, акустика

Тема 544 НИР Океан Шифр «Слой» «Радиофизические методы дистанционной диагностики процессов в пограничных слоях океана и атмосферы прибрежной зоны и внутренних водоемов», рук.

Научный руководитель Троицкая Ю.И.

Сроки выполнения 2012-2014

Выполнены комплексные лабораторные эксперименты, направленные на исследование зависимостей коэффициентов аэродинамического сопротивления и

турбулентного теплообмена (числа Стентона) в приводном воздушном слое от скорости ветра и параметров волнения. Одновременно фиксировалось присутствие и количество брызг в приводном слое воздуха. Обнаружено, что резкий рост коэффициента сопротивления и числа Стентона сопровождался появлением и ростом концентрации брызг в приводном пограничном слое. Предложена гипотеза о том, что наблюдаемое явление связано с неустойчивостью границы раздела воды и воздуха типа "bag break-up", которая была обнаружена с помощью теневого метода с подсветкой на просвет и скоростной видеосъемки с использованием высокоскоростной камеры NAC Memrecam NX-3.

- 1) Рациональное природопользование
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды
- 3) Научное направление: Физические процессы в океане

4.3.12. Программа «Фундаментальные проблемы исследований и освоения Солнечной системы»

НИР № 5081201 «ПСС-2012» «Плазменные и плазменно-волновые явления в Солнечной системе»

Научный руководитель д.ф.-м.н. А. Г. Демехов

Нагрев плазмы, ускорение частиц и генерация электромагнитного излучения в солнечной атмосфере (В.В.Зайцев)

Показано, что ускорение электронов и нагрев плазмы в нижней хромосфере могут реализоваться при развитии в хромосферных основаниях магнитной петли баллонной моды желобковой неустойчивости.

Предложен механизм суб-секундных квазипериодических пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечной арки в виде эквивалентного электрического (RLC) контура.

Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра.

Исследование электродинамических процессов в электродинамической цепи, существующей между ионосферами планет-гигантов и их спутниками, и проявлений этих процессов в ускорении частиц и генерации декаметрового, километрового и ультрафиолетового излучений, наблюдающихся от этих планет и их спутников (В. Е. Шапошников)

Исследована причина наблюдаемой корреляции между величиной потока ультрафиолетового излучения от экваториальных спотов Ио и положением спутника на его орбите. Показано, что наблюдаемая корреляция обусловлена двумя причинами: зависимостью излучательной способности источников ультрафиолетового излучения от величины магнитного поля Юпитера в области генерации и изменением магнитного поля вдоль траектории спутника. Указано, что благодаря корреляции между величиной потока ультрафиолетового излучения и величиной магнитного поля планеты, наблюдения ультрафиолетового излучения экваториальных спотов могут служить независимой радиоастрономической проверкой создаваемых моделей магнитного поля Юпитера.

Формирование плазменной структуры и токовых систем вращающихся планетных магнитосфер, особенности распределения концентрации фоновой плазмы в магнитосферах планет-гигантов и крупномасштабные токовые системы, обусловленные нетвердым вращением магнитосферы (С. С. Давыденко).

Разработана численная модель квазистатических полей и токов в верхней атмосфере, обусловленных одиночным электрическим (молниевым) разрядом в тропосфере. Модель основана на решении полной системы уравнений Максвелла методом

конечных разностей во временной области в применении к релаксации возникшего в результате разряда возмущения пространственного заряда. Разряд описывается локализованным импульсным сторонним током, пространственно-временные параметры которого могут соответствовать различным типам тропосферных разрядов (внутриоблачному разряду либо разряду облако–земля). Временной профиль разрядного тока включает медленную компоненту, в случае разряда облако–земля соответствующую стадии непрерывного тока. Направление разрядного тока произвольно, что позволяет описывать пространственную асимметрию формирующегося после разряда распределения плотности заряда. Учитывается возмущение электрической проводимости в окрестности грозового облака, при этом форма облака может быть произвольной. Считается, что в тропосфере и мезосфере электрическая проводимость экспоненциально растёт с высотой, выше мезопаузы проводимость анизотропна и соответствует известным моделям ионосферы (в частности, IRI и MSIS-E-90). Проанализирована зависимость характеристик всплеска квазистатического электрического поля в верхних слоях атмосферы от пространственно-временных параметров разрядного тока, возмущения электрической проводимости внутри грозового облака, проводимости верхних слоёв атмосферы и расстояния до молниевых разрядов. Модель позволяет определить квазистатические поля и токи молниевых разрядов в верхних слоях атмосферы, что важно для оценки вклада импульсных тропосферных электрических источников в формирование глобальной атмосферно-ионосферной токовой системы.

Распространение волн и их резонансное взаимодействие с частицами в планетарных магнитосферах (А. Г. Демехов, П. А. Беспалов)

Проанализированы квазипериодические ОНЧ излучения с короткопериодической тонкой структурой, зарегистрированные 24 декабря 15 UT до 22 UT на наземной станции в северной Финляндии.

Исследована эффективность отклика на внешние воздействия экваториальной токовой струи в низкоширотной ионосфере.

С помощью расчетов лучевых траекторий ОНЧ волн в ионосфере и магнитосфере Земли с учетом искусственных возмущений, созданных при нагреве ионосферы мощным радиоизлучением, определено изменение амплитуды волн при их распространении в таких неоднородностях.

6.5 Аналитическое описание структуры, стационарного состояния и внутренней динамики крупномасштабных магнитосфероподобных плазменных объектов в рамках кинетической теории (В.М.Губченко)

Показано, что плазменные короны, сформированные в результате разлетов плазмы Солнца и звезд и разлетов лазерной плазмы в физике высоких плотностей энергии (ФВПЭ) подобны внешне, представляя собой ансамбль 3D магнитосфероподобных стримеров кинетической природы. Показано, что стримеры формируются в результате взаимодействия горячего потока расширяющейся бесстолкновительной плазмы с магнитоактивными областями, находящимися в основаниях. В основе взаимодействия возбуждение потоком в области непрозрачности бесстолкновительной плазмы «волнового пакета» индукционных электромагнитных мод. В частности, на основе полученного выражения для импедансных кинетических характеристик отдельного стримера, можно определить «нагрев» проходящего потока максвелловской плазмы «трением» о намагниченность.

Антенные и зондовые методы диагностики электромагнитных излучений (генерации, распространения и регистрации шумовых и регулярных излучений) в плазме солнечного ветра, в магнитосфере и ионосфере Земли и других планет солнечной системы. Предложение новых методов диагностики параметров неравновесной космической плазмы (Ю. В. Чугунов)

Решена краевая задача о распределении заряда (тока) на тонкой цилиндрической антенне в частотных диапазонах, возможна генерация квазипотенциальных волн

резонансного конуса в магнитоактивной плазме. Решение интегрального уравнения для распределения заряда на антенне, ориентированной под произвольным углом к направлению внешнего магнитного поля, позволяет найти частотную и угловую зависимость импеданса антенны. Полученные результаты имеют весьма широкое практическое значение в задачах волновой диагностики параметров и излучений в околосолнечной плазме, плазмы солнечного ветра и плазменных оболочек других планет.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Рациональное природопользование, Энергетика и энергосбережение;

Критическая технология РФ: мониторинг и прогнозирование состояния атмосферы и гидросферы, снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф;

Научное направление работы в уставе института: электродинамика плазмы (плазменная астрофизика, геофизическая электродинамика)

Тема №5051202, шифр «Марс» «Электрическое динамо в атмосферах планет Солнечной системы»»

Руководитель: Мареев Евгений Анатольевич

Сроки выполнения: 19.05.2014 - 31.12.2014

Аннотация. Продолжено исследование основных критериев существования ГЭЦ планет на основе разработанной участниками проекта сферической модели, дополненной моделями формирования профилей проводимости и сторонних токов, обусловленных атмосферными электрическими генераторами. Подведены итоги работы по моделированию глобальной электрической цепи на Марсе. Расчеты показали, что ГЭЦ на Марсе может существовать только во время работы очень мощного и протяженного (вертикальные размеры не менее 5 км) генератора, связанного с масштабными пылевыми бурями. Дан обзор данных по молниевой активности в атмосфере Сатурна. Сделан предварительный вывод о возможности существования ГЭЦ на планетах-гигантах. Развита аксиально-симметричная самосогласованная плазмохимическая модель генерации высотных разрядов - спрайтов и гало в планетных атмосферах.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы

Тема №5431192, шифр «Заря» «Солнечная активность, гидрологический цикл и атмосферное электричество: физические механизмы взаимосвязи, роль в изменчивости климатической системы Земли»

Руководитель: Мареев Евгений Анатольевич

Сроки выполнения: 30.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация. Проведены одновременные измерения электрического поля с помощью серийных электростатических флюксометров Voltek-EFM-100 установленных на зданиях институтов ИПФ РАН (высота ~35 м) и ИФМ РАН (высота ~25 м) и радиометрические измерения яркостной температуры облаков с помощью 8 мм радиометра, изготовленного в ИПФ РАН. На основе обработки данных измерений получено, что спектральная плотность флуктуаций яркостной температуры в периоды хорошей погоды состоит из ВЧ компоненты, обусловленной турбулентностью воздушной массы в приземном слое

атмосферы и НЧ компоненты, связанной с турбулентными движениями в капельных облаках на высотах около 1 км. Частотная зависимость обеих компонент согласуется с колмогоровским спектром турбулентности с показателем $-8/3$. В спектральной плотности флуктуаций яркостной температуры грозовых облаков обнаружена ограниченная полоса в районе частоты 0.01 Гц с более высоким уровнем флуктуаций по сравнению с обычной облачностью. В отдельных полосах частот выявлены квазипериодические коррелированные возмущения электрического поля и среднесуточной температуры воздуха, связанные с характерными временами переноса воздушных масс независимо влияющих на оба анализируемых параметра.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы

4.4. Программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН

4.4.1. Программа «Фундаментальные основы акустической диагностики искусственных и природных сред»

Тема № 527.1 НИР «Акустика – 1» «Нелинейная акустическая диагностика микронеоднородных сред и материалов, в том числе, биологических тканей»

Руководитель: В.Е. Назаров.

Аннотация. Проведены теоретическое исследование распространения продольных акустических волн в микронеоднородных средах с разномодульной упругой нелинейностью и релаксацией. Получены точные аналитические и численные решения для стационарных волн и “самоподобных” периодических волн в таких средах.

Тема № 528.1 НИР «Акустика – 2» «Диагностика и модификация многофазных сред в акустических полях»

Руководитель – И.А. Соустова.

Аннотация: На базе созданной ранее экспериментальной установки выполнен цикл исследований нелинейных акустических эффектов и медленной динамики в сыпучих средах. Исследовались как модельные среды, состоящие из частиц с разной степенью шероховатости поверхности, так и образцы реального грунта с площадки проведения натуральных экспериментов на полигоне ИПФ РАН «Безводное». Разработана эскизная документация для доработки экспериментальной установки, предназначенной для исследования гетерогенных пористых материалов при различной степени влагонасыщенности методом акустической спектроскопии. Основными отличительными особенностями используемых экспериментальных методов являются: одновременное определение характеристик как объемных, так и сдвиговых деформаций, контроль величин напряжений и деформаций и возможность измерений абсолютных величин в реальном масштабе времени; контроль и поддержание заданных термодинамических условий при проведении измерений.

НИР «Акустика – 3» «Теоретическое и экспериментальное исследование влияния когерентности зондирующих полей на точность и чувствительность систем низкочастотной акустической томографии океана»

Руководитель: А.И. Хилько

Аннотация: Исследовано влияние когерентности зондирующих сигналов на эффективность работы сетцентрических систем акустического мониторинга подводных звуковых каналов в шельфовых зонах океана и прибрежных морях. Развита методика частично-когерентного накопления при принятии интегральных решений и адаптивного управления звуковыми полями в океанических волноводах с использованием априорной информации о параметрах волноводов, объектах наблюдения, аддитивных шумах океана.

Тема 531.1.07.2 «Акустика-4» «Развитие методов управления полями и обработки сигналов в акустических волноводах»

Научный руководитель – А.Л. Вировлянский.

Аннотация. Развита методика синтеза амплитудно-фазовых распределений на элементах вертикальной антенны в подводном звуковом канале для фокусировки поля в заданную область волновода. Задача решена как для детерминированной модели среды, так и с учетом флуктуаций показателя преломления. Задача решена с использованием метода нормальных мод. При практической реализации алгоритма фокусировки во флуктуирующем волноводе основной трудностью является вычисление корреляционной матрицы амплитуд мод. Предложен упрощенный метод расчета элементов этой матрицы в глубоком море, базирующийся на результатах, полученных в предыдущих работах участников авторского коллектива. Эффективность предложенного метода подтверждена сопоставлением его предсказаний с результатом вычисления статистических моментов амплитуд мод методом Монте Карло, основанном на расчете поля в отдельных реализациях случайно-неоднородного волновода методом широкоугольного параболического уравнения (с последующим усреднением по реализациям). Проведена экспериментальная апробация усовершенствованных методов анализа когерентных вибрационных полей в задачах поиска источников и параметризации полей в задачах взаимодействия с внешней средой

1) *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ:* Рациональное природопользование

2) *Критическая технология РФ:* Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

3) *Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН:* Радиофизика, электроника, акустика

Тема № 5321 «Акустика-9» «Методы ультразвуковой и вибрационной диагностики биологических сред»

Руководитель В.В. Казаков

Сроки: 2012-2014

Теоретически и экспериментально исследованы частотные характеристики двухэлементных сфокусированных ультразвуковых пьезопреобразователей. Определены условия изменения мощности и частоты излучения в зависимости от нагружения любого из преобразователей электрической нагрузкой. Найдены условия использования

преобразователя для модуляции амплитуды излучаемой им ультразвуковой волны. Разработан метод и создан лабораторный макет портативного аппаратно-программного комплекса для дистанционного измерения сдвиговых упругих характеристик биологических тканей на основе ультразвуковой доплеровской регистрации низкочастотных вибраций, задаваемых с поверхности тканей.

ПН РФ – Науки о жизни

КТ РФ – Биомедицинские и ветеринарные технологии

НН ИПФ – Радиофизика и электроника, акустика

4.4.2. Программа «Нелинейно-оптические методы и материалы для создания лазерных систем нового поколения»

Тема №5101093 «Решётка-08» «Разработка физических основ создания мощных твердотельных и волоконных лазерных систем с нелинейно-оптическим управлением параметрами излучения»

Руководитель О.Л. Антипов

Сроки выполнения: 2012–2014

Проведены исследования механизмов модовой неустойчивости в иттербиевых волоконных усилителях с “модой большого диаметра”. Пространственно-временная неустойчивость основной моды зарегистрирована в волоконном усилителе с диаметром сердцевины 8.5 микрон при мощности диодной накачки в несколько ватт. Мощность основной моды за счёт нелинейно-оптического эффекта преобразовывалась в моды более высокого порядка. Теоретические исследования и численное моделирование показали, что эффект нелинейно-оптического преобразования энергии обусловлен рассеянием основной моды на динамической решётке показателя преломления, которая сопровождала решётку населённости, индуцированную интерференционным полем фундаментальной моды и моды более высокого порядка.

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема №0771093 «Ветвь-08» «Новые лазерные системы среднего ИК диапазона на основе твердотельных лазеров с диодной накачкой и параметрических генераторов света»

Руководитель А.А. Новиков

Сроки выполнения: 2012–2014

Проведены исследования лазерной генерации в трёхмикронном диапазоне длин волн в монокристалле $\text{Cr}_2^+:\text{CdSe}$ с накачкой излучением лазера на керамике $\text{Tm}_3^+:\text{Lu}_2\text{O}_3$ (на длине волны 2066 нм). Получена импульсно-периодическая генерация на длине волны 2920 нм (с шириной линии ~80 нм). Мощность генерации достигала 350 мВт в импульсах длительностью ~200 нс, следующих с частотой повторения 10 кГц, в пучках высокого качества (с расходимостью, близкой к дифракционному пределу).

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 5141093 «Аттосекунда» «Разработка принципов генерации излучения и создание источников электромагнитных импульсов в аттосекундном диапазоне длительностей»

Руководитель М.Ю. Рябикин

Сроки выполнения: 2012–2014

С учетом влияния магнитного поля лазерного импульса на движение отрываемого от атома электрона в поле интенсивного излучения среднего ИК диапазона теоретически исследованы предельные возможности генерации экстремально коротких рентгеновских волновых форм с использованием квантовой интерференции вкладов в сигнал высоких гармоник от различных групп электронов. Показано, что исследуемый эффект может наблюдаться при увеличении длины волны лазерного источника вплоть до примерно 16 мкм, при этом длительность каждого рентгеновского всплеска в генерируемой последовательности может достигать нескольких сотен зептосекунд.

Построена общая теоретическая модель для описания модуляционно-индуцируемой прозрачности, генерации широкополосного рентгеновского излучения и других квантовых интерференционных эффектов при резонансном взаимодействии высокочастотного излучения с атомами газа, одновременно облучаемыми интенсивным нерезонансным лазерным полем. На основе построенной модели исследованы оптимальные условия наблюдения модуляционно-индуцируемой прозрачности и возможности управления спектральными и временными свойствами резонансно рассеянного рентгеновского излучения.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 5131093 «Солитон 3» «Волоконные источники фемтосекундных импульсов с широким диапазоном нелинейно-оптической перестройки длины волны в ИК диапазоне»

Руководитель А.В. Ким

Сроки выполнения: 2012–2014

Экспериментально показано, что генерация суперконтинуума, простирающегося более чем на октаву, может быть эффективно осуществлена в германатном волокне при использовании в качестве накачки фемтосекундных импульсов на длине волны 2 мкм. Импульсы наноджоульного уровня после тулиевого усилителя направлялись в отрезки германо-силикатных волокон с высоким (вплоть до 100%) содержанием окиси германия. Получена эффективная генерация суперконтинуума, простирающаяся до 3-х микронной границы, что также согласуется с численными расчетами.

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Технологии наноустройств и микросистемной техники

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема №5151093 «Ультра-1» «Нелинейно-оптические методы для генерации ультракоротких электромагнитных импульсов оптического и терагерцового диапазонов»

Руководитель А.Н. Степанов

Сроки выполнения: 2012–2014

Экспериментально исследована генерация ТГц излучения фемтосекундными лазерными импульсами со скошенным фронтом интенсивности в охлажденном кристалле LiNbO₃. Показано, что при охлаждении кристалла до криогенной температуры энергия генерируемого ТГц излучения увеличивается в 2.5-3 раза. Энергия ТГц импульсов лежит в диапазоне 1-10 мкДж, что при острой фокусировке позволяет получать терагерцовые поля вплоть до мегавольтовой величины.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема 5111093 «Регус» «Регенеративные и многопроходовые усилители на основе Yb:YAG с диодной накачкой для субпиковаттных параметрических усилителей с высокой частотой повторения импульсов»

Руководитель Андреев Н.Ф.

Сроки выполнения 2012-2014

Сделаны теоретические расчёты, учитывающие зависимость сечений перехода линии поглощения накачки и лазерного перехода Yb в Yb-YAG в диапазоне температур 300...450⁰К, показавшие увеличение температуры внутри активного элемента (АЭ), снижение коэффициентов поглощения накачки и усиления лазерного излучения за проход по сравнению с соответствующими параметрами, полученными без учёта данной зависимости. Это приводит к увеличению требуемого числа проходов, как накачки, так и лазерного излучения через АЭ, что резко увеличивает требования к отражающим и просветляющим покрытиям, а также к тепловым контактам соответствующих поверхностей АЭ и теплообменника. Возможность реализации таких требований лежит в области соответствующих технологий.

В сложившейся ситуации предложен компромисный между криогенным и водяным охлаждением подход при создании лазерных систем с высокой средней мощностью, заключающийся в охлаждении АЭ с помощью антифриза при отрицательных температурах. Практически возможно охлаждение антифриза до -80⁰С. При этом, во-первых, повышаются сечения переходов, а во-вторых, теплофизические параметры антифриза позволяют обеспечивать достаточно высокие потоки тепла через омываемые поверхности и, в третьих, это позволит использовать традиционные холодильные системы для отвода из антифриза полученных при охлаждении АЭ тепловых мощностей ≥ 1000 Вт.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 5121093 «Бриллюэн» «Исследование и оптимизация компрессии лазерных импульсов при ВРМБ для создания компактных пикосекундных лазеров»

Руководитель О.В. Кулагин

Сроки выполнения: 2012–2014

Продолжено экспериментальное исследование ВРМБ-компрессии лазерных импульсов наносекундной длительности, в частности проанализированы предельные возможности такого способа компрессии. На основании теоретического рассмотрения разработана и экспериментально исследована схема эффективной компрессии лазерных импульсов до пикосекундных длительностей в сочетании с двухпроходным лазерным усилителем. Это позволило модернизировать компактный лазер с диодной накачкой и получить следующие параметры выходного излучения: длительность импульса 80-90 пс, энергия до 2.5 мДж на длине волны 532 нм при частоте следования импульсов 300 Гц и расходимости выходного излучения, близкой к дифракционному пределу. Лазер, работающий в широком температурном диапазоне, был успешно испытан в системе спутниковой дальнометрии.

ПН РФ – Транспортные и космические системы

КТ РФ – Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии информационных, управляющих, навигационных систем

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.4.3. Программа «Современные проблемы радиофизики»

НИР № 4891061 «Винт» Мощные широкополосные гиро-ЛБВ миллиметрового диапазона длин волн»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.В. Самсонов

Участники: А.А. Богдашов, И.Г. Гачев, Г.Г. Денисов, С.В. Мишакин

Выполнен теоретический анализ возможности реализации гиро-ЛБВ на частоте 260 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для спектроскопических приложений, а именно, выходной мощностью 300-400 Вт и шириной полосы усиления до 6 ГГц. Разработано техническое задание на конструирование основных узлов гиро-ЛБВ. Начата разработка технологии изготовления винтовых структур с мелкомасштабными (менее 1 мм) элементами.

Приоритетное направление: информационно-телекоммуникационные системы, перспективные вооружения, военная и специальная техника

Критическая технология: базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии, технологии создания электронной компонентной базы

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 4911061 «ОФН-IV.12-РАН-2014» («Алло») «Исследование возможности сверхизлучательной генерации в полупроводниковых многослойных гетеролазерах и, в частности, сверхрешётках на внутризонных переходах в среднем и дальнем ИК диапазонах длин волн»

Научный руководитель чл.-корр. РАН Вл.В.Кочаровский.

Проект финансируется совместно с группой исследователей из ИФМ РАН под руководством д.ф.-м.н., зав. отд. В.И.Гавриленко.

Исполнители: Вл.В. и В.В.Кочаровские, А.А.Белянин, В.А.Кукушкин, С.В.Тарасов, Е.Р.Кочаровская (1 аспирант, 2 кандидата физ.-мат. наук, 3 доктора физ.-мат. наук, 1 участник моложе 39 лет).

С использованием оригинального разложения лазерного поля по так называемым эмпирическим модам с переменной пространственно-временной структурой предложен и разработан новый подход к анализу динамики сверхизлучающих лазеров (лазеров класса D), время жизни фотонов в резонаторах которых мало по сравнению со временем жизни оптической поляризации активных центров инвертированной среды. До последнего времени теоретический анализ различных режимов работы и спектрально-корреляционных свойств излучения таких лазеров был крайне ограниченным, поскольку используемые в лазерной физике способы описания динамики электромагнитного поля и активной среды в резонаторе (стандартное разложение по «холодным» или «горячим» модам и по волнам непрерывного спектра) не эффективны для низкодобротного многомодового резонатора, поле в котором создаётся самосогласованными нелинейными колебаниями активных центров и оказывается быстро вытекающим, сильно нестационарным и пространственно-неоднородным. Вместе с тем, данная задача актуальна для информационной оптики, лазерной физики и радиофизики: успехи современной технологии, особенно в области полупроводниковых гетероструктур, не оставляют сомнений в том, что скоро будут созданы плотные (пространственно и спектрально) ансамбли активных центров, допускающие подобную многообещающую лазерную генерацию, т.е. излучение когерентных цугов импульсов коллективного спонтанного излучения (сверхизлучения Дике) при непрерывной накачке.

На примерах численного анализа двухуровневой модели полупроводникового лазера с низкодобротным комбинированным резонатором Фабри-Перо с распределённой обратной связью встречных волн показано, что предложенный подход позволяет создавать эффективные эмпирические модели качественно различных режимов генерации и воспроизводить спектрально-корреляционные свойства лазерного излучения с использованием данных численного счета, представленных в базисе найденных эмпирических мод. Эффективность метода продемонстрирована для случая, когда отражения от торцов активного образца не слишком малы по сравнению с величиной интегральных брэгговских отражений и параллельно с цугами сверхизлучательных импульсов благодаря вызванной ими самосинхронизации части мод возникает ещё одна импульсная квазипериодическая составляющая с периодом, примерно равным времени обхода резонатора светом. Развитый подход позволил, в частности, наглядно доказать, что сверхизлучательные моды могут давать вклад в обходящий резонатор импульс синхронизованного излучения, а его энергосодержание может быть сравнимо с энергосодержанием импульсов сверхизлучения несамосинхронизованных мод. Также было показано, что взаимная когерентность цугов импульсов сверхизлучения может быть ниже, чем взаимная когерентность отдельных импульсов синхронизованного излучения даже в далеко отстоящих цугах, что характерно для многомодовой генерации с частичной синхронизацией мод.

Публикации

1. V.I.V.Kocharovskiy, A.A.Belyanin, E.R.Kocharovskaya, and V.V.Kocharovskiy, "Superradiant lasing and collective dynamics of active centers with polarization lifetime exceeding photon lifetime", *Advanced Lasers: Laser Physics and Technology for Applied and Fundamental Science Series: Springer Series in Optical Sciences*, V. 193. Shulika, Oleksiy; Sukhoivanov, Igor (Eds.) 2015, 250 p.

2. В.В.Кочаровский, А.С.Гаврилов, Е.Р.Кочаровская, В.В.Кочаровский, Е.М.Лоскутов, Д.Н.Мухин, «Холодные, горячие и блуждающие моды в сверхизлучающих гетеролазерах» // Программа и тезисы докладов 4-го Всероссийского симпозиума с международным участием «Полупроводниковые лазеры: физика и технология» (Санкт-Петербург, 10–13 ноября 2014 г.).- С.-П.: Политехнический университет, 2014. С. 15.

3. E.R.Kocharovskaya, V.V.Kocharovsky, Vl.V.Kocharovsky, «Superradiant Lasing: Quasi-regular and Quasi-chaotic Regimes» // Invited talk at the VII-th International Conference "SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives" (SCT-14) (Chernogolovka, Aug. 4 – 8, 2014).

Приоритетное направление - Индустрия наносистем

Критические технологии - 8. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Научное направление по уставу ИПФ – Радиофизика и электроника, акустика

НИР № 4921061 «Спектр» «Прецизионная микроволновая спектроскопия молекул, представляющих интерес для астрофизических и фундаментальных исследований»

Научный руководитель д.ф.-м.н. А.В. Лапинов

Проведен анализ вновь выполненных лабораторных измерений CH_3OH и CH_3OD с целью исследований сверхтонкой структуры торсионно-вращательных переходов метанола, а также уточнения лабораторных частот переходов, представляющих большое значение как для поиска вариаций фундаментальных констант, так и движений, связанных с формированием протозвездных объектов. С целью исследования предельной точности созданного спектрометра и причин, ограничивающих данную точность, проведен анализ лабораторных измерений методом провала Лэмба вращательных переходов основного колебательного состояния молекулы OCS в диапазоне 48 – 522 ГГц. Характерная экспериментальная точность составила ~ 0.4 кГц, что в два раза лучше, чем было достигнуто на аналогичном спектрометре, созданном нами ранее в университете г. Киль (Германия). По результатам работы направлена статья в журнал Известия ВУЗов «Радиофизика». Уточненный спектр молекулы OCS , рассчитанный на основе полученных данных, представляет большой интерес в качестве калибровочного эталона частот при измерениях линий других молекул.

Научные направления: радиофизика и электроника, акустика; астрономия и исследования космического пространства

НИР №4941061 «Зонд» «Разработка резонансных композитных материалов для маскировочных покрытий и электродинамических устройств терагерцового диапазона».

Научный руководитель: д.ф.-м.н. А. И. Смирнов.

1). Показано, что поперечная электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль постоянного электрического поля в жидком метакристалле (ЖМК), может приводить к спонтанной переориентировке удлиненных мета-атомов, а, следовательно, к изменению направления оси анизотропии и эффективного показателя преломления среды. Из-за этого создаются условия для формирования пространственных солитонов, представляющих собой домены переориентированных мета-атомов с захваченными фотонами. С помощью численного моделирования изучены эффекты возбуждения и столкновения таких солитонов.

2). Показано, что в результате резонансного туннельного взаимодействия поля падающей электромагнитной волны с поддерживаемым многослойным графеном плазмонам в графене могут возбуждаться долгоживущие диссипативные плазмон-солитонные структуры.

Критические технологии: Индустрия наносистем и материалов.

Приоритетные направления развития науки: Нанотехнологии и наноматериалы.

Направление работ института: Радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 4951061 «Ион» «Эффекты электромагнитной индуцированной прозрачности в квантовых и классических системах».

Научный руководитель: к.ф.-м.н. В.А. Миронов

В рамках научного направления «Радиофизика и электроника, акустика» проведен детальный численный и аналитический анализ поведения одномерных темных солитонов и развития их поперечной неустойчивости в экситон-поляритонных бозе-эйнштейновском конденсате (БЭК) при отсутствии спиновых степеней свободы с учетом диссипации в зависимости от мощности накачки в условиях нерезонансного фотовозбуждения экситонных поляритонов. В частности, с использованием вариационного принципа и интегралов движения было показано, что в отличие от консервативной ситуации в данном случае нелинейные возбуждения, близкие по своей структуре к темным солитонам, исчезают за конечное время, которое определяется параметрами системы. Кроме того, было продемонстрировано, что нелинейная стадия модуляционной неустойчивости квазиодномерных темных солитонов в экситон-поляритонном конденсате заканчивается образованием пар вихрь – антивихрь лишь в узкой области значений характеристик системы. При этом формирование вихревых пар происходит за более длительный промежуток времени по сравнению с атомарным БЭК без учета диссипации. Это связано с конкуренцией двух процессов: релаксации квазисолитонных структур к фоновому значению плотности экситонных поляритонов и образования глубоких провалов концентрации, из которых потенциально могут рождаться топологические дефекты

Критические технологии: Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Приоритетные направления развития науки: Информационно-телекоммуникационные системы.

Направление работ института: Радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 4961061 «Матрица» «Высококочувствительные супергетеродинные матричные приемники миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн»

Научный руководитель д.ф.-м.н. И.И. Зинченко

Проведена разработка ортомодового разделителя поляризаций для 3 мм приемника. При разработке в качестве базовой модели использовалась конструкция ортомодовых разделителей поляризаций для приемников антенной решетки ALMA. В процессе проектирования особое внимание было уделено адаптации конструкции к возможностям опытного производства. Кроме того, проведена верификация оптического тракта с использованием программы физической оптики GRASP. Результаты симуляции показали эффективность облучения вторичного зеркала не менее 75%.

Приоритетное направление:

Критические технологии:

Научные направления: радиофизика и электроника, акустика; астрономия и исследования космического пространства

НИР № 5951061 «Око». «Создание основ радиовидения в мм и субмм диапазоне».

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Е.Д. Господчиков.

В рамках научного направления «Радиофизика и электроника, акустика» проведены исследования, направленные на развитие физических принципов диагностики функции распределения ионов термоядерной плазмы методом коллективного рассеяния с использованием излучения мм и суб-мм диапазона.

Критические технологии: Энергетика и энергосбережение

Критическая технология РФ: 13. Технологии новых и возобновляемых источников энергии; 31. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии

Направление работ института: Радиофизика и электроника, акустика.

Тема 4931062 «Покров» «Разработка радиофизических методов и средств исследования атмосферы и подстилающей поверхности»

Руководитель – д.ф.-м.н. Фейгин А.М.

Срок: 2014.

Проведены первые систематические исследования температурной зависимости коэффициентов уширения линий тонкой структуры кислорода в миллиметровом диапазоне длин волн. Показано, что включение установленных температурных зависимостей в модели распространения мм/субмм излучения в атмосфере позволяет повысить точность определения параметров атмосферы по данным дистанционного зондирования.

Проведена измерительная кампания по исследованию процессов в нижней и средней атмосфере над Нижнем Новгородом с помощью комплекса RPG-NATPRO-G3 для исследования тропосферы, микроволнового мобильного озонметра и микроволнового мобильного стратосферного термометра.

Разработан метод выделения климатических мод путем комбинированного использования реальных данных и пространственно распределенных временных рядов, сгенерированных глобальными климатическими моделями. Использование более протяженных, в сравнении с реальными данными, компьютерных рядов повысило качество реконструкции пространственно-временных структур, обладающих наибольшими временными масштабами. В результате увеличилась точность реконструкции "быстрых" пространственно-временных мод, производимая по реальным данным. Предложен алгоритм сравнительной верификации глобальных климатических моделей, основанный на сравнении мелкомасштабных пространственно-временных структур, выделенных из модельных данных, со структурами, построенными по реальным временным рядам.

- 1) Рациональное природопользование,
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы,
- 3) Радиофизика и электроника, акустика.

Тема № 497 Шифр «Диагноз» «Исследование изменчивости ветрового волнения и его радиолокационное зондирование с целью восстановления характеристик приповерхностных процессов в океане и атмосфере»

Научный руководитель С.А. Ермаков.

Срок: 2014.

На основе модели видимости взволнованной поверхности моря под скользящими углами наблюдения разработан и апробирован метод восстановления пространственного распределения скорости приповерхностного ветра по пространственно – временным изображениям поверхности, и развит метод диагностики динамических процессов в океане и атмосфере по их проявлениям на морской поверхности. Разработан макет многоканального оптического комплекса для регистрации пространственно – временных изображений морской поверхности, проведены натурные эксперименты по исследованию проявлений внутренних волн, распределения ветра с помощью данного комплекса, в частности, получены уникальные данные по структуре кататического ветра над морем на расстояниях до десяти километров.

Исследованы характеристики радиолокационного сигнала при зондировании ветрового поверхностного волнения в условиях умеренного и сильного ветра, получены зависимости интенсивности рассеяния и радиолокационной модуляционной передаточной функции (МПФ) от угла падения, азимутального угла, скорости ветра при различных поляризациях зондирующего радиосигнала. Показано, что небрэгговская компонента рассеяния, обусловленная обрушениями поверхностных волн дает существенный вклад в радиолокационное сечение рассеяния, однако не сильно сказывается на доплеровских сдвигах и МПФ.

Разработан алгоритм определения одномерного пространственного спектра волнения по пространственной корреляционной функции изображения круга Снеллиуса. В приближении малых уклонов найдено аналитическое выражения, связывающее две указанные характеристики. Исследована структура изображений подводной солнечной дорожки с учетом рассеивающих свойств воды. Методом численного моделирования получены оценки оптических глубин, на которых вклад рассеянного в воде света в видимую яркость поверхности становится преобладающим. Разработаны алгоритмы восстановления показателей рассеяния и ослабления воды по накопленному изображению подводной солнечной дорожки и приведены результаты их апробации в натурном эксперименте.

В результате выполнения лабораторных и натуральных экспериментов в условиях искусственного дождя получена оценка изменчивости параметров волнения. Впервые измерения проводились на гидрофизической платформе (Черное море, пос. Кацивели). Предложен алгоритм детектирования дождя по данным акустического волнографа. Проведены первые измерения акустическим высотомером, результаты которых сравниваются с численным моделированием.

1) Рациональное природопользование, 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы, 3) Научное направление, определенное Уставом ИПФ РАН: физические процессы в океане.

Тема №4981063 «МВ-Спектроскопия» «Прецизионные исследования особенностей атмосферного поглощения в ММ-СубММ диапазоне»

Руководитель М.Ю. Третьяков

Сроки выполнения: 2012–2014

Осуществлены первые количественные исследования спектра одной из важнейших атмосферных молекул - димера воды - в условиях, соответствующих атмосферным, что позволило существенно продвинуться в понимании природы атмосферного континуума. Спектр поглощения димера наблюдался в водяном паре и в воздухе при различных температурах, давлениях и влажностях. Полученные экспериментальные данные позволили уточнить значения основных термодинамических и спектроскопических констант димера, важных для создания физически обоснованной модели распространения

излучения в атмосфере, необходимой для точных расчетов радиационного баланса Земли и прогнозирования климата, а так же разработать модель вращательного спектра димера, обосновывающую возможность прямого радиометрического наблюдения и анализа димерного поглощения в атмосфере Земли с помощью современных приёмных комплексов.

ПН РФ – Рациональное природопользование

КТ РФ – Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения.

НН ИПФ – радиофизика и электроника, физические и химические процессы в атмосфере

Тема №4991063 «Лэмб» «Развитие прецизионной молекулярной спектроскопии в терагерцовом диапазоне частот на основе метода провала Лэмба»

Руководитель С.П. Белов

Сроки выполнения: 2012–2014

На уникальном суб-доплеровском спектрометре достигнута рекордная для мм и субмм диапазонов длин волн точность измерения частот спектральных линий молекул 0.4 кГц; получены наиболее точные значения вращательных констант для основного изотополога молекулы OCS ($B_0 = 6081.4921420(24)$ МГц, $D_0 = 1.30144070(16)$ кГц, $H_0 = -0.08838(25)$ мГц); с суб-доплеровским разрешением измерены более 1500 туннельно-вращательных переходов молекулы метанола в основном и первом торсионном состояниях, прецизионные частоты которых нужны для проведения радиоастрономических исследований; в спектре E-метанола впервые обнаружены дублеты, которые не объясняются наличием магнитной сверхтонкой структуры уровней и не наблюдаются в спектре A-метанола. Обнаруженное расщепление энергетических уровней E-метанола не укладывается в рамки существующей теории внутримолекулярных взаимодействий и требует соответствующего теоретического объяснения.

ПН РФ – Рациональное природопользование

КТ РФ – Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

НН ИПФ – Физические и химические процессы в атмосфере; астрономия и исследования космического пространства

4.4.4. Программа «Фундаментальные аспекты физики и технологии полупроводниковых лазеров как основных элементов фотоники и квантовой электроники»

НИР № 5351121 «ОФН-Ш7-РАН-2014» «Лазерная генерация поляритонных мод в ловушках для бозе-конденсации диполярных экситонов»

Научный руководитель чл.-корр. РАН Вл.В.Кочаровский

Исполнители: Вл.В. и В.В.Кочаровские, В.А.Кукушкин, С.В.Тарасов, Е.Р.

Срок выполнения 01.01.12 – 31.12.14.

Проведено исследование условия возникновения и выяснены динамические особенности явления конкуренция бозе-эйнштейновской конденсации и лазерной генерации поляритонных мод в ловушках для бозе-конденсации диполярных экситонов в

полупроводниковых гетероструктурах, находящихся под действием непрерывной нерезонансной оптической накачки. С этой целью впервые разработана последовательная микроскопическая теория критических флуктуаций при бозе-эйнштейновской конденсации идеального газа в мезоскопических ловушках с произвольным числом частиц, допускающая экспериментальную проверку путём использования ловушек с контролируемым удерживающим потенциалом [1, 2]. Данная теория позволяет провести сравнение свойств указанного лазерного излучения со свойствами спонтанного рекомбинационного излучения в рассматриваемых гетеролазерах и в так называемых поляритонных лазерах, в которых экситоны сильно неравновесны и достижение их бозе-эйнштейновского распределения проблематично.

Публикации

1. S. V. Tarasov, V.V. Kocharovsky, V.I. Kocharovsky. Universal scaling in the statistics and thermodynamics of the Bose-Einstein condensation of an ideal gas in an arbitrary trap. Phys. Rev. A, 2014, v. 90, p. 033605.

2. S.V. Tarasov, V.V. Kocharovsky, V.I. Kocharovsky. Universal fine structure of the specific heat at the critical lambda-point for an ideal Bose gas in an arbitrary trap. J. Phys. A: Math. Theor. 2014. V. 47, p. 415003.

3. V.V.Kocharovsky, V.I.Kocharovsky. Microscopic theory of Bose-Einstein condensation in an interacting gas.// Invited talk at the American Physical Society Texas 2014 Fall Meeting, October 17-19 (TAMU, College Station, Texas, USA).

4. V.I.Kocharovsky, E.R.Kocharovskaya, and V.V.Kocharovsky. Dynamical and spectral features of superradiant lasing. Invited talk at the seminar of the Weierstrass-Institute fur Angewante Analysis und Stochastik, Berlin, Germany, June 24, 2014.

Приоритетное направление – 2. Индустрия наносистем

Критические технологии - 8. Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

Научное направление по уставу ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.4.5. Программа «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов»

НИР № 5041051 «Сполох» «Источники и нестационарные процессы в глобальной электрической цепи»

Научный руководитель к.ф.-м.н. С.С. Давыденко

Построена модель полей и токов в плоской проводящей атмосфере, обусловленных одиночным молниевым разрядом. Разряд описывается локализованным импульсным сторонним током, пространственно-временные параметры которого могут соответствовать различным типам тропосферных разрядов (внутриоблачному разряду, разряду облако–земля) либо разрядам в мезосфере (спрайтам). Временной профиль разрядного тока предполагает наличие быстрой и медленной компонент, в случае разряда облако–земля соответствующих стадиям возвратного удара и непрерывного тока, направление разрядного тока произвольно. При описании пространственно-временной структуры быстрой компоненты разряда учитывается конечная скорость движения импульса разрядного тока. В рамках модели возможен учёт возмущения проводимости внутри и в окрестности грозового облака произвольной формы. Модель основана на численном решении уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области и позволяет в рамках единого подхода описать как соответствующий быстрой компоненте разряда электромагнитный импульс, так и последующую квазистатическую релаксацию возмущения пространственного заряда, формирующегося в основном медленной компонентой тока. Проанализирована зависимость характеристик

электромагнитного импульса и последующего всплеска квазистатического электрического поля от пространственно-временных параметров разрядного тока, возмущения электрической проводимости внутри грозового облака и расстояния до молниевых разрядов. Модель позволяет определить ряд важных параметров компонент разрядного тока из сопоставления результатов расчётов с данными наблюдений электромагнитного и квазистатического полей, а также выяснить область параметров тропосферных разрядов, приводящих к инициации высотных разрядов (спрайтов и эльфов).

Разработана модель электрической структуры заряженного искусственного аэрозольного облака. Облако с объёмом прядка 30 кубических метров генерируется в открытой атмосфере уникальной установкой, состоящей из источника мелкодисперсного водяного аэрозоля и высоковольтного разрядника. Плотность электрического заряда внутри облака представлена в виде суперпозиции регулярной и стохастической составляющих. Регулярная часть плотности заряда рассчитывается в приближении токостатики с учётом структуры источника (затопленной струи заряженного аэрозоля с контролируемыми параметрами) и возмущения электрической проводимости в окрестности облака. Стохастическая часть распределения описывает случайные пространственно-временные флуктуации плотности заряда, пропорциональные плотности числа аэрозольных частиц и среднему заряду частицы. Для типичных параметров аэрозольного облака получены оценки характеристик флуктуаций квазистатического поля внутри облака. Показано, что флуктуации плотности заряда могут обеспечить значительное (до нескольких раз) локальное усиление электрического поля в облаке относительно регулярной составляющей и, таким образом, способствовать развитию внутриоблачных разрядов. В летний сезон 2014 года выполнены первые измерения квазистатического электрического поля и проводимости среды в окрестности заряженного аэрозольного облака. Отмечена схожесть электрических процессов в искусственном аэрозольном облаке и в естественных грозовых облаках и важность предложенного подхода для разработки универсального описания электрических процессов в аэрозольных турбулентных средах, в частности для определения условий возникновения электрических разрядов.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: «Рациональное природопользование»

Критическая технология РФ: «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы»

Научное направление работы в уставе института: «Физические и химические процессы в атмосфере».

Тема 4931062 «Покров» «Разработка радиофизических методов и средств исследования атмосферы и подстилающей поверхности»

Руководитель – д.ф.-м.н. Фейгин А.М.

Срок: 2014.

Проведены первые систематические исследования температурной зависимости коэффициентов уширения линий тонкой структуры кислорода в миллиметровом диапазоне длин волн. Показано, что включение установленных температурных зависимостей в модели распространения мм/субмм излучения в атмосфере позволяет повысить точность определения параметров атмосферы по данным дистанционного зондирования.

Проведена измерительная кампания по исследованию процессов в нижней и средней атмосфере над Нижнем Новгородом с помощью комплекса RPG-NATPRO-G3 для исследования тропосферы, микроволнового мобильного озонметра и микроволнового

мобильного стратосферного термометра.

Разработан метод выделения климатических мод путем комбинированного использования реальных данных и пространственно распределенных временных рядов, сгенерированных глобальными климатическими моделями. Использование более протяженных, в сравнении с реальными данными, компьютерных рядов повысило качество реконструкции пространственно-временных структур, обладающих наибольшими временными масштабами. В результате увеличилась точность реконструкции "быстрых" пространственно-временных мод, производимая по реальным данным. Предложен алгоритм сравнительной верификации глобальных климатических моделей, основанный на сравнении мелкомасштабных пространственно-временных структур, выделенных из модельных данных, со структурами, построенными по реальным временным рядам.

1) Рациональное природопользование, 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы, 3) Радиофизика и электроника, акустика.

4.4.6. Программа «Активные процессы и стохастические структуры во Вселенной»

НИР № 5491021 «Астрохимия». «Наблюдательные исследования областей звездообразования на миллиметровых и субмиллиметровых волнах с целью определения их химического состава и физических свойств»

Научный руководитель – д.ф.-м.н. И.И. Зинченко

В результате детальных многочастотных исследований плотного молекулярного облака вблизи области Н II W40 показано, что наблюдаемые характеристики кольцевой структуры из последовательно расположенных сгустков (радиус кольца, массы сгустков и расстояния между ними, лучевая концентрация газа в слое) хорошо согласуются с ожидаемыми для модели «collect and collapse» при плотности газа в облаке, окружающем область Н II, $\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$. Область W40, по-видимому, является единственным на сегодняшний день наблюдаемым примером реализации механизма «collect and collapse» на близком расстоянии от звезды в относительно однородной среде с высокой плотностью.

Приоритетное направление:

Критические технологии:

Научные направления: астрономия и исследования космического пространства

4.4.7. Программа «Плазменные процессы в лаборатории и космосе»

НИР №0271211 «Моделирование» «Исследование аномального переноса при натекании сверхзвукового потока полностью ионизированной плазмы на заполненную плазмой магнитную ловушку»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. С.В. Голубев

Проведены первые эксперименты по исследованию процессов магнитного пересоединения и формирования ударных волн при взаимодействии сверхзвуковых потоков плазмы с неоднородным магнитным полем. Для этих целей создан экспериментальный стенд, в котором производилась инжекция потока полностью ионизированной плазмы в различные конфигурации магнитного поля. В качестве источника плазмы использовался специально разработанный плазмогенератор на основе

вакуумно-дугового разряда, позволяющий получать полностью ионизированную металлическую плазму с концентрацией от 10^{13} см⁻³ до 10^{15} см⁻³. Импульсное магнитное поле создавалось двумя катушками, продольные оси которых находятся в одной плоскости и расположены под углом 90 градусов друг к другу. Магнитное поле имеет форму изогнутой открытой магнитной ловушки. В ходе подготовки экспериментов были разработаны и протестированы следующие методы диагностики: фотографирование оптического свечения плазмы, измерение параметров потоков плазмы одиночными электрическими зондами, микроволновая диагностика электромагнитного излучения, измерение возмущений магнитного поля диамагнитным зондом.

Экспериментальный стенд позволяет исследовать процессы при инжекции плазмы как из пробки магнитной ловушки (со стороны сильного поля) вдоль ее оси, так и перпендикулярно силовым линиям магнитного поля со стороны слабого магнитного поля. При инжекции плазмы из магнитной пробки со стороны сильного магнитного поля оптическими методами зарегистрировано заполнение магнитной ловушки плазмой. С помощью зондовых измерений показано, что до 30% потока плазмы из плазмогенератора выносится на стенки вакуумной камеры и не удерживается магнитным полем ловушки. При инжекции плазмы со стороны слабого магнитного поля поперек силовым линиям оптическими методами зафиксировано образование ударных волн при натекании сверхзвукового потока плазмы на неоднородное магнитное поле. Получены зависимости вида натекания пламенного потока на магнитную ловушку от напряженности магнитного поля ловушки и тока дуги плазмогенератора (концентрации инжектируемой плазмы).

Научное направление: Физика плазмы.

НИР № 0281211 «ОФН-15-РАН-2014» «Исследование самосогласованных токовых конфигураций в бесстолкновительной плазме с немаксвелловскими функциями распределения частиц по скоростям»

Научный руководитель чл.-корр. РАН Вл.В.Кочаровский.

Исполнители: Вл.В. и В.В.Кочаровские, С.В.Тарасов, М.А.Гарасев, В.Ю.Мартьянов

На основе разработанных новых точных решений уравнений магнитостатики и кинетических уравнений для стационарных слоёв и филаментов тока в бесстолкновительной плазме с произвольными энергетическими распределениями частиц проанализирован ряд особенностей самосогласованных токовых образований в космической и лабораторной плазме, в частности, касающихся мультимасштабности и тонкой структуры, предельных толщин и токов, допустимых энергосодержания магнитного поля и степени анизотропии функции распределения частиц, роли внешнего магнитного поля и отличий энергетического распределения от максвелловского.

Для ряда известных решений данной магнитостатической задачи, которые были ограничены узким набором простейших функций распределения частиц, в том числе для слоя Харриса, найдено широкое обобщение на случай произвольного релятивистского энергетического распределения частиц при наличии шира силовых линий магнитного поля.

Получены также точные решения двумерной магнитостатической задачи для бесстолкновительной многокомпонентной релятивистской плазмы с цилиндрически симметричным распределением частиц, произвольным по энергии и квадратичным по обобщённому импульсу, направленному вдоль оси симметрии, т.е. вдоль тока. Эти решения представляют собой суперпозицию любого заданного числа гармонических в пространстве распределений тока с одним и тем же волновым числом, однозначно определяемым функциями распределения частиц. Подобные решения представляются предельным случаем решений, устанавливающихся в результате вейбеловской

неустойчивости возмущений с тем же волновым числом, и в случае плоской функции распределения частиц такое соответствие продемонстрировано аналитически.

Показано, что спектр собственного синхротронного излучения, выходящего из самосогласованных токовых структур в релятивистской плазме с полистепенным распределением, в зависимости от угла наблюдения может содержать различное число доминирующих степенных компонент, часть из которых может отсутствовать среди доминирующих степенных компонент излучения изотропного ансамбля частиц с таким же энергетическим распределением.

Достигнутый аналитический уровень понимания указанных проблем позволяет качественно продвинуться в интерпретации современных наблюдений и диагностике токовых структур в околоземной и солнечной плазме, а также в лазерной плазме.

Публикации

1) Vl. Kocharovsky, V. Kocharovsky, V. Martyanov, S. Tarasov, "The breaks and the hidden components in the power-law spectra of synchrotron radiation of the self-consistent current structures", *Astronomy & Astrophysics*, 2014 (submitted).

2) В.В.Кочаровский, Вл.В.Кочаровский, В.Ю.Мартьянов, «Точно решаемые задачи в физике самосогласованных токовых слоёв» // В электронном сборнике статей «Современные достижения в плазменной гелиогеофизике».- М.: ИКИ РАН, 2014 (направлена в электронной форме).

3) S.V. Tarasov, Vl.V. Kocharovsky, V.V. Kocharovsky, V.Yu. Martyanov, "Spectral and angular features of synchrotron radiation of the self-consistent current sheets" // Program of the 41st EPS Conference on Plasma Physics (Berlin, June 23 – 27, 2014).

4) Vl.V. Kocharovsky, V.V. Kocharovsky, V.Yu. Martyanov, "Analytical solution to the problem of current sheets in multicomponent relativistic plasma with arbitrary energy distribution of particles" // Program of the 41st EPS Conference on Plasma Physics (Berlin, June 23 – 27, 2014).

5) V.Yu.Martyanov, V.V.Kocharovsky, Vl.V.Kocharovsky, "Cylindrically symmetric current filaments in collisionless relativistic non-Maxwellian plasma" // Program of the 41st EPS Conference on Plasma Physics (Berlin, June 23 – 27, 2014).

6) V.Yu. Martyanov, V.V. Kocharovsky, Vl.V. Kocharovsky, "Analytical theory of a current sheet formed between the magnetized and nonmagnetized plasmas with arbitrary energy distribution of particles" // Program of the 40th COSPAR Scientific Assembly (Moscow, Aug. 2 – 10, 2014).

7) Vl.V. Kocharovsky, V.V. Kocharovsky, V.Yu. Martyanov, "Self-consistent theory of the multiscale and split current sheets in collisionless non-Maxwellian plasma" // Program of the 40th COSPAR Scientific Assembly (Moscow, Aug. 2 – 10, 2014).

Приоритетное направление - 7. Транспортные и космические системы

Критические технологии - 19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

Научное направление по уставу ИПФ – Физика плазмы и астрономия и исследования космического пространства

Тема: «Лабораторное и численное моделирование разрядных процессов в атмосфере»

Руководитель: Костров А. В.

Сроки выполнения: 30.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация: На крупномасштабном плазменном стенде «Крот» детально изучено явление кроссмодуляции волн свистового диапазона частот в замагниченной плазме.

Установлено два механизма, обеспечивающих кроссмодуляцию свистовых волн на общей трассе распространения. При низких частотах модуляции ее передача от одной волны другой происходит за счет возмущений концентрации плазмы под действием продольной компоненты усредненной пондеромоторной силы; при высоких частотах модуляции ключевой механизм, обеспечивающий передачу модуляции - "магнитная" нелинейность.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика плазмы.

4.5. Гранты Российского научного фонда

НИР № 4002971 «ТЭРУФ» грант РФ 14-02-00609 «Разряд, поддерживаемый излучением ТГц диапазона в неоднородном потоке газа как точечный источник экстремального ультрафиолетового излучения»

Научный руководитель к.ф.-м.н. А.В. Водопьянов

Сроки: 2014 – 2016.

Проведены исследования условий пробоя и образования точечного разряда в неоднородном потоке газа (аргон) в квазиоптическом пучке излучения терагерцового диапазона (100кВт@0.67ТГц) в различных условиях фокусировки. Продемонстрировано зажигание точечного разряда при величине давления остаточного газа на уровне (4-7)·10⁻³ торр с характерным размером светящейся области порядка 1 мм.

Проведено моделирование согласования СВЧ излучения с плазмой в набегающем неоднородном потоке газа и формирования функции распределения ионов по зарядовым состояниям. Построены стационарные решения, описывающие расширение плазмы в рамках гидродинамического подхода. Найдены параметры формирования оптимального (для излучения из плазмы на длине волны 13.5 и 11.2 нм) зарядового состояния ионов (ксенон).

В рамках простейшей модели, учитывающей ионизацию газа электронным ударом, прилипание электронов к нейтральным молекулам и диффузию плазмы, выполнено численное моделирование стационарной волны ионизации, движущейся навстречу падающей плоской электромагнитной волне. Расчеты проведены в приближении самосогласованного поля с учетом отражения электромагнитной волны от плазмы. Характеристики волн ионизации найдены в широком диапазоне таких параметров как давление и сорт газа, частота и амплитуда падающей волны.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: индустрия наносистем.

Критическая технология РФ: технологии наноприборов и микросистемной техники

Научное направление: физика газового разряда и его приложения.

НИР № 4042971 Грант РФ 14-12-00887 «Компактные электронные ТГц мазеры с рекордными характеристиками»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Глявин М.Ю.

Сроки выполнения работы: 2014 – 2016

Создан автоматизированный комплекс для спектроскопии и диагностики различных сред с рекордной мощностью микроволнового излучения. Источником излучения является непрерывный гиротрон, использующий криомагнит с охлаждением газообразным гелием, и генерирующий мощность до 1 кВт на частоте 263 ГГц. Изменение температуры хладагента в контуре охлаждения резонатора и рабочего напряжения позволяет осуществлять плавную перестройку частоты излучения в полосе 0.2 ГГц. Требуемая для ряда приложений мощность на уровне 10 Вт получена при низких рабочих токах (0.02 А) и напряжениях (14 кВ), что позволяет работать с относительно простыми и компактными высоковольтными источниками питания.

Приоритетное направление: энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; безопасность и противодействие терроризму.

Критическая технология: технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику; атомной энергетике, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы

НИР №4052971 «Градиент» Грант РФФИ №14-19-01723 «Мощные миллиметровые источники и высокоградиентные структуры для суперколлайдеров нового поколения»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Н.Ю.Песков

Сроки: 2014 - 2016

В 2014 году в рамках проекта проведены теоретические и экспериментальные исследования в следующих направлениях:

1. Проведено моделирование динамики МСЭ-генераторов с брэгговскими резонаторами новых типов, оптимизация их параметров с целью увеличения эффективности, мощности и стабильности узкополосного режима генерации, в том числе, в рамках оригинальных усредненных моделей электронно-волнового взаимодействия и трехмерных коммерческих кодов «Карат» и CST Studio Suite.

2. Исследованы селективные свойства открытых брэгговских резонаторов и резонаторов, основанных на связи бегущей и квазикритической волн. Показано хорошее соответствие результатов теоретического анализа, трехмерного моделирования и «холодных» электродинамических тестов.

3. Разработана электродинамическая система МСЭ-генераторов для работы в 60-ГГц и 90-ГГц частотных диапазонах.

4. Разработаны винтовые токовые ондуляторы с малым (3 - 4 см) пространственным периодом поля. Проведена оптимизация распределения тока в обмотках для увеличения амплитуды ондуляторного поля на оси и его поперечной однородности. Исследованы различные способы профилирования и реализации плавного пространственного включения поля на входе и выходе пучка в ондулятор с целью оптимизации условий влета и формирования винтового РЭП, обладающего малым разбросом параметров.

5. Проведены электронно-оптические эксперименты на ускорителе ЛИУ-3000 (ОИЯИ, Дубна) по отработке новой электронно-оптической системы МСЭ (на основе винтового ондулятора с периодом 3.6 см) и формированию винтового РЭП с приемлемым для работы в коротковолновых диапазонах разбросом параметров. Реализован макета высокоэффективного узкополосного 60 ГГц МСЭ-генератора с высокоселективным

брэгговским резонатором, основанным на связи бегущих и квазикритических волн (поперечный размер системы ~ 3 длин волн).

6. Проведено моделирование (включая моделирование в рамках усредненных моделей и трехмерных кодов) и конструкторская разработка высокоградиентной ускоряющей структуры в диапазоне 30 ГГц на основе волновода с винтовой гофрировкой. Электродинамические характеристики структуры исследованы на малом уровне мощности. Показано хорошее соответствие результатов моделирования и «холодных» электродинамических тестов.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- индустрия наносистем и материалов;

Критические технологии РФ:

- нанотехнологии и наноматериалы;

- технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Научное направление, определенное уставом института:

- радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 4082971 Грант РФФИ 14-29-00192 «Создание нового поколения сверхмощных гироприборов миллиметрового и субмиллиметрового диапазона»

Научный руководитель: чл.-корр. РАН Денисов Г.Г.

Сроки выполнения работы: 2014 – 2016

Показано, что специально синтезированный профиль волновода позволяет добиться повторения волнового пучка при больших углах падения без снижения эффективности на малых углах. Для параметров, соответствующих установкам УТС, это позволяет значительно увеличить максимальный угол отклонения системы дистанционного управления направлением пучка – приблизительно до 28° . Синтезированный волновод имеет прямую ось и прямоугольное сечение по всей длине, отклонение от регулярного волновода не превышает нескольких миллиметров.

Показана принципиальная возможность захвата колебаний мегаваттного гиротрона внешним сигналом. Ввод сигнала осуществляется новой квазиоптической системой, обеспечивающей оптимальную связь с резонатором гиротрона. Эксперимент с импульсным гиротроном выполнен на частоте 35 ГГц. Результаты эксперимента находятся в согласии с расчетом. Использование подобных систем позволяет использовать один гиротрон в качестве задающего генератора для нескольких приборов, тем самым организуя согласованную работу нескольких гиротронов на общую нагрузку.

Теоретически показана возможность стабилизации и захвата частоты гиротрона сигналом, отраженным от внешних резонансных и нерезонансных нагрузок. Данный эффект позволяет как объяснить ступенчатое изменение частоты генерации, наблюдавшееся в процессе прогрева резонатора при работе на мегаваттном уровне мощности, так и рассчитывать на существенное обужение спектра генерируемого сигнала, что актуально для спектроскопических приложений.

Приоритетное направление: энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; безопасность и противодействие терроризму.

Критическая технология: технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику; атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы

Тема 4072972, Шифр «КАПЛЯ» проект №14-17-00667 «Динамика и дистанционная диагностика многофазных сред в пограничных слоях атмосферы и гидросферы»

Руководитель: Троицкая Ю.И.

Сроки выполнения: 01.06.2014-31.12.2016

Аннотация: Проект направлен на решение фундаментальной проблемы гидродинамики и термодинамики океана и атмосферы, связанной с моделированием их взаимодействия при опасных и неблагоприятных погодных условиях, сопровождающихся штормовым или ураганным ветром, экстремальным волнением и осадками. Особое внимание в проекте уделяется разработке акустических и микроволновых методов дистанционной диагностики параметров ветра и волнения при штормовом и ураганном ветре.

1) *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ:* Рациональное природопользование

2) *Критическая технология РФ:* Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

Тема № 4012973 «Структура-3» «Нелинейные колебания в динамических сетях с изменяющейся структурой»

Руководитель: В.И. Некоркин

Сроки исполнения: 2014-2016 г.

Исследована динамика малого ансамбля автоколебательных элементов связанных пластичными связями, в случае, когда индивидуальная динамика элементов характеризуется мягким или жестким режимами возбуждения. Изучены характеристики синхронных и асинхронных режимов наблюдаемых в ансамбле при различных значениях частотной расстройки и параметрах, характеризующих динамику связей. Разработаны феноменологические модели динамических сетей нейронов с изменяющейся во времени топологией соединений, которые демонстрируют транзитивную кластерную динамику. Изучены режимы коллективной динамики нейронной сети с кластерными структурами связей. Проведено теоретическое и экспериментальное изучение синхронизация в сетях автогенераторов с импульсными запаздывающими связями. Разработаны модели, описывающих отдельные компоненты энергосистем и проведено исследование их динамики.

ПН РФ – Информационно-телекоммуникационные системы

КТ РФ – Нано-, био-, информационные, когнитивные технологии

НН ИПФ – Радиофизика и электроника, акустика

Тема № 4022973 «Экситон» «Лазеро-индуцированные экситон-плазмонные нано-компози́ты»

Руководитель: Н.М. Битюрин

Сроки исполнения: 2014-2016 г.

1. Синтезированы среды, которые при воздействии лазерного излучения превращаются в экситонные нано-композиты (полимерные матрицы с полупроводниковыми прекурсорами).

2. Отработаны режимы лазерного воздействия (инициирование, отжиг) для создания фото-индуцированных экситонных сред из исходных образцов пункта.

3. Получены данные спектроскопических исследований получаемых образцов, проведено изучение их структуры и нелинейно – оптических характеристик.

4. Получены первые образцы с прекурсорами двух типов, полупроводниковыми и металлическими.

5. Проведен теоретический анализ возможности восстановления полупроводникового прекурсора в окрестности плазмонной наночастицы при лазерном воздействии.

6. По результатам работы опубликована статья в журнале, входящем в базу данных Web of science.

ПН РФ – Индустрия наносистем

КТ РФ – Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 4032973 «Переход 2014» «Использование лазера – индуцированных неравновесных процессов в медицинских технологиях»

Руководитель: В.А. Каменский

Сроки исполнения: 2014-2016 г.

Исследовались способы косвенного использования лазерного излучения для хирургического воздействия на биологические ткани. Продемонстрировано, что нанесение покрытий на оптическое волокно позволяет создавать новые режимы воздействия излучения на биоткань. Показано, что наиболее эффективным для контактной резки является режим лазерного скальпеля с выходной мощностью 3 Вт и использованием волокна с нанесенным на торец слоем сильно поглощающего покрытия (СПП). В данном режиме обеспечивается максимальная скорость резки ткани и небольшая зона коагуляции, а соответственно меньшее термическое повреждение окружающих тканей. Морфологическое исследование области лазерного разреза показало уменьшение глубины термически пораженной области от 900 мкм в центре области воздействия в случае чистого торца волокна до 420 мкм при использовании СПП. Данное покрытие более устойчиво к совместному механическому и лазерному воздействию.

Теоретически рассмотрена возможность генерации в жидкости кавитационных пузырьков при воздействии на жидкость лазерного излучения через слой диэлектрических микро-шариков.

ПН РФ – Науки о жизни

КТ РФ – Биомедицинские и ветеринарные технологии

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 4062973 "Оптоакустика-15" "Разработка оптико-акустического метода визуализации биотканей с использованием многоэлементной антенны" Грант РФФ № 14-15-00709

Руководитель И.В. Турчин

Сроки выполнения: 2014–2016

Осуществлена закупка необходимых материалов и оборудования, включающие в себя волоконно-оптический жгут (производитель Ceram Optec, Германия), лазер с длиной волны 532 нм частотой повторения импульсов 2 кГц и длительностью импульса 1.5 нс (производитель Bright Solutions, Италия), система четырехмерного позиционирования (производитель PiMicos, Германия), двухканальный 16-битный аналогово-цифровой преобразователь с частотой дискретизации 200 МГц (производитель GaGe, США). Разработаны основные узлы и элементы томографа (32-элементная антенна в сборе с усилителями, система волоконно-оптической лазерной засветки, иммерсионная камера с активной термостабилизацией). Спроектирована система ручного позиционирования антенны. Для получения оптико-акустических Б-сканов разработаны численные методы решения обратной задачи оптико-акустической томографии. В качестве вычислительной платформы при решении обратной задачи оптико-акустической томографии использован двухпроцессорный сервер с объемом оперативной памяти 192 Гб. Направлена статья в журнал Biomedical Optics Express (импакт-фактор 3.5).

ПН РФ – Науки о жизни

КТ РФ – Биомедицинские и ветеринарные технологии

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.6. Гранты Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ

НИР № 8015901 «Школа-Л» «Динамика интенсивных волновых пучков в нелинейных средах»

Грант Президента РФ № НШ-624.2014.2.

Научный руководитель: акад. Литвак А.Г., зам. науч. рук. д.ф.-м.н. В.Е. Семенов

Сроки: 2014 – 2015

Выполнено трёхмерное численное моделирование взаимодействия мощного лазерного импульса с тонкой пленкой с учетом генерации гамма-излучения. Под действием лазерного поля плёнка ионизуется, а её электроны быстро ускоряются и излучают фотоны высоких энергий. В ходе численного моделирования данной задачи нами были найдены параметры плёнки и лазерного импульса, соответствующие наиболее эффективной генерации гамма-квантов. Показано, что с использованием уже существующих лазерных систем возможно создание источников гамма-квантов, превосходящих классические источники по производительности, яркости и мощности.

Предложена схема реализации операции Тоффоли в неорганических кристаллах, активированных ионами редкоземельных металлов. Поставлен демонстрационный эксперимент, в котором для ансамблей ионов Pr^{3+} , допированных в кристалл LaF_3 , было показано поведение, аналогичное операции Тоффоли.

Проведено исследование релаксационных процессов в возбужденных многочастичных системах, что представляет фундаментальный интерес для различных областей квантовой науки и техники. Результаты теории подтверждаются данными эксперимента.

Исследованы самосогласованные профили электронной плотности и амплитуды электрического поля, устанавливающиеся на фоне заданного невозмущенного профиля ионной плотности в резонансной области плотной плазмы, взаимодействующей с ультракоротким лазерным импульсом, длительность которого (~ 10 -100 фс) достаточна для осуществления сильного пондеромоторного воздействия на электроны, но мала по

сравнению с характерными временами ионно-звуковых возмущений. Показано, что характер образующейся в этих условиях квазистационарной электронной структуры (скачкообразный переход через точку плазменного резонанса и сильная пространственная модуляция плотности в области прозрачности для продольной волны) существенно определяется статическим кулоновским полем, возникающим в результате сильного нарушения квазинейтральности плазмы. Связанные с этими нарушениями эффекты дебаевского экранирования не препятствуют формированию сильных градиентов электронной плотности, но не допускают образования широких плато, характерных для «медленной» пондеромоторной деформации, производимой (в условиях сохранения квазинейтральности плазмы) лазерными импульсами более высокой длительности.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Индустрия наносистем.

Критическая технология РФ: Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов..

Научное направление: Оптика и лазерная физика; Радиофизика и электроника, акустика; Физика плазмы.

НИР 8025901 «Астрошкала». «Взаимодействие электромагнитного излучения с астрофизической и космической плазмой»

Грант Президента РФ НШ-1041.2014.2.

Научный руководитель акад. РАН В. В. Железняков

Срок выполнения: 2014.

Рассмотрены дисперсионные характеристики электромагнитных волн в плазме с сильным магнитным полем и равным содержанием релятивистских электронов и позитронов, синхротронное излучение которых может быть источником оптического излучения пульсара. Показано, что при наличии в плазме малой фракции нерелятивистских протонов с неравновесной функцией распределения в плазме возможна эффективная неустойчивость на частотах ниже первой гармоники релятивистской гирочастоты электронов, а именно - на гармониках протонной гирочастоты. Эта неустойчивость приводит к возбуждению обыкновенных и необыкновенных электромагнитных волн, которые в принципе могут быть связаны с наблюдаемым радиоизлучением пульсаров. Исследованы дисперсионные характеристики низкочастотных электромагнитных волн с частотами ниже релятивистской гирочастоты электронов в ультрарелятивистской электрон-позитронной плазме с изотропной функцией распределения частиц по импульсам.

Показано, что в фотосфере вырожденной звезды — одиночного белого карлика — резко уменьшается столкновительное поглощение излучения, поляризованного поперёк сильного внешнего магнитного поля на частотах ниже электронной циклотронной частоты. В результате электромагнитные волны с необыкновенной поляризацией могут выходить из более глубоких и горячих слоёв фотосферы, чем обыкновенные волны, и таким образом могут определять линейную поляризацию наблюдаемого излучения в инфракрасном континууме магнитного белого карлика.

Разработана программа для решения уравнений переноса поляризованного излучения в верхних слоях атмосфер нейтронных звёзд с сильным магнитным полем. В программе учитываются эффекты перераспределения излучения по частоте внутри ядра циклотронной линии при рассеянии на электронах, тормозное излучение и поглощение, а также процессы смены поляризации нормальных волн в процессе распространения излучения в горячей замагниченной плазме. Предполагается наличие локального

термодинамического равновесия в атмосфере. Результаты, полученные с помощью программы, в дальнейшем будут использованы для описания структуры и определения динамики плазмы верхних слоев атмосфер и магнитосфер нейтронных звёзд.

Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра. Показано, что заметная поляризация наблюдаемого на Земле радиоизлучения может возникнуть, только если оно является результатом рассеяния (в том числе, индуцированного) плазменных волн ионами или слияния этих волн с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона. В этих условиях обыкновенная волна свободно выходит из источника генерации, а необыкновенная волна оказывается в зоне непрозрачности и не покидает источник. Указаны возможные причины деполяризации радиоизлучения с зебра-структурой, которое выходит из источника полностью поляризованным со знаком обыкновенной волны.

Показано, что в хромосферных основаниях корональных магнитных петель на Солнце и звездах поздних спектральных классов при определенных условиях возможно развитие неустойчивости Рэлея-Тэйлора или так называемой желобковой неустойчивости. Для развития неустойчивости необходимо расширение магнитной трубки в области хромосферных оснований, что приводит к появлению кривизны магнитного поля, направленного внутрь петли, а также наличие внутри магнитной трубки электрических токов, диссипация которых приводит к увеличению степени ионизации хромосферной плазмы.

Предложен механизм суб-секундных квазипериодических пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечной арки в виде эквивалентного электрического (RLC) контура

Исследована эффективность отклика на внешние воздействия экваториальной токовой струи в низкоширотной ионосфере. Рассмотрена возможность использования токовой струи для ионосферного детектирования амплитудно-модулированного (в диапазонах ОНЧ и геомагнитных пульсаций) излучения наземного коротковолнового нагревного станда. За счет модуляции электронной температуры и концентрации в области токовой струи, на земной поверхности под ней электромагнитные сигналы на частоте модуляции до двух порядков больше, чем в средних широтах. Сигналы от модулированной экваториальной токовой струи могут влиять на режимы работы плазменного магнитосферного мазера в субавроральной магнитосфере, обеспечивая резонансную модификацию спектров естественных электромагнитных излучений ОНЧ диапазона.

Продолжено построение приближенной теоретической модели, описывающей формирование и динамику плазменно-волнового канала в резонансном (свистовом) диапазоне частот в магнитоактивной плазме. На основании упрощающего предположения, что весь канал сравнительно быстро приходит в стационарное состояние, за исключением передней части, где поле особенно велико, были найдены автотельные (в широком смысле) профили концентрации и поля.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ – транспортные и космические системы

Критическая технология РФ – технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения

Научное направление, определённое уставом ИПФ РАН – Астрономия и исследования космического пространства

НИР № 8035901 «Шок». «Новые мощные электронные источники микроволнового и терагерцового излучения, пространственно-развитые электродинамические системы и системы управления мощными волновыми потоками»

Научный руководитель: чл.-корр. РАН Денисов Г.Г.

Соглашение №14.120.14.1614-НШ от 03.02.2014г. с Минобрнауки

1. Создан автоматизированный комплекс для спектроскопии и диагностики различных сред с рекордной мощностью микроволнового излучения. Источником излучения является непрерывный гиротрон, использующий криомагнит с охлаждением газообразным гелием.

2. Показано, что специально синтезированный профиль волновода позволяет добиться повторения волнового пучка при больших углах падения без снижения эффективности на малых углах. Для параметров, соответствующих установкам УТС, это позволяет значительно увеличить максимальный угол отклонения системы дистанционного управления направлением пучка – приблизительно до 28° . Синтезированный волновод имеет прямую ось и прямоугольное сечение по всей длине, отклонение от регулярного волновода не превышает нескольких миллиметров.

3. Показана принципиальная возможность захвата колебаний мегаваттного гиротрона внешним сигналом. Ввод сигнала осуществляется новой квазиоптической системой, обеспечивающей оптимальную связь с резонатором гиротрона. Эксперимент с импульсным гиротроном выполнен на частоте 35 ГГц. Результаты эксперимента находятся в согласии с расчетом.

4. При использовании синтезированного квазиоптического преобразователя, обеспечивающего высокоэффективный вывод излучения мод различных вращений, показана возможность электронного переключения направления выходного волнового пучка мегаваттного гиротрона.

5. Выполнен теоретический анализ возможности реализации гиро-ЛБВ на частоте 260 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для спектроскопических приложений. Разработано техническое задание на конструирование основных узлов гиро-ЛБВ. Начата разработка технологии изготовления винтовых структур с мелкомасштабными (менее 1 мм) элементами.

6. Выполнен теоретический анализ возможности реализации гиро-ЛБВ на частоте 95 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для радиолокационных приложений. В результате 3-мерного компьютерного моделирования подтверждена работоспособность данного гиро-усилителя на третьей гармонике циклотронной частоты, что в свою очередь определяет возможность использования несверхпроводящей магнитной системы.

7. Для целей импульсной динамической ядерной поляризации в спектроскопии ядерного магнитного резонанса предложена новая схема умножителя частоты черенковского типа с трубчатым электронным пучком. Проведено теоретическое исследование утроителя частоты с выходной частотой 260 ГГц, в расчетах показано, что выходная мощность такого прибора может составлять 10 Вт. Использование режима умножения на три вместо режима усиления позволяет использовать мощный входной сигнал от источника хорошо освоенного трехмиллиметрового диапазона. Проведено экспериментальное исследование компактного низковольтного оротрона для импульсной ДПЯ, получена генерация на частотах 120-260 ГГц, импульсная мощность на частоте 260 ГГц составляла 150-200 мВт. Согласно расчетам, этот оротрон позволит получить требуемые для импульсной ДПЯ СВЧ-импульсы импульсов длительностью 30-100 нс.

8. Показано, что двумерная распределенная обратная связь, реализуемая с помощью двумерных брэгговских резонаторов планарной или коаксиальной геометрии, может рассматриваться как достаточно универсальный метод получения мощного когерентного излучения в пространственно-развитых релятивистских генераторах, основанных на различных механизмах электронно-волнового взаимодействия: мазерах на свободных электронах (МСЭ), мазерах на циклотронном авторезонансе (МЦАР), черенковских

мазерах. Наряду с высокой селективностью, достоинством таких резонаторов является совместимость с каналами транспортировки интенсивных РЭП ленточной и трубчатой конфигурации. Согласно результатам теоретического анализа, возникающие в двумерных брэгговских структурах поперечные (по отношению к движению электронов) потоки электромагнитной энергии синхронизируют излучение различных частей пространственно-развитого РЭП, что позволяет получить устойчивый режим одномодовой генерации при поперечных размерах систем, достигающих до $10^2 - 10^3$ длин волн. Соответственно, на базе существующих электронных пучков использование двумерной РОС позволяет в перспективе реализовать генераторы направленного когерентного микроволнового излучения с гигаваттным уровнем мощности.

9. Реализован планарный МСЭ-генератор на основе ленточного релятивистского электронного пучка (0.8 МэВ / 1 кА / 4 мкс), формируемого ускорителем ЭЛМИ (ИЯФ СО РАН). В качестве электродинамической системы использован комбинированный двухзеркальный резонатор, составленный из входного двумерного и выходного одномерного брэгговских отражателей. Использование двумерной распределенной обратной связи, реализуемой во входной брэгговской структуре, позволило достигнуть стабильный, хорошо воспроизводимый режим одномодовой генерации при поперечном размере системы, составляющем $\sim 25 \times 2.5$ длин волн. В результате экспериментов на частоте 75 ГГц получено узкополосное излучение с шириной спектра ~ 20 МГц в импульсах длительностью $\sim 100 - 200$ нс и мощностью на уровне 30 - 50 МВт.

10. Проведены теоретические и экспериментальные исследования коаксиальной ЛОВ с двумерной брэгговской структурой, установленной на выходе пространства взаимодействия. Возникающие в данной структуре азимутальные волновые потоки позволяют синхронизовать излучение различных фракций трубчатого РЭП большого диаметра. В экспериментальном макете ЛОВ, реализованном на базе ускорителя «Сатурн» 300 кэВ / 200 А / 1 мкс (ИПФ РАН) при периметре системы, составляющем более 15 длин волн, получено узкополосное излучение 8-мм диапазона с мультимегаваттным уровнем мощности.

11. Построена теория черенковского сверхизлучения, инициируемого фронтом токового импульса. При этом спонтанное излучение резкого фронта электронного сгустка порождает процесс индуцированного излучения, включающий группировку электронов с последующим излучением короткого электромагнитного импульса большой мощности. Поскольку в этом случае имеет место привязка фазы излучаемого импульса к форме импульса тока, возможна генерация идентичных импульсов СИ в нескольких каналах, что допускает их дальнейшее когерентное сложение. Подобный принцип был ранее экспериментально реализован в ИЭФ УрО РАН для 2-х и 4-х каналов, в результате чего был получен рекордный уровень мощности.

12. Показана возможность генерации мультимегаваттных импульсов терагерцового диапазона на основе ондуляторного сверхизлучения пикосекундных электронных сгустков, формируемых фотоинжекторами. Разработаны подходы, позволяющие дать как общую физическую картину указанных процессов, так и провести детальное моделирование. Первая задача решалась в рамках метода усредненной пондеромоторной силы, в то время как для решения второй задачи было использовано прямое численное РС моделирование. При этом в рамках обоих подходов анализ проводился в сопровождающей сгусток системе отсчета. Показано, что при этом радикально упрощается процедура прямого моделирования процессов сверхизлучения в высокочастотных диапазонах вследствие соразмерности в сопровождающей системе отсчета всех пространственных и временных масштабов. Развитые методы могут быть также использованы для анализа процессов СИ при раскACHE поперечных осцилляций электронов полем встречной электромагнитной волны СВЧ или оптического диапазона.

13. Теоретически показана возможность трансформации интенсивного непрерывного СВЧ-излучения в периодическую последовательность коротких

(субнаносекундных) импульсов при резонансном взаимодействии со встречным потоком невозбужденных циклотронных осцилляторов. В такой системе существует определенная область параметров, в которой начальный стационарный сигнал разбивается на последовательность коротких импульсов, каждый из которых представляет собой солитон. Исследуемый эффект предлагается использовать для реализации амплитудной модуляции излучения коротковолновых гиротронов.

Приоритетное направление: энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; безопасность и противодействие терроризму.

Критическая технология: технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств; технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетика; атомной энергетика, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом

Научное направление: радиофизика и электроника, акустика; физика плазмы

Тема №8073903 «Лазер» «Фемтосекундная оптика, нелинейная динамика оптических систем и высокочувствительные оптические измерения»

Руководитель А.М. Сергеев

Грант НШ-5430.2012.2 Президента Российской Федерации для государственной поддержки коллективов ведущих научных школ

Сроки выполнения: 2012–2013

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены оптимальные условия возбуждения направленных фототоков для высокоэффективной генерации терагерцового излучения при ионизации газов в бихроматическом лазерном поле. Найдены зависимости оптимального фазового сдвига между излучением на основной частоте и второй гармонике от энергии и длительности бихроматического лазерного импульса, а также от фокусного расстояния линзы, используемой для фокусировки лазерного излучения. Полученные результаты демонстрируют, что, вопреки широко распространенной модели формирования фототоков, оптимальная разность фаз между компонентами бихроматического поля сильно зависит от его интенсивности. Эти результаты выходят за рамки представлений имеющихся теорий многофотонной ионизации и могут быть объяснены как проявление кулоновских взаимодействий при ионизации частиц газа в сильном лазерном поле.

Путём численного моделирования исследована зависимость параметров пучков ускоряемых петаваттным лазерным излучением протонов в двухкомпонентных мишенях от параметров слоя ускоряемых ионов — положения и толщины. Показано, что полная энергия, переданная в протоны, неограниченно растёт с ростом толщины ускоряемого слоя (увеличением количества ускоряемых протонов), а также достигает максимума при изначальном положении слоя на задней стороне мишени. Максимальная энергия ионов в ускоряемом пучке слабо зависит от структуры мишени, но несколько выше при изначальном расположении ускоряемого слоя на облучаемой поверхности мишени.

Путём численного моделирования показано, что в схеме лазерного ускорения TNSA использование мишеней с нанесёнными на облучаемую поверхность неоднородностями субволнового размера приводит к увеличению эффективности ускорения. Определены зависимости полной энергии, переданной ускоренным ионам, и максимальной энергии этих ионов от размера нанесённых неоднородностей. Показано, что полная энергия ионного пучка достигает максимума для неоднородностей, толщина

которых сравнима с толщиной скин-слоя, расстояние между ними должно быть чуть меньше длины волны, а высота неоднородностей должна быть равна половине длины волны. Показано, что максимальная энергия ионов при этом растёт неограниченно при увеличении высоты неоднородностей. Анализ показал, что положение оптимумов слабо зависит от параметров системы, за исключением плотности мишени, которая влияет на оптимальную толщину.

Теоретически показана возможность доплеровского преобразования гамма-излучения в мессбауэровском поглотителе в периодическую последовательность ультракоротких импульсов длительностью на порядок меньшей времени релаксации на резонансном этому излучению ядерном переходе, что открывает возможность диагностики ядерных процессов с временным разрешением. Создан источник импульсов мессбауэровского гамма-излучения с длительностью, много меньшей излучательного времени жизни соответствующего возбужденного состояния ядра, а также экспериментально показана возможность управления волновой формой отдельных гамма-фотонов.

Предложен новый метод формирования двухцветных оптически синхронизированных импульсов высокого качества с помощью разработанной полностью волоконной лазерной системы, состоящей из эрбиевого задающего источника, нелинейно-оптического конвертора длины волны и тулиевого усилителя. Продемонстрированы импульсы, один из которых имеет центральную длину волны 2.0 мкм и реализован с энергией микроджоульного уровня, а другой плавно перестроен в диапазоне 2.0-2.3 мкм непосредственно в тулиевом активном волокне. При использовании германатных волокон после тулиевого усилителя импульсы могут быть перестроены вплоть до 3 мкм. С помощью FROG-измерений экспериментально продемонстрированы спектрально ограниченные импульсы с sech-формой длительностью 125, 145 и 160 фс на 2, 2.25 и 2.7 мкм, соответственно.

Разработан метод определения положения флуоресцентной молекулы относительно фокальной плоскости объектива по форме её изображения, основанный на использовании искусственно внесенного в оптический путь микроскопа астигматического элемента. Астигматический элемент (цилиндрическая линза с фокальным расстоянием порядка одного метра) приводит к тому, что функция рассеяния точки микроскопа зависит от того, на каком расстоянии от фокальной плоскости расположена флуоресцирующая молекула. Это позволило, оценивая форму изображения методом максимального правдоподобия, определять положение флуорофора относительно фокальной плоскости объектива микроскопа с точностью до четверти длины волны.

Разработан робастный (устойчивый к выбросам интенсивности) метод оценки фоновой интенсивности по временным распределениям интенсивности на каждом пикселе. Метод основан на устойчивой к выбросам регрессии данных сплайнами второй степени. Подобная регрессия позволяет оценить медленно изменяющийся фон изображений отдельных молекул, из которых строится STORM-изображение. Явный учет фона при вычислениях позволяет увеличить точность детектирования начала и окончания флуоресценции отдельных молекул, а также увеличить точность определения положения отдельных флуорофоров в трехмерном пространстве.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика; науки о жизни

КТ РФ – Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств биомедицинские и ветеринарные технологии; технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.7. Гранты Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – докторов наук

НИР № 8165911 «Дилемма» «Сверхвысокочастотные резонансные волновые процессы в плотной магнитоактивной плазме»

Научный руководитель: д.ф.-м.н. А.Г. Шалашов

Грант Президента РФ №14.120.14.1736-МД

Сроки: 2014-2015.

Построена теория линейного взаимодействия нормальных электромагнитных волн в сильнотурбулентной тороидальной плазме в окрестности поверхности плазменного резонанса. Теоретически исследованы пути повышения эффективности электронно-циклотронного нагрева плотной плазмы в прямых магнитных ловушках. Предложена новая схема электронно-циклотронного нагрева для крупномасштабных прямых магнитных ловушек, основанная на эффекте захвата излучения в трехмернонеоднородной гиротропной плазме. Разработана квазиоптическая волновая модель ЭЦР нагрева плазмы в прямой магнитной ловушке, описывающая взаимодействие СВЧ волн с неоднородной плазмой с учетом эффектов дифракции, пространственной дисперсии и нелокального резонансного поглощения. Развита газодинамическая модель, описывающая особенности формирования стационарного разряда в квазиодномерном потоке многократно ионизированного газа в условиях резонансного СВЧ нагрева. Модель позволяет описывать процесс ускорения и нагрева многократно ионизированных ионов, линейчатое излучение за счет возбуждения ионов и распределение радиационных потерь вдоль потока. Иницированы исследования, направленные на развитие физических принципов диагностики функции распределения ионов термоядерной плазмы методом коллективного рассеяния с использованием излучения ТГц и суб-ТГц гиротронов.

Критические технологии: Энергетика и энергосбережение.

Приоритетные направления развития науки: Технологии новых и возобновляемых источников энергии; Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии.

Направление работ института: Физика плазмы

4.8. Гранты Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук

НИР №8205911 «Стимул» «Генерация и усиление субтерагерцовых волн на основе стимулированного черенковского излучения релятивистских электронных пучков, движущихся над слабофрированными поверхностями»

Научный руководитель к.ф.-м.н. Заславский В.Ю.

Грант президента РФ МК-7314.2013.2

Сроки: 2013 - 2014

Исследована возможность использования двумерно-периодических структур для азимутальной селекции мод в генераторах поверхностной волны со сверхразмерными резонаторами цилиндрической геометрии. Разработаны проекты мощных генераторов поверхностной волны цилиндрической геометрии в 8-мм и 4-мм диапазоне длин волн на основе умеренно релятивистских трубчатых пучков, формируемых на термоэмиссионном

ускорителе «Сатурн» 300 кэВ / 300 А / 1 - 10 мкс (ИПФ РАН). Реализован макет мощного генератора поверхностной волны 8-мм диапазона длин волн на основе пространственно-развитой замедляющей структуры цилиндрической геометрии с однопериодической гофрировкой при периметре системы, составляющем ~16 длин волн. Изготовлены компоненты электро-динамической системы генератора 8-мм диапазона на основе двумерной двоякопериодической структуры, начато его экспериментальное исследование.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ:

- безопасность и противодействие терроризму;
- индустрия наносистем и материалов;
- науки о жизни;

Критические технологии РФ:

- базовые и критические военные, специальные и промышленные технологии;
- нанотехнологии и наноматериалы;
- технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации;
- технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов;
- технологии создания электронной компонентной базы;
- технологии биоинженерии.

Научное направление, определенное уставом института:

- радиофизика и электроника, акустика.

НИР № 8215911 «Дейтерий» «Сильноточный источник ионов изотопов водорода для исследований в области ядерной физики и медицины»

Научный руководитель к.ф.-м.н. В.А. Скалыга

Грант Президента РФ № МК-6565.2014.2

Сроки 2014 – 2015

В рамках первого года выполнения проекта были проведены экспериментальные исследования формирования сильноточных протонных пучков. Экспериментально найдены оптимальные конфигурации экстракторов, позволившие формировать качественные пучки протонов. Были получены протонные пучки с током до 400 мА и нормализованном эмиттансе на уровне $0.4 \text{ pi} \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$, с долей протонов в пучке 94%.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ: Науки о жизни

Критическая технология РФ: Биомедицинские и ветеринарные технологии

Научное направление: Электродинамика плазмы.

Тема 812.5, Исследование взаимодействия атмосферы и гидросферы в пограничных слоях для широкого диапазона метеоусловий, включая экстремальные (ураганы)

Руководитель: Сергеев Д.А.

Сроки: 2014-2015.

Проведены натурные и лабораторные эксперименты по исследованию ветро-волнового взаимодействия в широком диапазоне изменения метеоусловий. Получен массив данных содержащий информацию о характеристиках воздушного потока, параметров взволнованной поверхности и параметров приповерхностного слоя воды. Данные включают в себя измеренные одновременно профили скорости и температуры в

воздухе и жидкости, возвышения волн.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование

Критическая технология РФ: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы

Направление: Физические процессы в океане.

Тема 817 («Амстердам»), МК-5222.2013.5, «Стохастическое моделирование сильно нелинейных морских волн с приложением к прогнозу экстремальных событий»

Руководитель А.В. Сергеева

Сроки 2013-2014

Численно реконструирована пространственно-временная эволюция волн-убийц, измеренных в прибрежной зоне о.Тайвань. Все померенные аномальные волны являются слабонелинейными, время жизни таких волн порядка 100 с, а использованные для расчетов временные записи получены в диапазоне безразмерных глубин $kh = 1.3-4.0$. Для моделирования использованы приближенные эволюционные уравнения с переменными коэффициентами, учитывающие эффекты переменной глубины. Получены вероятностные характеристики аномальных волн вблизи берега и на глубине в процессе их распространения.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование

Критическая технология РФ: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы

Направление: Физические процессы в океане.

Тема 814 "ОКТ-Эластография", "Разработка физических основ диагностики упругих свойств биотканей с высоким разрешением методами оптической когерентной томографии"

Руководитель. Матвеев Л.А.

Сроки 2013-2014

Разработан метод ОКТ-эластографии с учетом спекл-эффекта. Проведена апробация технологии как численно, так и экспериментально на макете ОКТ-системы, в которую введен режим получения эластографических изображений при ОКТ обследовании биотканей.

Приоритетное направление: Науки о жизни.

Критические технологии: Биомедицинские и ветеринарные технологии.

Тема № 8095913 «ПКИ2013» «Самовоздействие релятивистски сильных лазерных импульсов в плазме: плазменный компрессор для формирования импульсов мульти-петаваттного уровня мощности и создание мощных источников гамма-излучения»

Руководитель С.А. Скобелев

Грант МК-5853.2013.2

Сроки выполнения: 2013–2014

Проведено детальное теоретическое исследование нового метода самокомпрессии релятивистски сильных лазерных импульсов до нескольких колебаний поля при возбуждении кильватерной плазменной волны. Развита теория нестационарного самовоздействия широких (в масштабе длины плазменной волны) пространственно-ограниченных сверхкоротких лазерных импульсов. Самосжатие волнового пакета связана с тем, что в условиях возбуждения кильватерной волны в задней части волнового пакета происходит вытеснение электронов, а в передней части импульса, наоборот, концентрация электронов увеличивается. Следовательно, задняя часть импульса догоняет переднюю часть, так как групповая скорость волнового пакета в плазме увеличивается с уменьшением концентрации электронов. Как показали результаты аналитических и численных исследований, темп укорочения лазерного импульса различен в зависимости от величины амплитуды векторного потенциала. Для мультитераваттных лазерных импульсов насыщение релятивистской нелинейности приводит к квазиодномерному режиму самосжатия лазерного импульса. При этом характерная длина формирования сжатого импульса зависит от интенсивности поля по степенному закону. При релятивистски слабых интенсивностях самокомпрессия волнового пакета протекает в условиях нестационарной самофокусировки излучения; в этом случае характерная длина компрессии зависит от интенсивности экспоненциально.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

Тема № 8185913 «Прегрант 2013». «Подавление термонаведенных искажений мощного (3-10 кВт) излучения в лазерных элементах произвольной формы с применением криогенного охлаждения, композитных структур и методов компенсации»

Грант №МК-2934.2014.2

Руководитель – Д. Железнов

Сроки исполнения - 2014-2015 г.

Исследованы свойства новой магнитоактивной среды Tb:CaF₂ (фторида кальция легированного атомами тербия), обладающей отрицательным значением коэффициента dn/dT , т.е. перспективной с точки зрения адаптивной компенсации тепловой линзы. Среда продемонстрировала приемлемое значение постоянной Верде (0,24 град/кЭ*см), существенно увеличивающееся при охлаждении до 80 К (более 4,5 раз), а также впечатляюще низкий коэффициент поглощения (по оценкам менее 10^{-5} см⁻¹), т.е. термонаведенные искажения мощного излучения при использовании Tb:CaF₂ в качестве магнитооптических элементов ИФ оказываются подавлены с самого начала.

ПН РФ – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

КТ РФ – Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику

НН ИПФ – Оптика и лазерная физика

4.9. Гранты Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (Мегагранты)

НИР №8815951 «Дельта-13» «Полупроводниковый CVD алмаз для мощных и высокочастотных электронных приборов»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Вихарев А.Л.

Договор № 14.В25.31.0021 от 26 июня 2013 года между Министерством образования и науки Российской Федерации, ИПФ РАН и Ведущим ученым (Джеймс Батлер)

Срок выполнения - 26.06.2013г. – 31.12.2015г.

Проведено тестирование реактора для эпитаксиального осаждения CVD алмаза. Изготовлена полная система подвода газов в реакторе. Проведён сравнительный анализ методов подготовки подложек для эпитаксиального CVD осаждения алмаза. Получены данные о характеристиках второго комплекта алмазных подложек. Проведено выращивание экспериментальных образцов эпитаксиальных слоев CVD алмаза на одиночных монокристаллических алмазных подложках. Получены экспериментальные данные о характеристиках экспериментальных образцов эпитаксиальных слоев CVD алмаза, выращенных на одиночных монокристаллических алмазных подложках. Проведены сборка и тестирование реактора для получения легированного дельта слоя CVD алмаза. Изготовлены экспериментальные образцы алмазных материалов с легированным бором дельта слоем. Исследована морфология поверхности экспериментальных образцов материалов с легированным бором дельта слоем.

Тема №8825952, «Молния», «Молнии и грозы: физика и эффекты»

Руководитель: Шлюгаев Ю.В.

Сроки выполнения: 01.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация:

На 2014 год были запланированы эксперименты:

- по моделированию восходящего лидера в лабораторных условиях,
- по измерению интенсивности и динамики рентгеновского излучения от длинной искры,
- по измерению продукции окислов азота, моделированию разряда в заряженном облаке,
- по моделированию предварительной и лидерной стадии молниевых разрядов,
- а также натурные эксперименты по изучению интенсивных молний и токовых генераторов глобальной цепи.

Теоретические исследования в 2014 году были сосредоточены на следующих работах:

- Моделирование канала молнии и модели э/м излучения молнии
- Моделирование распространения э/м волн от канала молнии в различных атмосферных и геофизических условиях
- Теоретический анализ искусственно заряженного облака

- Создание новых алгоритмов предсказания молниевой активности для прогнозных моделей.
- Моделирование эффектов молниевой продукции окислов азота
- Разработка новых моделей спрайтов и гало
- Разработка новой модели ГЭЦ с учетом молний

Тема № 8855952, «Мегаклимат» «Новые подходы к исследованию климатических процессов и прогнозу экстремальных явлений»

Договор от «24» марта 2014 г. № 14.Z50.31.0033 между Министерством образования и науки Российской Федерации, ИПФ РАН и Ведущим ученым Юргеном Куртцем

Руководитель: Фейгин А.М.

Разработаны методы построения моделей климатических систем на базе двух подходов: стохастического моделирования, предложенного в ИПФ РАН и ЭМР-подхода, предложенного участниками из Университета Калифорнии Лос-Анджелеса. Предложен критерий оптимальности модели, позволяющий оптимизировать количество моделируемых мод и число параметров модели. Разработана и протестирована методология обучения моделей, включающая в себя алгоритмы параллельных вычислений. Развита сложносетевой подход к выделению паттернов с дальними связями из климатических данных. Разработаны методы извлечения из данных наблюдений пространственно-временных климатических мод, пригодных для прогностического моделирования. По климатическим базам данных поверхностной температуры океана произведено разбиение климатической системы на слабовзаимодействующие моды. Изучены свойства региональных климатических систем, позволяющие детектировать их взаимосвязи

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научное направление: физика атмосферы.

Тема №8845953, шифр «Фукс», «Лабораторные и численные исследования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах»

Грант Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах Российской Федерации № 12.Z50.31.0007.

Руководитель: Стародубцев М. В.

Сроки выполнения: 01.01.2014 - 31.12.2014

Аннотация: Теоретически (в том числе и с использованием численных моделей) исследовалась возможность моделирования астрофизических явлений в условиях лабораторной плазмы, создаваемой различными источниками. Для экспериментального исследования плазменных явлений, развивающихся в различных астрофизических объектах, были созданы два специализированных экспериментальных стенда. В 2014 году

получены первые экспериментальные результаты по моделированию процессов взаимодействия потоков плотной плазмы с магнитными полями арочной конфигурации.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: Лазерные и электронно-ионно-плазменные технологии;

Научные направления: физика плазмы.

Тема № 8835953 «Лаборатория» «Диагностика новых оптических материалов для перспективных лазеров»

Руководитель: О. В. Палашов

Договор от «28» июня 2013г. № 14.В25.31.0024 между Министерством образования и науки Российской Федерации, научным учреждением Российской академии наук и ведущим ученым, осуществляющим руководство научным исследованием, о выделении гранта правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах Российской Федерации

Сроки исполнения: 2013-2015 г.

Проведены испытания и осуществлены необходимые калибровки созданных измерительных стендов (измерители фотоупругих, термооптических, магнитооптических констант, нелинейно-оптической восприимчивости, механической стойкости покрытий и т.д.) позволяющих измерять характеристики оптических материалов. Начата работа по введению их в эксплуатацию.

На базе технологического стенда, позволяющего изготавливать цилиндрические магнитные системы, представляющие собой набор аксиально и радиально намагниченных колец, созданы оптические изоляторы, работающие при киловаттном уровне средней по времени мощности на перспективных материалах: TGG-, TAG-, Ce:TAG-керамиках и кристаллах ТСАГ.

На базе технологического стенда, позволяющего изготавливать композитные оптические элементы, создан активный элемент Yb:YAG/YAG для высокоэффективного (30%) мощного (300Вт) дискового лазера с водяным охлаждением.

ПН РФ – Энергетика и энергосбережение

КТ РФ – Энергоэффективные световые устройства

НН ИПФ – оптика и лазерная физика

4.10. Проекты, выполняемые в соответствии с международными соглашениями РФ, с зарубежными научными организациями, международными грантами

Тема 1203802, «Гамбург» Extreme ocean gravity waves: analysis and prediction on the basis of breather solutions of nonlinear evolution equations". Volkswagen Foundation

Руководитель: Е.Н. Пелиновский

Сроки выполнения: 01.07.2011-30.06.2015

Выполнено численное моделирование нерегулярных волн в рамках нелинейного уравнения Шредингера с линейным слагаемым накачки. Это уравнение выбрано как простейшая модель нелинейных волн на поверхности моря с учетом воздействия ветра, которая становится интегрируемой в частном случае отсутствия ветра. Наш интерес заключался в исследовании режимов, когда характерный временной масштаб нелинейного приспособления волн был порядка характерного времени роста волн. По результатам стохастического численного моделирования обнаружено, что первостепенное с точки зрения экстремальных волн значение играют не эффекты нестационарности, а избирательное усиление когерентных волновых групп (солитонов огибающей). На примере моделирования единичного солитона огибающей с накачкой в разных режимах (соотношения времен нелинейности и накачки) были предложены приближенные формулы для оценки амплитуд солитонных групп, основанные на решении методом обратной задачи рассеяния и приближенном сведении уравнения с накачкой к интегрируемой модели. Отмечена неадекватность оценки «экстремальности» волн через параметр модуляционной неустойчивости (Benjamin - Feir Index, BFI), связанная с сильным отличием стохастического процесса от Гауссового.

- 1) Рациональное природопользование,
- 2) Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения,
- 3) Радиофизика и электроника, акустика.

Тема 7802802 Air-Sea Interaction under Stormy and Hurricane Conditions: Physical Models and Applications to Remote Sensing” FP7-PEOPLE-2013-IRSES, 2014-2017, Project No. 612610

Руководитель Троицкая Ю.И.

1. Грант CRDF, RUP-31163-NN-13, Laboratory studies of interactions between water waves, currents, and wind , руководитель - Таланов В.И., 2013 – 2014

2. Проект Theoretical numerical simulation of sea state effect on the satellite scatterometer sea surface wind field retrieval accuracy (Капаев В.Ю.) в рамках «Соглашение о научном сотрудничестве между Российской академией наук и Академией наук Китая» между ИПФ РАН и Yantai Institute of coastal zoneresearch CAN.

4.11. Хоздоговора и контрактам, в том числе международные

НИР № 1602451 «Алмаз-ГСН» «Исследование технологических принципов и разработка технологии выращивания высококачественных, высокочистых алмазных плёнок»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Вихарев А.Л.

Заказчик: ИРЭ РАН, договор №45-256 от 11.11.2013г.

Сроки: 02.12.2013 – 15.09.2014г

Объектом исследования и разработки являются образцы алмазных эпитаксиальных структур на алмазных подложках большого (диаметром 50 и 76 мм) размера, включающих наноразмерные переходные слои и высококачественные монокристаллические области приборного качества на основе природных и синтетических монокристаллических подложек. Цель работы – создание научно-технического и технологического задела по разработке технологий и образцов алмазных эпитаксиальных структур на подложках

большого размера, включающих наноразмерные переходные слои и высококачественные монокристаллические области приборного качества на основе природных и синтетических монокристаллических подложек и проведение прикладных исследований технологических основ получения алмазных полупроводниковых пленок и полупроводниковых наноструктур на их основе.

На втором, заключительном этапе выполнения проекта были получены следующие основные результаты. Изготовлены экспериментальные образцы пленок и структур на подложках диаметром 76 мм. Проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов пленок и структур и легированных экспериментальных образцов пленок и структур. Испытания показали, что экспериментальные образцы удовлетворяют требованиям ТЗ. Разработаны предложения в проект ТЗ на ОКР.

Публикации:

A.B. Muchnikov, A.L. Vikharev, D.B. Radishev, V.A. Isaev, O.A. Ivanov, A.M. Gorbachev, A wafer of combined single-crystalline and polycrystalline CVD diamond, Materials Letters, 2015, 139, pp.1-3; <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2014.10.022>

НИР № 1622451 «Нить-2014» «Признаки возмущений параметров ионосферы и электромагнитного поля, вызванных наземными радиосредствами»

Договор с ИКИ РАН № 45-267 от 15.08.2014 г.

Научный руководитель д.ф.-м.н. А. Г. Демехов

Отв. исп. — В. С. Грач, Д. Л. Пасманик, Ю. В. Чугунов, Е. А. Широков

Сроки выполнения 2014–2015 гг.

- На основе опубликованных экспериментальных данных проведены оценки изменений параметров (возмущений) плазмы и электромагнитных полей, вызванных наземными радиосредствами и регистрируемых на космических аппаратах.

- Проведены модельные расчеты формирования крупномасштабных возмущений плазмы при ВЧ нагреве ионосферы для условий нагревных стендов, расположенных на разных геомагнитных широтах.

- С использованием результатов этих расчетов определены лучевые траектории распространения ОНЧ сигналов из ионосферы в магнитосферу в области воздействия нагревных стендов.

- Начат анализ свойств приемной антенны в плазме для волн свистового диапазона частот вблизи «резонансного конуса».

Критическая технология РФ: мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы, снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: Рациональное природопользование, Энергетика и энергосбережение

Основные направления научной деятельности ИПФ РАН: электродинамика плазмы (плазменная астрофизика, геофизическая электродинамика)

НИР № 1662451 «Диагноз» Расчет и конструирование разборного гиротрона для задач спектроскопии и диагностики различных сред

Хоздоговор с ЗАО НПП «ГИКОМ» 45-257 от 02.12.2013

Научный руководитель: Глявин М.Ю.

Сроки выполнения работы: 02.12.2013-30.05. 2014

Выполнены следующие работы:

– выбор рабочей моды гиротрона и расчет параметров резонатора;

- расчет электронно-оптической системы;
- расчет режимов генерации в зависимости от технических параметров;
- расчет и конструирование квазиоптического преобразователя;
- расчет и конструирование коллектора;
- расчет и конструирование выходного окна, оценки влияния отраженного сигнала при работе на несогласованное окно на режим работы гиротрона;
- подбор требуемых источников питания;
- выработка рекомендаций по быстрой смене отдельных узлов.

Требования ТЗ удовлетворены по всем пунктам.

Приоритетное направление: Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Критическая технология: Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Научное направление: Радиофизика и электроника, акустика.

НИОКР № 1672451 «Бриг-14» «Проведение исследований в обеспечение разработки гиротрона повышенной мощности (1,2-1,5 МВт) для ИТЭР»

Руководитель академик РАН д.ф.-м.н. А.Г. Литвак, первый зам. руководителя НИОКР - зам. директора, зав. отделом чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. Г.Г. Денисов, зам. руководителя НИОКР – зав. лабораторией д.ф.-м.н. В.Е.Запечалов, с.н.с. к.ф.-м.н. А.Б. Павельев.

Заказчик - Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом».

Госконтракт от 10.02. 2014 № Н.4а.52.9Б.14.1025.

Сроки выполнения: 10.02.2014 – 05.12.2016 г.

Соисполнители НИОКР - ЗАО НПП «ГИКОМ», г. Н. Новгород.

В рамках теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание непрерывного 170 ГГц гиротрона повышенной мощности ($P \geq 1,2$ МВт) с КПД ~ 50 % для СВЧ комплекса ИТЭР в 2014 г. выполнены следующие работы:

- в режиме 100-миллисекундных импульсов проведены дополнительные испытания макета гиротрона «Парус-12М», оборудованного электронно-оптической системой (ЭОС) с низкотемпературным металлопористым эмиттером и «пограничной» топологией электронного пучка. В ходе испытаний в интервале рабочих напряжений 72-77 кВ и рабочих токов 64-70 А реализована выходная мощность $(1,5 \pm 0,05)$ МВт с общим КПД 50 %;

- разработаны и освоены технологии изготовления, а также разработаны конструкции (с использованием разработанных технологий) «критических» узлов 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона: катодно-подогревательного узла с высокими значениями токоотбора (до 70 А), резонаторного блока, основного вывода энергии с алмазным диском, коллектора. На все указанные узлы выпущены конструкторская и технологическая документации (КД и ТД);

- разработаны конструкции и технологии изготовления ряда элементов вспомогательного оборудования для 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона: катодной и коллекторной катушек, а также системы экранировки от рентгеновского излучения. На все указанные элементы выпущены КД и ТД;

- изготовлены основные узлы 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона: катодно-подогревательный узел, анод, блок резонатора, основной вывод энергии с алмазным диском, два балластных вывода энергии, блок квазиоптических зеркал, блок с рекуперационной керамикой, корпус с последним поворотным зеркалом, коллектор;

- собран макет 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона «Парус 14» с технологическим выводом энергии на основе окна из Nb;

- изготовлены элементы вспомогательного оборудования для 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона: катодная катушка, коллекторная катушка, система экранировки от рентгеновского излучения, блок изоляции гиротрона от криомагнита, две балластные нагрузки;

- проведены работы по усовершенствованию экспериментального стенда для испытаний гиротронов повышенной мощности: изготовление/комплектация деталей и узлов, необходимых для доработки испытательного гиротронного стенда в соответствии с разработанными ранее схемами, доработка стенда для обеспечения испытаний 170 ГГц/(1,2-1,5) МВт/500 с гиротрона (увеличение мощности основного высоковольтного источника питания и реконструкция собственно испытательного стенда);

- проведены патентные исследования;

- подготовлены сведения о результатах научно технической деятельности (РНТД).

Кадровый состав исполнителей НИОКР: численность основных исполнителей НИОКР в ИПФ РАН - 19 чел., в том числе: научных сотрудников - 15 чел., инженерно-технических сотрудников - 4 чел.; академиков РАН - 1 чел, член-корреспондентов РАН - 1 чел., докторов физ.-мат. наук - 4 чел., кандидатов физ.-мат. наук - 5 чел., кандидатов техн. наук - 1 чел.

численность соисполнителей в ЗАО НПП «ГИКОМ» (основных участников) - 25 чел.

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение.

Критическая технология: Технологии создания электронной компонентной базы, технологии новых и возобновляемых источников энергии.

Научное направление: Электроника больших мощностей/ Гирорезонансные приборы, релятивистская микроволновая электроника.

НИОКР № 1682451 «Вулкан-14» Разработка, изготовление и испытание штатного гиротрона, дополнительного оборудования системы нагрева и поддержания тока плазмы ИТЭР в 2014-2016 годах.

Договор от 03.02. 2014 № 06-14/01.

Заказчик - Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР».

Руководитель - директор академик РАН А.Г. Литвак, первый зам. руководителя НИОКР - зам. директора, зав. отделом чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. Г.Г. Денисов, зам. руководителя НИОКР – зам. зав. отделом В.Г. Усов, гл. инженер НИОКР - снс к.ф.-м.н. А.Г. Еремеев.

Сроки выполнения: 03.02.2014 – 02.12.2016 г.

Соисполнители НИОКР - ЗАО НПП «ГИКОМ», г. Н. Новгород; ИФТ НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва и ЗАО «РТСофт», г. Москва.

В обеспечение части вноса Российской Федерации в Международную организацию ИТЭР в натуральной форме в соответствии с определёнными зачётной стоимостью и технической спецификацией в 2014 году выполнены следующие работы:

- проведены дополнительные ресурсные испытания ранее изготовленных гиротронов («Везувий-11» и «Везувий-12»);

- разработан План сварки/пайки для изготовления штатных гиротронных комплексов;

- составлены спецификации на операции сварки/пайки для изготовления штатных гиротронных комплексов;

- проведена квалификация операций по сварке/пайке для изготовления штатных гиротронных комплексов;

- разработаны операции по неразрушающему контролю для штатных гиротронных комплексов;
- проведены квалификация операций и аттестация персонала по неразрушающему контролю для штатных гиротронных комплексов;
- изготовлен прототип штатного гиротронного комплекса;
- выполнены тестирование программного обеспечения и предварительные испытания всей системы управления и защиты прототипа штатного гиротронного комплекса;
- проведены заводские испытания прототипа штатного гиротронного комплекса;
- выполнена модификация программ заводских и окончательных приемочных испытаний штатного гиротронного комплекса по результатам испытаний прототипа;
- выполнена модификация системы управления и защиты гиротронного комплекса по результатам испытаний прототипа и в соответствии с новыми (уточненными) требованиями ИТЭР;
- выполнена модификация 3-D модели/детального проекта штатного гиротронного комплекса по результатам испытаний прототипа;
- составлен перечень планируемых к закупке материалов и оборудования для поставочных гиротронных комплексов № 1 и № 2;
- проведены патентные исследования;
- подготовлены сведения о результатах научно технической деятельности (РНТД).

Кадровый состав исполнителей НИОКР: численность основных исполнителей НИОКР в ИПФ РАН – 96 чел., в том числе: научных и инженерно-технических кадров – 79 чел.; академиков РАН - 1 чел, член-корреспондентов РАН – 1 чел., докторов физ.-мат. наук - 3 чел., кандидатов физ.-мат. наук - 3 чел., кандидатов техн. наук - 2 чел.

- численность соисполнителей в ЗАО НПП «ГИКОМ» - 127 чел., в том числе: научных и инженерно-технических кадров - 95 чел., кандидатов физ.-мат. наук - 3 чел., кандидатов техн. наук - 2 чел.

- численность соисполнителей в ИФТ НИЦ «Курчатовский институт» - 14 чел., в том числе: научных и инженерно-технических кадров - 11 чел., кандидатов физ.-мат. наук - 1 чел.

- численность соисполнителей в ЗАО «РТСофт» - 7 чел., в том числе: научных и инженерно-технических кадров - 4 чел.

Приоритетное направление: Энергетика и энергосбережение.

Критическая технология: Технологии создания электронной компонентной базы, технологии новых и возобновляемых источников энергии.

Научное направление: Электроника больших мощностей/ Гирорезонансные приборы, релятивистская микроволновая электроника.

НИР № 1692451 «Суффа-14» «Исследования астроклимата на плато Суффа в миллиметровом диапазоне длин волн»

Научный руководитель д.ф.-м.н. И.И. Зинченко.

Финансирование – по договору № 45-259 от 15 мая 2014 г. с АКЦ ФИАН.

Сроки: 2014.

С 31 октября по 10 ноября 2014 г. состоялась экспедиция в Узбекистан группы специалистов Института прикладной физики РАН. Эта группа подготовила и реализовала модернизацию приемного аппаратурного комплекса, поставленного на Суффу в прошлом году. В частности, была ограничена полоса приема в 3-мм канале снизу с тем, чтобы исключить влияние линии кислорода на результаты оценки количества водяного пара в атмосфере. Проведен анализ результатов измерений атмосферного поглощения на этой площадке.

Приоритетное направление: Рациональное природопользование
Критические технологии: Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы
Научные направления: радиофизика и электроника, акустика

НИР № 3392471 «Круг» «Разработка технологии выращивания высококачественного поликристаллического алмаза и изготовление экспериментальных образцов алмазных пластин»

Научный руководитель д.ф.-м.н. Вихарев А.Л.
заказчик: ЗАО НПП «ГИКОМ»,
Сроки: ноябрь 2013 – сентябрь 2015

Разработана технология выращивания высококачественных поликристаллических алмазных плёнок из газовой фазы на поверхности кремниевых подложек. Изготовлены экспериментальные образцы алмазных пластин диаметром 75мм. Проведены испытания полученных образцов экспериментальных пластин, измерена величина диэлектрических потерь.

СЧ ОКР 3512411 «Пирс-Н» Название и содержание работы – согласно техническому заданию

Научный руководитель –чл.-корр. РАН, д. ф. - м. н. Г.Г.Денисов
Договор – 41-101 от 28.06.12, заказчик – ФГУП «ГосНИИПП»
ОКР выполняется в соответствии с ТЗ.

СЧ ОКР 3522411 «Резонанс – КНА-РИК» Разработка и изготовление прибора РИК

Хоздоговор между ИПФ РАН и ИКИ РАН, дополнительное соглашение №2 к договору № 41-91 от 27.07.2011 г. от 15 октября 2012 г.

Научный руководитель д.ф.-м.н. Демехов А.Г.
Работа выполняется совместно с отделом № 260

В 2014 году сотрудники ИПФ РАН участвовали в проведении входного контроля технологического образца (ТО) прибора РПД (РИК) в ИКИ, а также в доработке конструкции возбуждающего устройства антенны для эксперимента РИК.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации: Транспортные, авиационные и космические системы

Основные направления научной деятельности ИПФ РАН: астрономия и исследования космического пространства.

НИР 3632411 «Коалиция – СВ - ИПФ» «Научно-техническое сопровождение создания микроволновой системы инициации модульных метательных зарядов»

Хоздоговор с ОАО «ЦНИИ Буревестник»
Руководитель Ю.Я. Бродский (2008-2014).

Проведены автономные предварительные испытания инициаторов на территории разработчика инициаторов совместно с заказчиком. Проведены настройки антенного узла по результатам проведенных испытаний.

НИР № 3712411. Шифр «ПРИ».

Руководитель д.ф.-м.н. Ковалев Н.Ф.

5 этап контракта по сроку действия с января 2012г. по сентябрь 2014г. Общий срок действия по контракту 01.04.2008-09.2014г.

Заказчик: ОАО «МРТИ РАН» г.Москва, Открытое Акционерное Общество «Московский Радиотехнический Институт Российской Академии Наук».

Участники работы: Ковалев Н.Ф., Гойхман М.Б., Громов А.В., Нечуев С.И., Палицин А.В.

За 2014 год объема финансирования нет.

НИР № 3732411. Шифр «Фосген А-2НН».

Контракт № 41-108 от 02 09.2013г. На выполнение составной части научно-исследовательской работы. Этап 2: Проведение работ в соответствии с п. 11.9.1.2 ТТЗ.

Руководитель д.ф.-м.н. Ковалев Н.Ф.

Сроки: 01.12.2013-31.10.2014г.

За 2014 год объем финансирования 6250,0 тыс.руб.

Заказчик: ОИВТ РАН г.Москва, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Участники работы: Ковалев Н.Ф., Гойхман М.Б., Громов А.В., Нечуев С.И., Палицин А.В.

Результаты в соответствии с ГОСТ РВ 15.105-2001 НТО, НТД.

НИР 5502961 «ЭНЕРГОИНФОРМ» «Энергоэффективные информационные технологии»

Договор №204-MRA (607/13) от 01.11.2013 с АНО ВПО "Сколковский институт науки и технологии" в рамках подготовки деятельности Центра по изучению квантовых материалов (координатор – д.ф.-м.н., профессор С.Г.Тиходеев, ИОФ РАН).

Научный руководитель чл.-корр. РАН Вл.В.Кочаровский

Исполнители: Вл.В.Кочаровский, В.А.Кукушкин, С.В.Тарасов

Срок выполнения 01.11.2013 – 31.10.2015

Вычислено радиационное время жизни экситонов Ванье–Мотта, находящихся в потенциальных ямах, сформированных нанокластерами узкозонных полупроводников в широкозонных материалах. Проанализированы примеры нанокластеров узкозонных полупроводников как с прямой (конкретно InAs), так и с непрямой (алмаз) зонными структурами. Показано, что в случае нанокластеров из прямозонных полупроводников радиационное время жизни находящихся в них экситонов Ванье–Мотта определяется происходящей без участия фононов рекомбинацией составляющих их электронов и дырок и существенно увеличивается с уменьшением размера кластера. Конкретно, в случае нанокластера InAs в GaAs с размерами порядка радиуса экситона Ванье–Мотта при температуре, равной 1.7 К, оно возрастает почти в 5 раз по сравнению с его значением в неограниченном InAs. В случае нанокластеров из непрямоzonных полупроводников радиационное время жизни находящихся в них экситонов Ванье–Мотта определяется рекомбинацией составляющих их электронов и дырок, происходящей с одновременным излучением фононов, и зависит от размеров кластеров слабо. Эффект увеличения радиационного времени жизни экситонов Ванье–Мотта в нанокластерах из прямозонных полупроводников при уменьшении их размеров может быть использован в различных экспериментах с такими экситонами, требующих для своего осуществления сравнительно большого времени, например связанными с созданием на их основе запоминающих устройств.

Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ –

информационно-телекоммуникационные системы.

Критические технологии РФ – компьютерное моделирование наноматериалов, наноустройств и нанотехнологий, технологии информационных, управляющих, навигационных систем, технологии наноустройств и микросистемной техники, технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем, технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств.

Научные направления, определённые уставом ИПФ РАН – физика конденсированных сред, оптика и лазерная физика.

СЧ ОКР «Глухарь-Гнездо-П»

Заказчик – ОАО «Корпорация «Комета»,

Руководитель Лучинин А.Г.

СЧ ОКР «Разработка и обоснование требований к планарным и объёмным антенным решеткам при работе в режиме активной низкочастотной гидролокации в мелком море» (шифр «Стерлядь-ИПФ»).

Заказчик – ОАО «НИИ «Атолл».

СЧ ОКР «Разработка программной модели функционирования автономных гидроакустических станций в составе ИССПН» (шифр «Палтус-ИПФ»).

Заказчик – Концерн «Электроприбор».

СЧ ОКР «Автоном», «Создание информационно-измерительного комплекса с функцией оценки скрытности заказа по основным физическим полям»

ОАО "ЦКБ МТ "Рубин"

СЧ ОКР «Санхар», «Отработка, проверка и оптимизация технических решений по акустической защите заказа «Ясень-М» с использованием масштабной акустической модели»

ОАО "СПМБМ "Малахит"

СЧ ОКР «Рациональность – ВГ5-ИПФ», «Создание цифровой приемной системы сбора, предварительной обработки и передачи информации»,

ФГУП «Камчатский гидрофизический институт»;

СЧ ОКР «Режим-8-ИПФ», «Разработка и поставка приборов передающего тракта режима 8 изделия «Иртыш-Амфора»

ОАО "Концерн "Океанприбор"

НИР «Акула-ИПФ», «Экспериментальная проверка и отработка эффективных адаптивных алгоритмов (в том числе согласованных со средой) пространственно-частотно-временной обработки гидроакустических сигналов»

ОАО "ЦНИИ "Электроприбор";

СЧ ОКР «Иртыш-Амфора-Борт-ИПФ», «Исследование помеховой обстановки районах установки приборов 1БП изделия "Иртыш-Амфора-Б-055А»

ОАО "Концерн "Океанприбор";

СЧ ОКР «Калитка», «Создание жесткостной модели и модернизация информационно-измерительного комплекса "Автоном"»

ОАО "ЦКБ МТ "Рубин;

СЧ ОКР «Севрюга», «Разработка ряда разночастотных цифровых формирователей сигналов и ключевых усилителей мощности ультразвукового диапазона высокотехнологичных генераторных устройств»,

ОАО "Концерн "Океанприбор";

СЧ НИР "Ограничение-Контроль", "Разработка методов выявления источников внешнего шума морских объектов с использованием системы самоконтроля",

ФГУП «КГНЦ»

СЧ НИР "Борей-РАИ-ИПФ", "Участие в расширенных акустических испытаниях заказа "Борей" с целью исследования ВАХ оборудования ППУ методом взаимности",

ОАО "ПО Севмаш";

"Борт-актив", «Разработка гидроакустической системы компенсации дискретных составляющих».

ОАО "СПМБМ "Малахит"

СЧ ОКР "Кижуч" «Разработка модификаций приборов для передающего тракта режима ОБО-ПТЗ изделия "Кижуч-971М»,

ОАО «Концерн «Океанприбор»

Тема №1512452, шифр «Эльф», «Лабораторное и численное моделирование разрядных процессов в атмосфере»

Источник финансирования: Договор от 16.09.2014 г. № 45-268 с ИКИРАН.

Руководитель: Костров Александр Владимирович

Сроки выполнения: 16.09.2014 - 31.10.2014

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы.

Аннотация: Произведены работы по дооснастке и введению в эксплуатацию вакуумной камеры для проведения работ по лабораторному моделированию высоковольтных разрядов в атмосфере, в том числе с градиентом давления. Произведена фотосъемка разряда, формируемого в камере. Построен одноканальный СВЧ-интерферометр, предназначенный для диагностики плазмы, образующейся в результате

пробоя рабочего газа. Предложена методика сравнения лабораторных данных с данными, полученными комплексом научных приборов микроспутника "Чибис-М", и выработаны предложения по планированию экспериментов по исследованию корреляции широкополосных ВЧ всплесков с процессами в облаке. Разработана двумерная аксиально-симметричная плазмохимическая модель средней атмосферы. Проведено численное моделирование различных возмущений ионов, электронов, нейтральной компоненты, а также проводимости в мезосфере в результате развития высотного разряда (спрайта).

Тема №1712452, шифр «Гроза-14», «Измерения и анализ электромагнитного излучения от интенсивных гроз в Нижегородском регионе за конвективный сезон 2014 года»

Источник финансирования: Договор от 20.10.2014 г. № 45-271 с ООО «ГеоМетеоПрибор».

Руководитель: Ильин Николай Владимирович

Сроки выполнения: 20.10.2014 - 15.12.2014

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы.

Аннотация: Проект направлен на изучение особенностей электромагнитного отклика от молниевых вспышек по данным натурных экспериментов. В процессе работы измерены и проанализированы данные об электромагнитном излучении от интенсивных гроз за конвективный сезон 2014 года. Проанализированы возможности по определению типа разряда. Определены наиболее эффективные грозопеленгационные системы.

Тема №1562452, шифр «2014-87-2-Н-ИПФ», «Моделирование и диагностика проявлений крупномасштабных электрических процессов в атмосфере»

Источник финансирования: Контракт от 19.09.2014 г. № 101/ГФ/Н-14-ИПФ с ИФРАН.

Руководитель: Мареев Евгений Анатольевич

Сроки выполнения: 19.09.2014 - 30.10.2014

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы.

Аннотация: Проведено численное моделирование глобальной электрической цепи. Рассмотрены границы применимости электротехнических моделей глобальной цепи. Проведена оценка влияния различных естественных и антропогенных факторов на динамику ионосферного потенциала с учётом особенностей, связанных с источниками глобальной цепи, оценено влияние солнечной активности и радиоактивности на ионосферный потенциал. Сделаны общие оценки чувствительности ионосферного потенциала по отношению к возмущениям. Разработана двумерная аксиально-симметричная плазмохимическая модель средней атмосферы. Проведено численное моделирование различных возмущений ионов, электронов, нейтральной компоненты, а также проводимости в мезосфере в результате развития высотного разряда (спрайта). На основе решения самосогласованной нелинейной электродинамической задачи исследована пространственно-временная динамика электрического поля над областью возмущения с учётом изменения свойств верхней атмосферы. Исследовано воздействие импульсного электромагнитного поля на верхнюю и среднюю атмосферу.

Тема № 1632452, шифр «СВЯЗЬ», «Исследование причин появления ЭМП в работе РСО самолета ДЛРО ЭИ и разработка мероприятий по их устранению»

Источник финансирования: договор №127/ЭИ-14 от 14.03.2014 между ОАО "ТАНТК им. Г.М. Бериева" и ИПФРАН.

Руководитель: Костров Александр Владимирович

Сроки выполнения: 14.03.2014 - 30.10.2014

Приоритетное направление: Рациональное природопользование;

Критическая технология РФ: технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы;

Научные направления: физика атмосферы.

Аннотация: В ходе выполнения НИР, по данным спектрального анализа было установлено, что основным источником помех является излучение ЛЭП на гармониках промышленной частоты 50 Гц. Существенно, что характер помехи – импульсный, т.е. помеха представляет собой последовательность кратковременных всплесков, детектируемую в аудио-тракте станции. Такой характер помехи не вызывает удивления, поскольку энергетические сети Индии включают сильно разветвленную сеть промышленных ЛЭП и энергоемких потребителей. Далее, радиочастотная помеха, представляющая собой высшие гармоники промышленной частоты 50 Гц, наводится, преимущественно, на штатную антенну станции Р-862, однако проникает в тракты станции не в рабочем диапазоне, а вне полосы, на частотах от единиц МГц до 50 МГц. Такой характер проникновения помехи в станцию подтвержден модельными лабораторными экспериментами.

«Глухарь-Грань-НЧИ» «Разработка низкочастотного излучателя автономной станции телеуправления модификации А.»

ЗАО "Аквамарин."

«Глухарь-Гарнитура-НЧИ» «Разработка низкочастотного излучателя стационарной станции телеуправления, низкочастотного излучателя автономной станции телеуправления модификации Н, низкочастотного излучателя автономной станции телеуправления модификации Л.»

ЦКБ "Лазурит."

ОКР «Рациональность – ВГ5 – ИПФ РАН» «Разработка электроакустической аппаратуры стационарной излучающей системы (СТИС-Р)».

Камчатский гидрофизический институт.

«Акула-ИПФ» НИР «Экспериментальная проверка и отработка эффективных адаптивных алгоритмов (в том числе согласованных со средой) пространственно-частотно-временной обработки гидроакустических сигналов».

ОАО «Концерн «Электроприбор».

На последнем (третьем) этапе выполнения НИР (2014 г.) методами численного моделирования исследована эффективность согласованных со средой методов локализации источника звука в условиях неточного знания модели гидроакустического волновода. Проведено моделирование и экспериментальная апробация разработанных робастных алгоритмов пространственной обработки частично-когерентных акустических

сигналов в мелководных акваториях. Показано, что в реальных условиях соответствующие алгоритмы являются работоспособными и обеспечивают удовлетворительное качество восстановления источника, удаленного на расстояние ~15 км от антенной решетки. По результатам исследования направлено три статьи в ведущие научные журналы.

Тема № 3522522 «СНЕГ», Договор о создании прототипа № 01.01-2014. А.М.

ООО SIA «Snowision», Латвийская республика, Рига.

Руководитель – д.ф.-м.н. Фейгин А.М. Сроки 15.09.2014 – 15.01.2015.

Разработано техническое задание на создание прототипа микроволновой камеры для дистанционного зондирования снежного покрова на лыжных трассах. Прибор должен состоять из 2 х трехканальных спектрорадиометров работающих в частотных диапазонах находящихся на склонах 5-ти миллиметровой полосы и 2,5-мм линии молекулярного кислорода, соответственно, и широкополосного радиометра 8-ми мм диапазона. Все три модуля оснащены рупорными антеннами и системой автоматической сквозной калибровки на базе твердотельных модуляторов калибраторов. Микроволновая камера будет установлена на опорно-поворотном устройстве, позволяющем сканировать луч зрения в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Управление сканированием и сбором данных будет осуществляться с помощью ПК или ноутбука. По результатам измерений микроволнового излучения снежного покрова и атмосферы будет получаться информация о ряде характеристик снежного покрова (глубина; температура и состояние верхнего слоя).

1) 06 Рациональное природопользование, 2) 12 Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы, предотвращения и ликвидации ее загрязнения

Тема № 1402453 «Создание технологии изготовления нелинейных кристаллов, образца регенеративного предусилителя СФОИ, Систем зарядных устройств накопителя и ячеек Поккельса опытного образца модуля установки УФЛ-2М»

Заказчик ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Тема № 1412453 (составная часть темы № 1402453) «Создание образца регенеративного предусилителя СФОИ и ячеек Поккельса с плазменными электродами»

Руководители Н.Ф. Андреев и О.В. Кулагин

Сроки выполнения: 2012 – 2015

Разработан и испытан опытный образец регенеративного усилителя СФОИ, обладающий следующими характеристиками: длина волны усиливаемого излучения 1054+/-1нм, ширина спектра усиления до 300 ГГц, длительность усиливаемого импульса 1-20 нс, качество выходного излучения $M^2 < 1.2$, энергия входного импульса 1 нДж, энергия выходного импульса до 500 мДж, частота следования импульсов до 100 Гц, стабильность выходной энергии импульса лучше 5%, причем в рабочем режиме обеспечивается автоматическая юстировка оптической схемы усилителя.

Разработаны и созданы ячейки Поккельса с плазменными электродами апертурой 410x410 мм. Проведены предварительные исследования такой ячейки. Выявлены особенности работы генераторов импульсов предионизации и генераторов управляющих

импульсов, что позволит провести их модернизацию в следующих реализациях для таких ячеек Поккельса. Проведены предварительные испытания системы автоматизированного управления всего комплекса электропитания ячеек. Уточнены алгоритмы такого управления. Созданы уточненные учетные копии рабоче-конструкторской документации для затворов Поккельса апертурой 180x180мм.

Создан стенд с чистой зоной для сборки затворов Поккельса и стенд их предварительных испытаний.

Тема № 1422453 «Квадрат» (составная часть темы № 1402453) «Создание технологии изготовления нелинейных кристаллов»

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Руководитель В.В. Ложкарев

Сроки выполнения: 2012 – 2015

Проведены пуско-наладочные работы следующих стендов: ростовой стенд; лабораторный стенд подготовки, фильтрации и контроля качества ростовых растворов; стенд предварительной оптической обработки и ориентации нелинейных элементов; лазерный стенд контроля ориентации и определения порога пробоя нелинейных элементов; стенд диагностики и контроля режимов обработки станков алмазного микроточения САФ 600, лабораторный стенд нанесения и контроля просветления покрытий.

Разработаны Программа и методики предварительных испытаний опытных образцов нелинейных элементов (3 шт.).

Созданы опытные образцы нелинейных элементов для ячейки Поккельса апертурой 180x180 мм (2 шт.) и 410x410 мм (7 шт.).

Тема № 1262463 «Кубик-6» «Изготовление и поставка заготовки из кристалла дидейтерофосфата калия»

УП «КБТЭМ-ОМО» (Беларусь, г. Минск)

Руководитель А.П. Прохоров

Сроки выполнения: 2013 – 2014

Изготовлена и поставлена заказчику заготовка из кристалла дидейтерофосфата калия размером 79 x 61 x 78 (мм)

Тема № 1852453 «Разработка системы вращения плоскости поляризации зондирующего излучения для МФС- ОКТ»

Руководитель: В.М. Геликонов

Договор № 45-264 от 09.06.2014 г. с ГБОУ ВПО НижГМА Минздрава России

Сроки выполнения: 2014 г.

Рассмотрена возможность универсального преобразования состояния поляризации волны из произвольного в круговое (и обратно) при помощи двух активных фазовых элементов, взаимно развернутых под углом 45°. Показано, что эта система может стать основой для поддержания кругового состояния поляризации в оптических схемах с гибкими волоконно-оптическими трактами при непредсказуемых возмущениях оптической трассы в процессе измерения.

Тема № 1802453 «ЭВС-ОКТ» «Разработка эндоскопического ОКТ модуля для эндовидеосистемы ЭВС-ОКТ»

Руководитель: П.А.Шилягин

Договор № 224-С/213296 от 01.10.2013г. с Университетом ИТМО

Сроки выполнения: 2013-2015 г

Произведено улучшение разрешения по глубине в оптической схеме корреляционной оптической когерентной томографии. Экспериментально реализована величина элемента продольного разрешения 15.3 ± 2.9 мкм.

Осуществлена коррекция волноводной и материальной дисперсии оптического тракта интерферометра. Произведено теоретическое формальное обоснование и количественная оценка влияния дисперсии оптического тракта на уширение аппаратной функции ОКТ. Введен критерий оценки предельного значения разности показателя преломления на ширине спектра источника, при котором начинает сказываться влияние дисперсии оптического тракта. Предложен и описан алгоритм компенсации дисперсионных искажений в корреляционном методе ОКТ, в том числе и для дисперсии материала исследуемой среды.

Осуществлено макетирование и произведены испытания макетов.

Оформлена конструкторская документация в объеме технического проекта.

Тема № 1122423 «Берлин» «Совместные теоретические и экспериментальные исследования лазерного фото инжектора с системой формирования лазерного импульса квазиэллипсоидальной формы»

Руководитель: Хазанов Е.А.

Соглашение о сотрудничестве между Дейзи (Германия), ОИЯИ (Москва),
Соглашение б/н от 01.07.2010 г.

Сроки выполнения: 2010–2015 г.

Разработан, изготовлен и испытан лазерный драйвер 3-х мерных эллипсоидальных электронных сгустков предназначенный для лаборатории PITZ в г. Цойтн, Германия (для фотоинжектора линейного ускорителя электронов в рамках Европейского проекта XFEL). Лазерный драйвер излучает chirпованные по спектру пикосекундные УФ импульсы на длине волны 257.5 нм. Длительность импульсов 20 пс, частота повторения 1 МГц, энергия около 4 мкДж. Импульсы излучаются цугами по 300 штук в каждом с частотой повторения 10 Гц. Заложена возможность формирования произвольной пространственно-временной формы, в том числе и 3-х мерных эллипсоидов. Технический КПД преобразования излучения во вторую гармонику более 45%.

Для мониторинга пространственно-временных характеристик излучения в конструкцию драйвера заложен дополнительный диагностический канал излучающий 200 фс импульсы с временным джиттером много меньше длительности импульсов. Кросскоррелятор на основе нелинейного преобразования диагностического импульса с рабочим позволяет наблюдать за пространственно временными параметрами излучения как в основной гармонике, так и во второй и четвёртой гармониках.

Драйвер был собран и испытан в ИПФ РАН, затем разобран и перевезён в лабораторию PITZ, где был собран заново, в соответствие с несколько изменённой геометрией и выведен на рабочие параметры. Для доставки и согласования размеров пучка на фотокатод ускорителя была разработана линия передачи излучения драйвера.

Тема № 1702453 «Создание широкоапертурного интерферометра фазового сдвига для установки УФЛ-2М»

Руководитель: Кожеватов И.Е.

Контракт № 10.01./13/13 от 10.01.2013 с ФГУП «РФЯЦ_ВНИИЭФ»

Сроки выполнения: 2013–2015 г.

Разработано программное обеспечение для управления широкоапертурным интерферометром фазового сдвига и обработке результатов измерений. Составлено методическое руководство пользователя.

Выполнено финишное изготовление крупногабаритных оптико-механических узлов широкоапертурного интерферометра. Изготовлены узлы интерферометра. Выполнены монтаж интерферометра и пуско-наладочные работы.

Разработана программа и методика предварительных испытаний. Проведены предварительные испытания интерферометра. По результатам испытаний выполнена корректировка рабочей конструкторской документации интерферометра и проведена его доработка.

«Создание опытного образца САУ СНКЭЭ установки УФЛ-2М»,

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»,

Руководитель – И.С. Бабер.

«Разработка и сопровождение мат.обеспечения АСУТП установки "CoLine 3",

"Элан-практик

Руководитель – И.И. Леонов.

5. Премии и награды

Почетная грамота Президента Российской Федерации

А.Ф. Крупнов

Медаль Российской академии наук с премией для молодых ученых

Железнов Д.А., Мухин И.Б., Снетков И.Л. - за работу «Разработка и создание оптических изоляторов для лазерного излучения киловаттного уровня средней по времени мощности».

Кошелев М.А., Серов Е.А. - за работу «Прецизионная лабораторная спектроскопия легких молекул и молекулярных комплексов»

Международная премия им. Р. Желлера для молодых ученых «За выдающийся вклад в развитие ЭЦР ионных источников»

Изотов И.В.

Почетный диплом губернатора Нижегородской области

Палашов О.В.

Благодарственное письмо Правительства Нижегородской области

Караев В.Ю.

Почетная грамота Министерства промышленности и инноваций Нижегородской области

Д.А. Сергеев, В.А. Скалыга

Почетная грамота Министерства образования Нижегородской области

Мухин Д.Н.

Почетная грамота Российской академии наук и Профсоюза работников Российской академии наук

Казарова А.Ю.

Gold Medal on Salon International des Inventions (Geneva, 4 April 2014)

Kurkin A., Tyugin D., Kurkina O., Giniatullin A., Pelinovsky E. «IGW - Ensemble informatique pour predire les risques dans les installations offshore.

Kurkin A., Tyugin D., Kurkina O., Giniatullin A., Pelinovsky E. «MOS Impact Modelling software complex». Gold Medal on Salon International des Inventions

Гранты Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых

Номинация «Кандидаты наук»

В.Ю. Заславский, Л. А.Матвеев, С. А. Скобелев, А.В. Сергеева – гранты 2013 года;

Д.А. Железнов, Д.А. Сергеев, В.А. Скалыга – гранты 2014 года

Номинация «Доктора наук»

А.Г. Шалашов – грант 2014 года

Стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам

Анашкина Е.А., Гоносков А.А., Железнов И.В., Клиньшов В.В., Коржиманов А.В., Костин В.А., Мансфельд Д.А., Миронов С.Ю., Салин М.Б., Серов Е.А., Силаев А.А., Соловьев А.А. – (2012-2014 г.г.)

Викторов М.Е., Гордлеева С.Ю., Евтушенко А.А., Ефименко Е.С., Изотов И.В., Кузьмин А.А., Мучников А.Б., Слюняев Н.Н., Смирнов Л.А., Фадеев Д.А. – (2013-2015 г.г.)

Стипендия им. академика Г. А. Разуваева

Александров Л.Н., Байдаков Г.А., Вадимова О. Л., Железнов И.В., Кияшко С.Б., Коньков А.И., Коптев М.Ю., Кузнецов И. И., Одинцова Т.А., Титченко Ю.А., Широков Е.А., Шомина О.В.

Стипендия им. академика Ю. Б. Харитона

Оладышкин И.В.

Диплом конкурса им. Ю.П. Мальцева «За отличную публикацию молодого российского ученого в области физики магнитосферы (2012-2013 гг.)», ПГИ КНЦ РАН, 2014 г. - М.Е. Викторов.

Диплом с отличием участника 10-ой Школы современной астрофизики (Summer School of Modern Astrophysics (SOMA–2014) "X-ray Astronomy and Particle Astrophysics"), 15-26 июля 2014г., г. Зеленогорск. – Гарасёв М. А.

XVI Конкурс работ молодых ученых ИПФ РАН, Изотов И. В., Сидоров А. В. - 1 премия; Мартыянов К. А., Махалов В. Б. – 2 премия; Иляков И. Е. – поощрительная премия

Благодарственное письмо Председателя Всероссийской олимпиады студентов по физике, ректора НИЯУ МИФИ М.Н. Стриханова за активное содействие студенческому олимпиадному движению - Кочетов А.В.

Диплом III степени в номинации «Лучшее изобретение года в Нижегородской области в сфере электроники и приборостроения» (VIII-й конкурс субъектов интеллектуальной собственности на соискание премии Нижегородской области им. И.П.Кулибина) - Караев В.Ю.

Диплом (III место) на VIII-ом конкурсе объектов интеллектуальной собственности Нижегородской области - Казаков В.В. -

Башмаков В.Ф. (2-е место), Коптев М.Ю. (поощрительный диплом) – призеры 19-й Нижегородской сессии молодых ученых (естественные, математические науки 27–30 мая 2014 г.).

6. Диссертации

Докторские диссертации

Пирогов Лев Евгеньевич, диссертационный совет Д 212.161.01 на базе ФГБНУ НИРФИ, специальность 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, дата защиты 22 апреля 2014;

Кузиков Сергей Владимирович, диссертационный совет Д 002.069.02 на базе ИПФ РАН, специальность 01.04.03 – радиофизика, дата защиты 26 мая 2014;

Зотова Ирина Валерьевна, диссертационный совет Д 002.069.02 на базе ИПФ РАН, специальность 01.04.03 – радиофизика, дата защиты 09 июня 2014;

Гитлин Михаил Семенович в диссертационном совете Д 002.069.02 на базе ИПФ РАН, специальность 01.04.08 – физика плазмы, дата защиты 16 июня 2014 года.

Кандидатские диссертации

Малкин Андрей Михайлович (рук. Н.С.Гинзбург), диссертационный совет Д 002.069.02 на базе ИПФ РАН, специальность 01.04.03 – радиофизика, дата защиты 02.12.2013.

Кандауров Александр Андреевич, диссертационный совет Д 002.069.01, 27 октября 2014 г., специальность 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

М.Б. Салин диссертация «Эффекты синхронизма при рассеянии звука на распределенных структурах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.06 – акустика. Дата защиты 24.04.2014.

А.С. Иваненков диссертация "Выделение сигналов и локализация их источников с помощью заполненных и синтезированных апертур" на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика. Дата защиты 24.12.2014.

Мольков Александр Андреевич, диссертационный совет Д002.069.01, 17 марта

2014 г., специальность 25.00.29 - физика атмосферы и гидросферы.

Агарева Н.А. “Фоточувствительные композиты на основе полиметилметакрилата и соединений железа и золота” – диссертационный совет Д 002.229.01 при Институте высокомолекулярных соединений РАН дата защиты: 9 октября 2014 г., специальность 02.00.06 — высокомолекулярные соединения (кандидатская диссертация).

Клешнин М.С. “Разработка и развитие методов диффузионной флуоресцентной томографии биологических тканей с плоскопараллельной геометрией сканирования” – диссертационный совет Д 002.069.02 в ИПФ РАН, дата защиты: 6 октября 2014 г., специальность 01.04.03 – радиофизика (кандидатская диссертация).

Майзус И.И. “Анализ спектров молекул $H_2^{16}O$ и H^{3+} с использованием глобальных поверхностей потенциальной энергии” – диссертационный совет Д 002.069.02 в ИПФ РАН, дата защиты: 28 апреля 2014 г., специальность 01.04.03 – радиофизика (кандидатская диссертация).

Масленников О.В. “Динамические сети хаотических осцилляторов в задачах модульной и кластерной синхронизации нейронных ансамблей” – диссертационный совет Д 002.069.02 в ИПФ РАН, дата защиты: 15 декабря 2014 г., специальность 01.04.03 – радиофизика (кандидатская диссертация).

Моисеев А.А. “Метод повышения поперечного разрешения в спектральной оптической когерентной томографии” – диссертационный совет Д 002.069.02 в ИПФ РАН, дата защиты: 14 апреля 2014 г., специальность 01.04.03 – радиофизика (кандидатская диссертация).

7. Сотрудники института – члены научных обществ и организаций

Российская академия наук

Академики: А. В. Гапонов-Грехов, В. В. Железняков, А. Г. Литвак, В. И. Таланов
члены-корреспонденты: В. А. Зверев, Вл. В. Кочаровский, Е. А. Мареев,
М. И. Рабинович, А. М. Сергеев, Е. А. Хазанов, Г. Г. Денисов

Президиум Российской академии наук

А. Г. Литвак – член Президиума

Бюро Отделения физических наук РАН

В. В. Железняков, А. Г. Литвак – члены бюро

Президиум Нижегородского научного центра РАН

А. Г. Литвак – председатель, В. В. Железняков

Научный совет РАН по оптике и лазерной физике

А. М. Сергеев

Научный совет РАН по акустике

А. Г. Лучинин – член бюро, председатель секции, А. И. Малеханов, А.И. Хилько

Научный совет РАН по гидрофизике

А. Г. Лучинин – председатель секции, В. В. Баханов, А. И. Хилько

Научный совет РАН по нелинейной динамике

А. В. Слюняев – ученый секретарь

Научный совет РАН по астрономии

В. В. Зайцев – член бюро, председатель секции, В. В. Железняков – член бюро,

Вл. В. Кочаровский – член бюро секции

Научный совет РАН по химии высокочистых веществ

В. И. Родченков

Научный совет РАН по распространению радиоволн

Л. И. Федосеев, Ю. В. Чугунов – члены совета

Научный совет РАН по биомеханике

В. А. Антонец – член совета

Всемирная федерация научных работников

В. Ф. Вдовин - вице-президент

Международный астрономический союз (IAU)

В. М. Губченко, В. В. Зайцев, Е. Я. Злотник, В. В. Железняков, А. Г. Кисляков,
Вл. В. Кочаровский, В. Е. Шапошников, И. И. Зинченко

Международное общество инженеров оптиков (SPIE)

Е. А. Хазанов, Е. А. Перевезенцев, М. С. Клешнин, М.Ю. Кириллин, А. Г. Орлова,
В. Ю. Зайцев

Международный радиосоюз (URSI)

В. Л. Братман – член РНК, Ю. В. Чугунов – член РНК, член комиссии «Волны в
плазме», И. И. Зинченко, А. Г. Демехов, А. И. Смирнов, Л. И. Федосеев

Общество геофизиков-разведчиков (Society of Exploration Geophysics - SEG)

А.В. Лебедев

Международная комиссия по цунами (Tsunami Society)

Е. Н. Пелиновский

Европейское астрономическое общество (EAS)

В. М. Губченко, И. И. Зинченко, В. В. Зайцев, В. В. Железняков, А. Г. Кисляков,
Вл. В. Кочаровский, В. Е. Шапошников, С. А. Корягин

Европейское сообщество солнечных радиоастрономов (CESRA)

В. В. Зайцев, Е. Я. Злотник, В. В. Железняков

Европейское физическое общество (EPS)

Вл. В. Кочаровский

Европейский геофизический союз (EGU)

П. А. Беспалов, О. Д. Шишкина, Мухин Д.Н., Куликов М.Ю., Фейгин А.М., О. А.
Дружинин, А.А. Швецов

Комиссия по исследованию космоса (COSPAR)

П. А. Беспалов, А. Г. Демехов, В. М. Губченко, В.Ю. Караев, Ю. Титченко, М.
Панфилова

Европейская акустическая ассоциация (ЕАА)

В.Ю. Зайцев

Европейская академия

Ю. И. Троицкая

European Network for Novel Acceleration

И.Ю. Костюков – член Совета

Electron Device Society

М. И. Петелин

**Программный комитет по рентгеновскому спутнику «Интеграл»
Европейского космического агентства**

В. В. Железняков, Вл. В. Кочаровский

**Российский программный комитет по рентгеновскому спутнику «Спектр-
рентген-гамма»**

Вл. В. Кочаровский

Российское астрономическое общество

И. И. Зинченко, В. В. Зайцев, Е. Я. Злотник, А. Г. Кисляков

Российское акустическое общество

А. Г. Лучинин – член правления, И. Н. Диденкулов – член правления, А. В. Лебедев, А. Л. Вировлянский, Л. Я. Любавин, В. В. Казаков, Е. М. Тиманин, А. И. Хилько, В. Ю. Зайцев, А.Д. Мансфельд

Российское общество нейроинформатики

В. Г. Яхно – член правления

**Научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи
им. А. С. Попова**

В. И. Родченков

Оптическое общество им. Д. С. Рождественского

, А. Г. Лучинин

Национальная ассоциация по фотодинамической терапии и диагностике

Н. М. Шахова – член правления

Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований

В. Г. Яхно – член правления, С. Б. Парин, С. А. Полевая, И. В. Нуйдель, В.А. Антонец

Российская ассоциация экспериментальной психологии

В.А. Антонец – член ассоциации

Американское акустическое общество (ASA)

А. В. Лебедев, А. Л. Вировлянский, А. И. Хилько

Американское физическое общество (APS)

М. С. Гитлин, В. В. Кочаровский, Вл. В. Кочаровский, А. Г. Литвак

Американский геофизический союз (AGU)

П. А. Беспалов, С. С. Давыденко, А.Г. Демехов, Д. Н. Мухин, Е. М. Лоскутов, Фейгин А.М.

Американское оптическое общество (OSA)

О. Л. Антипов, Н. М. Битюрин, А. Н. Вадимова, Е. И. Гачева, А. В. Ким, И. И. Кузнецов, О. В. Кулагин, Вл. В. Кочаровский, М. Ю. Рябикин, А. Н. Степанов, Е. А. Хазанов, П. А. Хандохин, А. В. Старобор Е. А. Перевезенцев.

Американское астрономическое общество (AAS)

Вл. В. Кочаровский

Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE)

В. Ф. Вдовин, М. С. Гитлин, А. Г. Литвак, М. И. Петелин, А. В. Стриковский, Е. А. Хазанов, В.Ю. Караев

American Ceramic Society

К. И. Рыбаков

American Chemical Society (ACS)

Н. М. Битюрин

American Institute of Aeronautic and Astronautics (AIAA)

В. М. Губченко

Creogenic Society of America

В. Ф. Вдовин

Asia-Oceania-Geophysical Society (AOGS)

В. М. Губченко

Университетский колледж Лондона

Н.Ф. Зобов – почетный исследователь

Институт квантовой науки и технологии Техасского АМ университета

Е.В. Радионычев – почетный исследователь

Эксперты Европейской комиссии “Europlanet”

В. В. Зайцев, В. Е. Шапошников

Экспертный совет по премии им. А. А. Белопольского

В. В. Железняков

Совет по грантам Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых наук и ведущих научных школ

Сергеев А.М. - эксперт

Совет по грантам Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих

ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах Российской Федерации

Кочаровский Вл. В. – член совета

Министерство образования и науки РФ

Е. Н. Пелиновский - эксперт

Редколлегия журнала “Infrared, Millimeter and Terahertz Waves”

А. Г. Литвак

Редколлегия журнала “Terahertz Science and Technology”

В. Л. Братман

Редколлегия журнала “The International Journal of Modern Physics D”

Вл. В. Кочаровский

Редколлегия журнала “The Open Plasma Physics Journal”

В. Б. Гильденбург, А. В. Савилов

Редколлегия журнала “Open Oceanography Journal”

Е. Н. Пелиновский – Chief Editor

Journal of Ocean Engineering and Marine Energy

Е. Н. Пелиновский – Associative Editor

Редколлегия журнала “Photonics & Lasers in Medicine”

Н. М. Шахова

Международный редакционный совет журнала “The International Journal of Bifurcation and Chaos”

В. И. Некоркин

Advances in Nano Research

В.А. Кукушкин

Редколлегия журнала «Известия РАН. Серия физическая»

А. В. Гапонов-Грехов – главный редактор

Редколлегия журнала «Физика плазмы»

А. В. Гапонов-Грехов

Редколлегия журнала «Акустический журнал»

А. В. Гапонов-Грехов, А. Г. Лучинин

Редколлегия журнала «Известия ВУЗов Радиопизика»

В. В. Железняков – главный редактор, С. С. Давыденко – ответственный секретарь,
А. В. Гапонов-Грехов, В. И. Таланов, В. Л. Братман, С. Н. Власов, В. А. Зверев

Редколлегия журнала «Геомагнетизм и аэрономия»

А. Г. Демехов

Редколлегия журнала «Известия АН Физика атмосферы и океана»

Ю. И. Троицкая

Редколлегия журнала «Известия ВУЗов Прикладная нелинейная динамика»

В. И. Некоркин, В. Г. Яхно

Редколлегия Письма в Астрономический журнал

Вл. В. Кочаровский

Редколлегия журнала «Фотодинамическая терапия и фотодиагностика»

Н. М. Шахова – член редколлегии

Редколлегия журнала «Фундаментальная и прикладная гидрофизика»

Е. Н. Пелиновакий, А. Г. Лучинин, Ю.И. Троицкая

Научный консультант Большой российской энциклопедии

В. И. Некоркин (раздел «Физика и астрономия»)

Советы по защите докторских и кандидатских диссертаций при Институте прикладной физики РАН

А. В. Гапонов-Грехов, В. В. Железняков, В. А. Зверев, А. Г. Литвак, Ю. В. Чугунов, А. А. Абрашкин, Р.А. Ахмеджанов, П. А. Беспалов, Н. М. Битюрин, В. Л. Братман, А. Л. Вировлянский, А. Л. Вихарев, С. Н. Власов, В.М. Геликонов, В.Б. Гильденбург, Н. С. Гинзбург, С. В. Голубев, А.Г. Демехов, Г. Г. Денисов, Н. Ф. Ковалев, Вл. В. Кочаровский, И.Ю. Костюков, А. Г. Лучинин, А. И. Малеханов, Е. А. Мареев, В. Е. Назаров, В. И. Некоркин, Е. Н. Пелиновский, В. П. Реутов, А. Г. Сазонтов, В. Е. Семенов, А. М. Сергеев, Н.С. Степанов, А.И. Смирнов, Е. В. В. И. Таланов, М.Д. Токман, Ю. И. Троицкая, А. М. Фейгин, Г. М. Фрайман, Е. А. Хазанов

Совет по защите докторских и кандидатских диссертаций при Институте физики микроструктур РАН

В. Л. Братман, Вл. В. Кочаровский, В. Е. Семенов, С.В. Голубев

Совет по защите при Нижегородском техническом университете

Ю. В. Чугунов

Совет по защите при Нижегородском государственном университете

Ю. В. Чугунов

Совет по защите докторских и кандидатских диссертаций при Научно-исследовательском радиофизическом институте

В. В. Зайцев, С. В. Голубев, И. И. Зинченко, А. Г. Демехов

Временный совет по защите диссертаций университета Париж-7 и университета Бургундии (Франция)

В. И. Некоркин

РФФИ

Е. А. Мареев – зам.председателя регионального экспертного совета РФФИ по Нижегородской области, И. А. Сергиевская-ученый секретарь регионального экспертного совета РФФИ по Нижегородской области

Совет регионального отделения Общероссийской общественной организации «Российская ассоциация содействия науке»

Вл. В. Кочаровский – председатель

Научно-попечительский совет Нижегородского планетария

Вл. В. Кочаровский – председатель, Е. Я. Злотник

Группа по работе общества «Знание» при Нижегородском научном центре РАН

Вл.В.Кочаровский – руководитель, А. В. Лапинов – председатель, Д.С. Железнов – член оргкомитета

Оргкомитет открытой городской олимпиады по астрономии, астрофизике и физике космоса

Вл.В.Кочаровский - председатель

**8. Интеллектуальная собственность института
(отчет об изобретательской и патентно-лицензионной работе)**

Поданы следующие заявки на выдачу патента на изобретение:

1. Заявка №2014107793 от 03.03.2014 на изобретение «Способ наноструктурирования поверхности диэлектрической подложки с помощью ближнепольной литографии» авторов Битюрин Н.М., Афанасьева А.В., Пикулина А.В.

2. Заявка №2014113210 от 07.04.2014 на изобретение «Способ поиска и восстановления информации о событии по известному временному периоду и имеющимся базам данных» автора Шишкиной О.Д.

3. Заявка №2014122742 от 03.06.2014 на изобретение «Способ определения тепловой проводимости контактов твердых тел» авторов Кузнецова И.И., Мухина И.Б., Палашова О.В.

4. Заявка №2014122743 от 03.06.2014 на изобретение «Способ измерения характеристик волнения водной поверхности» авторов Караева В.Ю., Мешкова Е.М., Титченко Ю.А.

5. Заявка №2014134017 от 19.08.2014 на изобретение «Способ соединения деталей оптического элемента из кристаллов гранатов» авторов Мухина И.Б., Палашова О.В., Перевезенцева Е.А.

6. Заявка №2014129235 от 15.07.2014 на изобретение «Фазоконтрастное устройство получения инвертированного по яркости изображения непрозрачных объектов» авторов Бубиса Е.Л., Ложкарева В.В.

7. Заявка №2014139995 от 09.10.2014 на изобретение «Изолятор Фарадея для лазерных пучков с квадратным поперечным профилем распределения интенсивности» авторов Балабанова С.С., Войтовича А.В., Миронова Е.А., Палашова О.В., Старобора А.В.

8. Заявка №2014146356 от 18.11.2014 на изобретение «Электронный СВЧ прибор» авторов Фикса А.Ш., Запевалова В.Е.

9. Заявка №2014150241 от 12.12.2014 на изобретение «Лазерный волоконный скальпель с термооптическим наконечником и способ его изготовления» авторов Битюрин Н.М., Бредихина В.И., Каменского В.А.

10. Заявка №2014150472 от 15.12.2014 на изобретение «Плазменный СВЧ реактор для газофазного осаждения алмазных пленок в потоке газа» авторов Вихарева А.Л., Горбачева А.М., Лобаева М.А., Батлера Д.Е.

11. Заявка №2014152493 от 25.12.2014 на изобретение «Полевой транзистор на осаждённой из газовой фазы алмазной плёнке с дельта-допированным проводящим каналом» автора Кукушкина В.А.

Поданы следующие заявки на регистрацию программ ЭВМ:

1. «Акустическая суперэлементная технология расчетов (АСТРА)». Авт. Соков Е.М., Суворов А.С., Салин М.Б.

2. «Программа для расчета пространственно-временной моды по многомерному временному ряду». Авт. Гаврилов А.С., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Беликович М.В., Караштин Д.А.

3. «Программа расчета спектра электронных пучков, полученных в результате лазерного ускорения в поле кильватерной плазменной волны по данным с двухэкранного одноимпульсного спектрометра». Авт. Соловьев А.А., Стародубцев М.В.

Получены свидетельства о регистрации программ ЭВМ:

1. Свидетельство № 2014617046. «Акустическая суперэлементная технология расчетов (АСТРА)». Авт. Соков Е.М., Суворов А.С., Салин М.Б.

Получены следующие патенты РФ:

1. Патент № 2523447 на изобретение «Электронная пушка магнетронного типа для формирования винтовых электронных пучков с ловушкой отраженных электронов» авторов Петелина М.И., Глявин М.Ю., Гольденберг А.Л., зарег. 26.05.2014 (по заявке №2012125738 от 21.06.2012)

2. Патент № 2523445 на изобретение «Способ получения направленного экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения для проекционной литографии высокого разрешения и источник направленного ЭУФ излучения для его реализации» авторов Водопьянова А.В., Голубева С.В., Литвака А.Г., Мансфельда Д.А., Окса Е.М., Салашенко Н.Н., Чхало Н.И., Юшкова Г.Ю., зарег. 26.05.2014 (по заявке №2012131070 от 19.07.2012)

3. Патент № 2506566 на изобретение «Способ определения параметра оптической анизотропии ξ материала кубического монокристалла, относящегося к классу симметрии $m\bar{3}m$, $\bar{4}3m$ или 432 » авторов Снеткова И.Л., Вяткина А.Г., Палашова О.В., Хазанова Е.А., зарег. 10.02.2014 (по заявке №2012135658 от 20.08.2012)

4. Патент № 2515203 на изобретение «Устройство получения томографических флуоресцентных изображений» авторов Клешина М.С., Турчина И.В., Фикса И.И., Кириллина М.Ю., зарег. 12.03.2014 (по заявке №2012143507 от 12.10.2012)

5. Патент № 2527257 на изобретение «Компенсатор термонаведенной поляризации γ_0 в поглощающем оптическом элементе лазера» авторов Снеткова И.Л., Палашова О.В., зарег. 08.07.2014 (по заявке №20131059687 от 12.02.2013)

6. Патент № 137459 на полезную модель «Оптоакустический микроскоп для функционального биоимиджинга» авторов Субочева П.В., Постникова А.С., Морозова А.Н., Орлова А.Г., Каменского В.А., Турчина И.В., зарег. 20.02.2014 (по заявке №2013139983 от 29.08.2013)

Получены положительные решения по следующим заявкам:

1. Заявка №2012125738 от 21.06.2012 на изобретение «Электронная пушка магнетронного типа для формирования винтовых электронных пучков с ловушкой отраженных электронов» авторов Петелина М.И., Глявин М.Ю., Гольденберг А.Л.

2. Заявка №2012131070 от 19.07.2012 на изобретение «Способ получения направленного экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения для проекционной литографии высокого разрешения и источник направленного ЭУФ излучения для его реализации» авторов Водопьянова А.В., Голубева С.В., Литвака А.Г., Мансфельда Д.А., Окса Е.М., Салащенко Н.Н., Чхало Н.И., Юшкова Г.Ю.

3. Заявка №2013115888 от 10.04.2013 на изобретение «Способ определения состояния кубита» авторов Ахмеджанова Р.А., Зеленского И.В., Бондарцева А.А., Гущина Л.А., Литвака А.Г., Собгайды Д.А.

4. Заявка №2013138333 от 16.08.2013 на изобретение «Способ обучения биологической нейронной сети культуры, выращенной на мультиэлектродной матрице» авторов Пимашкина А.С., Гладкова А.А., Кастальского И.А., Мухина И.В., Казанцева В.Б.

5. Заявка №2013146419 от 18.10.2013 на изобретение «Фотолитографический интерференционный способ создания наноразмерных двумерно-периодических структур на светочувствительном материале произвольной площади» автора Верёвкина Ю.К.

6. Заявка №2013105968 от 12.02.2013 на изобретение «Компенсатор термонаведенной деполяризации γ_0 в поглощающем оптическом элементе лазера» авторов Снеткова И.Л., Палашова О.В.

Находятся на стадии экспертизы по существу следующие заявки:

1. Заявка № 2013146420 от 18.10.2013 на изобретение «Импульсно-периодический лазер на неодимовом стекле для накачки мощных титан-сапфировых усилителей, работающий с частотой повторения импульсов не менее 0.02 Гц» авторов Кузьмина А.А., Хазанова Е.А., Шайкина А.А.

2. Заявка № 2013153667 от 03.12.2013 на изобретение «Способ получения оптически прозрачных монокристаллов граната» авторов Иванова И.А., Бульканова А.М., Палашова О.В., Железнова Д.С.

3. Заявка № 2013155764 от 17.12.2013 на изобретение «Изолятор Фарадея для лазеров большой мощности» авторов Иванова И.А., Бульканова А.М., Палашова О.В., Железнова Д.С.

4. Заявка № 2013155766 от 17.12.2013 на изобретение «Способ определения теплопроводности твердых тел» авторов Кузнецова И.И., Мухина И.Б., Силина Д.Е., Палашова О.В.

В стадии экспертизы по существу в Патентных Ведомствах выбранных стран находятся следующие заявки на патенты:

1. Третья выделенная заявка № 12/220340 от 05.03.2012 на выдачу патента на изобретение «Способ высокоскоростного осаждения алмазных пленок из газовой фазы в плазме СВЧ разряда» авторов А.Л. Вихарева и др. в США.

Интеллектуальная собственность Института прикладной физики РАН в 2014 году

1-е направление

Патенты на изобретение

1. Патент РФ № 2215061 на изобретение «Высокоскоростной способ осаждения алмазных плёнок из газовой фазы в плазме СВЧ разряда и плазменный реактор для его реализации» авторов Вихарева А.Л., Горбачева А.М., Литвака А.Г., Быкова Ю.В., Денисова Г.Г., Иванова О.А., Колданова В.А. (з. № 2002125807/02 от 30.09.2002).

2. Патент №2416677 на изобретение «Плазменный реактор для высокоскоростного осаждения алмазных плёнок из газовой фазы» авторов Вихарева А.Л., Горбачева А.М., Денисова Г.Г., Соболева Д.И. (з. № 2009136650 от 06.10.2009).

3. Патент №2461922 на изобретение «Переключаемый электронным пучком коммутатор для активного компрессора СВЧ импульсов» авторов Вихарева А.Л., Исаева В.А., Лобаева М.А., Иванова О.А. (з. №2011101787 от 20.01.2011).

4. Патент № 2471886 на изобретение «Способ обработки подложек для выращивания на них нанокристаллических пленок» авторов Вихарева А.Л., Чернова В.В., зарег. 10.01.2013 (по заявке №2011129875 от 20.07.2011)

5. Патент № 2480858 на изобретение «Сильноточный источник многозарядных ионов на основе плазмы ЭЦР разряда» авторов Голубева С.В., Зорина В.Г., Водопьянова А.В., Колданова В.А.. зарег. 27.04.2013 (по заявке №2011130435 от 22.07.2011)

6. Патент № 2478243 на изобретение «Частотноперестраиваемый источник когерентного излучения дальнего инфракрасного и терагерцового диапазона на полупроводниковой наногетероструктуре» автора Кукушкина В.А., зарег. 27.03.2013 (по заявке №2011146035 от 11.11.2011)

7. Патент № 2489532 на изобретение «Способ получения пластины комбинированного поли- и монокристаллического алмаза» авторов Вихарева А.Л., Горбачёва А.М., Духновского М.П., Мучникова А.Б., Ратникова А.К., Федорова Ю.Ю. (по заявке №2012110968 от 23.03.2012)

8. Патент № 2483130 на изобретение «Способ получения изотопно-обогащенного германия» авторов Сенникова П.Г., Голубева С.В., Шашкина В.И., Колданова В.А., Пряхина Д.А., Корнева Р.А., Мочалова Л.А., Зырянова С.А., Филимонова С.В., Рогожина Д.В.(по заявке №2011147539 от 24.11.2011)

9. Патент № 2523447 на изобретение «Электронная пушка магнетронного типа для формирования винтовых электронных пучков с ловушкой отраженных электронов» авторов Петелина М.И., Глявин М.Ю., Гольденберг А.Л., зарег. 26.05.2014 (по заявке №2012125738 от 21.06.2012)

10. Патент № 2523445 на изобретение «Способ получения направленного экстремального ультрафиолетового (ЭУФ) излучения для проекционной литографии высокого разрешения и источник направленного ЭУФ излучения для его реализации» авторов Водопьянова А.В., Голубева С.В., Литвака А.Г., Мансфельда Д.А., Окса Е.М., Салашенко Н.Н., Чхало Н.И., Юшкова Г.Ю., зарег. 26.05.2014 (по заявке №2012131070 от 19.07.2012)

Программы ЭВМ

1. Свидетельство о регистрации программы ЭВМ № 2011612014. «Программа моделирования динамики ультракоротких оптических импульсов в нелинейных волноводах (NLFiber)». Авт. Андрианов А.В.

2. Свидетельство № 2012615446. «Программный интерфейс расчета метеорологических характеристик и эмиссий газовых и аэрозольных примесей при природных пожарах для химическо-транспортной модели (PREP_FIRES)». Авт. Коновалов И.Б.

know-how

1. Свидетельство №201312006 «Плазменный реактор для газофазного осаждения алмазных пленок в ламинарном потоке газа» авторов Лобаева М.А., Горбачева А.М., Вихарева А.Л., Батлера Д.Э., приоритет know-how 09.12.2013 г., зарегистрирован в реестре ИПФ РАН 12.12.2013г.

2-е направление

Патенты на изобретение

1. Патент РФ № 2400705 на изобретение «Устройство оптической спектральной обработки изображения шероховатой поверхности» авторов Зуйковой Э.М., Титова В.И., Троицкой Ю.И. (з. №2009103024 от 30.01.2009).

2. Патент №2436040 на изобретение «Способ определения кинематических характеристик поверхностных волн по пространственно-временным изображениям водной поверхности» авторов Зуйковой Э.М., Титова В.И., Троицкой Ю.И. (з. №2009140801 от 03.11.2009).

3. Патент №2449312 на изобретение «Панорамный радиолокационный способ определения параметров состояния приповерхностного слоя океана со спутника» авторов Караева В.Ю., Коваленко А.И. (з. №2010153821 от 27.12.2010).

4. Патент №2466425 на изобретение «Способ измерения характеристик взволнованной водной поверхности» автора Караева В.Ю. (з. №2011122364 от 01.06.2011).

5. Патент № 2488941 на изобретение «Электрически управляемый модулятор-калибратор миллиметрового диапазона длин волн» Федосеева Л.И., Божкова В.Г., Генеберга В.А., Петрова И.В. (по заявке №2012116861 от 27.04.2012)

6. Патент № 2501037 на изобретение «Радиолокационный способ определения параметров крупномасштабного волнения водной поверхности» автора Караева В.Ю., зарег. [10.12.2013](#) (по заявке №2012119318 от 11.05.2012)

на полезную модель

1. Патент №110494 на полезную модель «Измерительная система для исследования течений жидкости и газа» авторов Сергеева Д.А, Троицкой Ю.И. (з. №2009142289 от 18.11.2009).

3-е направление

Патенты на изобретение

1. Патент № 2100787 на изобретение «Оптоволоконный интерферометр и оптоволоконный пьезоэлектрический преобразователь» авторов Геликонова В.М., Геликонова Г.В., Гладковой Н.Д., Леонова В.И., Фельдштейна Ф.И., Сергеева А.М. (з. № 95102921/25 от 01.03.1995).

2. Патент № 2169525 на изобретение «Способ диагностики *in vivo* патологической зоны в слоистой системе биологического органа эпителий – подлежащая соединительная ткань» авторов Геликонова В.М., Геликонова Г.В., Гладковой Н.Д., Фельдштейна Ф.И., Сергеева А.М., Шахова А.В., Шаховой Н.М. и др. (з. №2000101087 от 20.01.2000).

3. Патент № 2353961 на изобретение «Фазоконтрастное устройство для визуализации прозрачных объектов» авторов Бубиса Е.Л., Каменского В.А., Матвеева А.З. (з. № 2007123861/28 от 25.06.2007).

4. Патент № 2368306 на изобретение «Устройство получения флуоресцентных томографических изображений» авторов Турчина И.В., Каменского В.А., Плеханова В.И., Орловой А.Г., Клешнина М.С. (з. № 2007144338 от 03.12.2007).

5. Патент №2415874 на изобретение «Способ получения твёрдого полимерного материала, чувствительного к УФ излучению» авторов Агаревой Н.А., Александрова А.П., Смирновой Л.А., Битюрин Н.М. (з. №2009136778 от 05.10.2009).

6. Патент №2441582 на изобретение «Устройство диффузионной флуоресцентной томографии» авторов Каменского В.А., Клешнина М.С., Турчина И.В., Фикса И.И. (з. №2010117525 от 30.04.2010).

7. Патент №2465698 на изобретение «Устройство для компенсации термонаведенной деполяризации в поглощающем оптическом элементе лазера» авторов Снеткова И.Л., Палашова О.В., Мухина И.Б., Хазанова Е.А. (з. №2011101548 от 17.01.2011).

8. Патент №2437617 на изобретение «Способ неинвазивного определения кислородного статуса тканей» авторов Голубятникова Г.Ю., Каменского В.А., Масленникова А.В., Орлова А.Г., Турчина И.В., Шаховой Н.М., Плеханова В.И. (з. №2010121464 от 27.05.2010).

9. Патент №2464634 на изобретение «Способ и система для биометрической идентификации личности по изображению кисти руки» автора Яхно В.Г. (з. №2008136468 от 11.09.2008).

10. Патент № 2484509 на изобретение «Поляризационная аподизирующая диафрагма» авторов Войтовича А.В., Потёмкина А.К., Миронова Е.А., Палашова О.В., Хазанова Е.А., зарег. 10.06.2013 (по заявке №2011146236 от 16.11.2011)

11. Патент № 2506566 на изобретение «Способ определения параметра оптической анизотропии ξ материала кубического монокристалла, относящегося к классу симметрии $m\bar{3}m$, $43m$ или 432 » авторов Снеткова И.Л., Вяткина А.Г., Палашова О.В., Хазанова Е.А., зарег. 10.02.2014 (по заявке №2012135658 от 20.08.2012)

12. Патент № 2515203 на изобретение «Устройство получения томографических флуоресцентных изображений» авторов Клешнина М.С., Турчина И.В., Фикса И.И., Кириллина М.Ю., зарег. 12.03.2014 (по заявке №2012143507 от 12.10.2012)

13. Патент № 2527257 на изобретение «Компенсатор термонаведенной поляризации γ_0 в поглощающем оптическом элементе лазера» авторов Снеткова И.Л., Палашова О.В., зарег. 08.07.2014 (по заявке №20131059687 от 12.02.2013)

на полезную модель

1. Патент № 91517 на полезную модель «Устройство диффузионной оптической томографии» авторов Каменского В.А., Турчина И.В., Клешнина М.С. и др. (з. №208144279 от 10.11.2008)

2. Патент №122498 на полезную модель «Фазовращатель Фарадея по традиционной схеме для лазеров с высокой средней мощностью» авторов Палашова О.В., Переверзенцева Е.А., Катина Е.В., Хазанова Е.А., зарег. 27.11.2012 (з. №2012106455 от 22.02.2012).

3. Патент № 137459 на полезную модель «Оптоакустический микроскоп для функционального биоимиджинга» авторов Субочева П.В., Постникова А.С., Морозова А.Н., Орлова А.Г., Каменского В.А., Турчина И.В., зарег. 20.02.2014 (по заявке №2013139983 от 29.08.2013).

4.

Программы ЭВМ

a. Свидетельство № 2012611188. «Программа моделирования биологических нейронных сетей (NeuroNet)». Авт. Лобов С.А.

b. Свидетельство № 2012611189. «Программа моделирования динамики роста виртуальных нейрональных сетей (VNS virtual network simulator)». Авт. Миронов В.И., Казанцев В.Б.

c. Свидетельство № 2012611190. «Программа анализа электрофизиологических сигналов нейронов, записанных на мультиэлектродных матрицах (Meaman)». Авт. Пимашкин А.С.

d. Свидетельство № 2012661043. «Программа моделирования ассоциативной памяти с автоматической селекцией путей распространения сигналов». Авт. Кастальский И.А., Симонов А.Ю., Пимашкин А.С., Казанцев В.Б.

e. Свидетельство № 2011611925 «Программа моделирования плазмы методом частиц в ячейках в одномерной геометрии (Prisma). Авт. Гоносков А.А.

f. Свидетельство № 2013619434. «Программа анализа передачи импульсных сигналов через пластичный синапс». Авт. Прокин. И.С., Кастальский И.А.

know-how

1. № 201101001, «Методика контроля параметров пьезопреобразователей при их изготовлении» авторов Мансфельда А.Д., Санина А.Г., Субочева П.В., приоритет know-how 17.01.2011 г., зарегистрирован в реестре ИПФ РАН 27.2011 г.

2. №201201002, «Способ создания компактного твердотельного лазера на длине волны 2066 нм с мощностью непрерывного излучения более 50 Вт» авторов Антипова О.Л., Зиновьева А.П., Новикова А.А., приоритет know-how 19.01.2012 г., зарегистрирован в реестре ИПФ РАН 25.01.2012 г.

3. №201311004 «Методика расчета, сборки и настройки волоконной лазерной системы, генерирующей мощные ультракороткие оптические импульсы» авторов Анашкиной Е.А., Андрианова А.В., Кима А.В., Муравьева С.В, приоритет know-how 11.11.2013, зарегистрирован в реестре ИПФ РАН 12.11.2013г.

4. №201311005 «Способ генерации мощного одномодового излучения на длине волны 2070 нм» авторов Антипова О.Л., Новикова А.А., приоритет know-how 11.11.2013, зарегистрирован в реестре ИПФ РАН 12.11.2013г.

Центр гидроакустики

Программы ЭВМ

1. Свидетельство № 2014617046. «Акустическая суперэлементная технология расчетов (АСТРА)». Авт. Соков Е.М., Суворов А.С., Салин М.Б.

Зарубежные патенты института

i. Патент № 838384 от 03.11.2008 (дата выдачи) на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and plasma reactor for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в Республике Корея (Южная Корея).

ii. Патент № 2005/02854 от 28.12.2005 (дата выдачи на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and a plasma reactor for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в Южно-Африканской Республике (ЮАР).

iii. Патент № ZL03824814.X от 08.05.2009 (дата выдачи) на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and device for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в Китае.

iv. Патент № US 7694651 от 13.04.2010 (дата выдачи) на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and device for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в США

v. Патент № HK 1085245 от 16.04.2010 (дата выдачи) в Гонконге на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and device for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др.

vi. Патент № 4694842 от 04.03.2011 (дата выдачи) на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and device for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в Японии.

vii. Патент №2501070 от 04.01.2012 г. (дата выдачи) на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and a plasma reactor for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в Канаде.

viii. Патент №8091506 от 10.01.2012 г. (дата выдачи) по второй выделенной заявке №12/660445 на изобретение High velocity method for depositing diamond films from a gaseous phase in SHF discharge plasma and a plasma reactor for carrying out said method авторов А.Л. Вихарева и др. в США.

В 2014 году проведены патентные исследования и оформлены Отчеты о патентных исследованиях :

I. По договору Договор № 41-106 от 08.08.2012 г. с ОАО «Корпорация «Комета»» в рамках СЧ НИР «Разработка методик расчета информационных признаков и получение исходных данных для обнаружения движущихся морских объектов в оптическом и радиолокационном диапазонах с использованием существующих и перспективных космических средств» (Руководитель работы канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. 233 В.В. Баханов) по объекту:

1. «Способ получения информационных признаков состояния морской поверхности и приводного слоя атмосферы».

II. По госконтракту № 45/220 от 30 мая 2012 г. с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в рамках выполнения СЧ ОКР ««Создание технологии изготовления нелинейных кристаллов, образца регенеративного усилителя СФОИ, систем зарядных устройств накопителя и ячеек Поккельса опытного образца модуля установки УФЛ-2М» (Руководитель СЧ ОКР, чл.-кор. РАН, зам. директора ИПФ РАН по научной работе А. М. Сергеев) по объектам:

2. «Способ скоростного выращивания нелинейных кристаллов, предназначенный для получения высококачественных монокристаллов группы дигидрофосфата калия (KDP/DKDP)»,

3. «Регенеративный предусилитель СФОИ»,

4. «Зарядное устройство емкостного накопителя энергии»,

5. «Ячейка Поккельса с плазменными электродами».

III. По соглашению о предоставлении субсидии № 14.604.21.0027 от 17 июня 2014 г. с Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно технического комплекса России на 2014–2020 годы» в рамках ПНИ «Разработка и создание устройства флуоресцентной визуализации для контроля накопления фотосенсибилизатора и мониторинга процесса фотодинамической терапии» (Руководитель ПНИ зав. отд. 360 к.ф.-м.н. И. В. Турчин) по объекту:

6. «Устройство для визуализации накопления фотосенсибилизатора в опухолевых клетках и мониторинга процесса облучения пациента при проведении фотодинамической терапии».

IV. По соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0055 от 26.08.2014 г. с Минобрнауки РФ в рамках ПНИ «Разработка методов и создание экспериментального образца комплекса многочастотной радиолокации для мониторинга океана и внутренних водоемов» (Руководитель ПНИ докт. физ.-мат. наук, зав. отд. 220 С.А. Ермаков) по объекту:

7. «Способ и устройство для мониторинга океана и внутренних водоемов посредством многочастотной/многополяризационной радиолокации в СВЧ-диапазоне».

V. По госконтракту № Н.4а.52.9Б.14.1025 от 10 февраля 2014 г. с Госкорпорацией «Росатом» в рамках НИОКР «Проведение исследований в обеспечение разработки гиротрона повышенной мощности (1,2–1,5 МВт) для ИТЭР» (Первый зам. руководителя НИОКР, д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. РАН Г.Г. Денисов) по объекту:

8. «Мощный гиротрон миллиметрового диапазона».

VI. По госконтракту № 06-14/01 от 03 февраля 2014 г. с Частным учреждением Госкорпорации «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» в рамках НИОКР «Разработка, изготовление и испытание штатного гиротрона, дополнительного оборудования системы нагрева и поддержания тока плазмы ИТЭР в 2014-2016 годах» (Первый зам. руководителя НИОКР, д-р физ.-мат. наук, чл.-кор. РАН Г.Г. Денисов) по объектам:

9. «Гиротрон высокой мощности»,

10. «Система формирования пучка»,

11. «Источник питания накала»,

12. «Арк-детектор пробы».

VII. По договору № 83-1150 от 12.09.2013 г. с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в рамках выполнения СЧ ОКР «СОЗДАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА САУ СКНЭЭ УСТАНОВКИ УФЛ-2М» (Руководитель работ зав. лаб. 502 И. С. Бабер) по объекту:

13. «Система автоматизированного управления системы накопления и коммутации электрической энергии (САУ СКНЭЭ)».

VIII. По госконтракту № 14.607.21.0107 от 28.11.2014 с Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения ПНИЭР «Разработка новых инструментальных средств дистанционного зондирования температуры нижней и средней атмосферы с поверхности Земли» (Научный руководитель ПНИЭР д-р физ.-мат. наук, зав. отд. 240 А. М. Фейгин) по объекту:

14. «Способ и устройство дистанционного мониторинга атмосферы с поверхности Земли»

9. Состав и возрастная структура научных работников

10.1. Бюджет – полная занятость

	Численность			Возраст						
	ВСЕГО	Из них:		до 29	от 30	от 35	от 40	от 50	от 60	старше 70
		муж.	жен.	вклч.)	до 34	до 39	до 49	до 59	до 69	
НАУЧНЫЕ РАБОТНИКИ, в том числе	304	264	40	16	47	28	47	72	65	29
академики	4	4								4
члены-корреспонденты	6	6					1	4	-	1
доктора наук	75	68	7			2	10	17	33	13
кандидаты наук	152	130	22	7	35	18	27	37	22	6
научные сотрудники без ученой степени	67	56	11	9	12	8	9	14	10	5

Средний возраст

Докторовт наук 62,2

Кандидатов наук 46,4

Без ученой степени 45,7

Научных работников 50,7

10.2. Бюджет – частичная занятость

	Численность			Возраст						
	ВСЕГО	Из них:		до 29	от 30	от 35	от 40	от 50	от 60	старше 70
		муж.	жен.	(вклч.)	до 34	до 39	до 49	до 59	до 69	
НАУЧНЫЕ РАБОТНИКИ, в том числе	146	126	20	71	27	7	6	9	19	7
академики										
члены-корреспонденты										
доктора наук	9	8	1					2	5	2
кандидаты наук	41	36	5	5	12	4	5	2	9	4
научные сотрудники без ученой степени	96	82	20	66	15	3	1	5	5	1

Средний возраст

Докторовт наук	66,4
Кандидатов наук	46,9
Без ученой степени	31,3
Научных работников	37,8

Списочная численность института 1213 человек.

Списочная численность всех работников (бюджет, полная занятость) – 766 человек.

Численность всех работников (внебюджет, полная занятость) – 129 человек, в том числе научных работников – 11 человек.

Списочная численность всех работников (бюджет, частичная занятость) – 293 человека.

Численность всех работников (внебюджет, частичная занятость) – 26 человек, в том числе научных работников – 3 человека.

10. Подготовка научных кадров

Подготовка кадров, сохранение талантливой молодежи по-прежнему продолжает оставаться одной из актуальных проблем развития фундаментальной науки. ИПФ РАН достаточно успешно решает эти вопросы. Благодаря постоянному вниманию к проблемам молодежи, в институте удалось, в основном, избежать разрыва поколений, сохранить существенную молодежную прослойку среди научных работников.

В Институте прикладной физики РАН реализуется уникальная многоуровневая система непрерывной (от лица до аспирантуры) подготовки научных кадров, основанная на предельно полной интеграции академической науки с высшим образованием. Постановлением Президиума РАН № 268 от 21 ноября 2000 г. для координации совместных исследований Института прикладной физики РАН и Нижегородского государственного университета (ННГУ) в актуальных областях прикладной физики и обеспечения высокого качества подготовки соответствующих специалистов в ИПФ РАН создан Научно-образовательный центр (НОЦ). В 2009 году приказом директора института Научно-образовательный центр преобразован в Научно-образовательный комплекс (НОК). НОК осуществляет научное, учебно-методическое и материально-техническое обеспечение деятельности следующих подразделений:

– **Классы НОК:**

– профильные (физические) классы физико-математического лицея № 40;

– **ВУЗ:**

– базовый факультет Нижегородского государственного университета (ННГУ) «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШ ОПФ);

– специализация «Фундаментальная радиофизика и физическая электроника» (ФРФЭ) и профиль «Фундаментальная радиофизика» (ФР)

– базовая образовательная лаборатория ВШ ОПФ

– межфакультетская базовая кафедра нейродинамики и нейробиологии

– филиалы кафедр радиофизического факультета ННГУ (филиал кафедры электроники; филиал кафедры электродинамики).

– **Аспирантура ИПФ РАН.**

НОК ИПФ РАН также проводит летнюю физико-математическую школу для учащихся 9–11 классов Нижегородского региона и активно поддерживает олимпиадное движение. Целью проводимых институтом олимпиад является поиск талантливой молодежи и привлечение ее в науку, а также активизация работы факультативов, спецкурсов, кружков и повышение уровня преподавания предметов естественнонаучного цикла в школах города.

Классы НОК. Институт прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН) плодотворно сотрудничает с муниципальным образовательным учреждением Лицей № 40 г Нижнего Новгорода. С 2001 г. осуществляется совместный проект Научно-образовательного центра ИПФ РАН и Лицея №40 «Школьная ступень системы непрерывной подготовки высококвалифицированных специалистов в области фундаментальной и прикладной физики». Построена уникальная многоуровневая система вовлечения школьников в академическую среду: Лицей № 40 - ВУЗ – аспирантура – научное учреждение.

Достижения учащихся физических классов в 2013-2014 учебном году

Всероссийские олимпиады	
Информатика	Победитель: Калинин Николай 11 ф
Физика	Призер: Калинин Николай 11ф
Экономика	Призер: Богданов Андрей 11ф
Экология	Победитель: Новиков Михаил 11 бф

Научные конференции учащихся				
Фомин Всеволод	Международный конкурс научных работ школьников Intel ISEF	2014	США, Лос-Анджелес	Диплом финалиста
Локтев Федор	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Диплом 1 степени по физике
Умнягин Григорий	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Специальный диплом по физике
Хазанов Григорий	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Специальный диплом по физике
Пашенко Ирина	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Специальный диплом по физике
Ревенко Елизавета	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Специальный диплом по биологии
Ревков Егор	Международная конференция «Харитоновские чтения»	2014	г. Саров	Диплом участника по биологии

Результаты ЕГЭ, медалисты (выпуск 2014 г.)

Наивысший результат ЕГЭ – 100 баллов:
 Захаров Александр – физика, информатика
 Тендитная Анна – русский язык
 Сорокин Арсений – физика
 Новиков Михаил - биология

Средний балл ЕГЭ:
 Русский язык - 82,4
 Математика - 82,2
 Физика – 84,4
 Информатика – 86,2

Золотые медалисты – 12 чел. составляют 50 % учащихся физических классов.

Поступление выпускников профильных классов НОЦ ИПФ РАН в ВУЗы Класс 11ФБФ 2014 г.

1. Богданов Андрей Дмитриевич МФТИ
2. Гежес Петр Александрович МФТИ

3.	Захаров Александр Сергеевич	МФТИ
4.	Калинин Николай Андреевич	ВШОПФ
5.	Котельникова Дарья Алексеевна	МФТИ
6.	Локтев Федор Максимович	ВШОПФ
7.	Пастухов Семен Сергеевич	Прага, университет
8.	Ревков Егор Андреевич	МФТИ
9.	Рябинин Иван Сергеевич	ВШОПФ
10.	Слиняков Юрий Германович	МГУ ФФ
11.	Сорокин Арсений Андреевич	ВШОПФ
12.	Тендитная Анна Игоревна	ВШОПФ
13.	Терешкина Дарья Дмитриевна	МВТУ
14.	Тягунов Владимир Андреевич	ВШОПФ
15.	Умнягин Григорий Михайлович	ВШОПФ
16.	Хазанов Григорий Ефимович	ВШОПФ
17.	Фомин Всеволод Евгеньевич	МВТУ
18.	Яснот Дмитрий Игоревич	ВШОПФ
19.	Купцова Алеся Алексеевна	ННГУ ВМК
20.	Максимова Екатерина Сергеевна	МФТИ
21.	Мысягина Елизавета Алексеевна	ННГУ ФФ
22.	Новиков Михаил Юрьевич	НГМА
23.	Ревенко Елизавета Витальевна	НГТУ ИРИТ
24.	Пащенко Ирина Андреевна	МГУ ФФ

Н.Новгород		Москва и далее	
ННГУ	- 11	МФТИ	- 6
НГМА	-	МГТУ	- 2
	1		
НГТУ	-	МГУ	- 2
	1		
		Ун-т Прага	- 1

ННГУ:	ВШОПФ	9
	ВМК	1
	ФФ	1

Ресурсный центр

Отчетный период является пятым годом работы городского ресурсного центра физико-математического образования (ГРЦФМО) на базе МОУ Лицей № 40, открытого 1 сентября 2009 г. на основании приказа департамента образования администрации города Нижнего Новгорода. Научный руководитель проекта - директор ИПФ РАН, академиком РАН, член Президиума РАН, д.ф.-м.н., профессор А.Г. Литвак.

Основные мероприятия в 2013-2014 учебном году:

1. Дни нижегородской науки:

2. Экскурсии в научные организации и институты.
3. Очно-заочная школа «Квант» с дистанционной формой обучения для учащихся 9-11 классов школ города.
4. Городские олимпиады по физике, астрофизике, информатике, математике.
5. Профильные физические классы.

1. Дни нижегородской науки

В текущем учебном году традиционная конференция ГРЦФМО «Дни науки для нижегородских школьников» включила следующие мероприятия:

1.1. Участие в III Всероссийской конференции «Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях 2013»

Дата	24 сентября – 26 сентября 2013 г.,
Место проведения	ИПФ РАН
Участники	Ученики 10-11 классов Лицея № 40
Количество участников	62 человека
Содержание	24 сентября Лекция д.ф-м. н. Н.Г. Макаренко из Пулковской обсерватории (ГАО РАН, С-Петербург) «Математическое описание сложных изображений».
	25 сентября Лекция Е.Е. Витяева «Логика работы мозга и причинность» Лекция С. А. Шумского «Моделирование процессов обучения языку»
	26 сентября Лекция Т.В. Черниговской «Проблема преодоления неоднозначности: нужны ли язык и тело роботу?» (К 60-й годовщине смерти Алана Тьюринга) Лекция З.А. Зорина «Новые подходы к изучению высших когнитивных способностей животных»

1.2. КОНФЕРЕНЦИЯ ДЛЯ НИЖЕГОРОДСКИХ ШКОЛЬНИКОВ
«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ»

Дата	18 МАРТА 2014 г.
Место проведения	ННГУ им. Н.И. Лобачевского
Участники	Школьники 9-11 классов – победители и участники регионального этапа всероссийской олимпиады по химии и биологии
Количество участников	56 чел.

Содержание	<p>1. Приветственные выступления:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Николаев И.Н. - заместитель начальника управления рекрутинга и приема студентов ННГУ кандидат биологических наук - Гушин А. В. – декан химического факультета ННГУ доктор химических наук профессор - Воденев В.А. - зав.кафедрой биофизики биологического факультета ННГУ доктор биологических наук <p>2. Лекционная часть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Балалаева И.В. – зав. лабораторией клеточных технологий и биофотоники кандидат биологических наук, лекция «Флуоресценция» - Казанцев В.Б. - заведующий базовой кафедрой нейродинамики и нейробиологии биологического факультета ННГУ в ИПФ РАН доктор физико-математических наук, лекция об основных направлениях нижегородской нейронауки. <p>3. Дискуссионная часть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Глявина М. и Кузьмина Д.- студентки 2 курса биофака рассказали об учебе, практике и перспективах научной работы. <p>4. Экскурсии в лаборатории Института живых систем.</p>
------------	---

1.3. Лекция доктора физико-математических наук, заведующего отделом физики и эволюции звезд Института астрономии Российской академии (г. Москва) Дмитрия Зигфридовича Вибе

Дата	24 апреля 2014 г.
Место проведения	Научно-образовательный центр ИПФ РАН
Участники	Ученики 10-11 классов лицеев №№ 40, 38, 87
Количество участников	52 ученика, 5 учителей
Содержание	<p>Старшеклассники с огромным интересом прослушали лекцию о благоприятных и неблагоприятных для человечества связях Земли с космосом, о реальных и вымышленных космических опасностях.</p> <p>По окончании лекции Дмитрий Зигфридович ответил на вопросы учеников.</p>

2. Городской образовательный лекторий для школьников города

Месяц	Лекция	Кол-во слушателей
Октябрь	Лекция к.ф.-м. доцента НГТУ им. Алексеева Б.В. Булюбаш «Исаак Ньютон: взгляд из XXI века»	75 человек,
Ноябрь	Лекция к.ф.-м. наук, заместителя руководителя Отделения гидрофизики и гидроакустики по научной работе ИПФ РАН Малеханова Александра Игоревича	68 человек
Декабрь	Лекция член-корреспондента РАН, сотрудника ИПФ РАН В.В. Кочаровского «Общие проблемы астрономии и космонавтики»	74 человека
Январь	В.К. Черкасова «Стабильные и свободные радикалы и их комплексы с металлами»	48 человек

ВСЕГО участвовало школьников	265 человек
------------------------------	-------------

Городские олимпиады

Городская олимпиада по информатике.

31 января 2014 г. состоялась десятая городская олимпиада школьников по информатике. В олимпиаде приняли участие школьники города с 7 по 11 класс. Все участники олимпиады соревновались на едином блоке задач без подразделения на параллели. Из 72 участников 22 человека были награждены дипломами и подарками от генерального спонсора олимпиады - компании «Мера НН».

Победители и призеры
X городской олимпиады школьников по информатике
31 января 2014 года

№	Фамилия, имя учащегося	Школа	Класс	Место	ФИО преподавателя, подготовившего ученика к олимпиаде	Район	
9 классы							
1.	Фадеева Екатерина Сергеевна	Лицей 40	7	Победитель	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	Прием у мэра
2	Горьков Алексей Дмитриевич	Лицей 40	9	призер	Братчикова Татьяна Анатольевна	Нижегородский	Награждение в районе
10 классы							
1	Белова Татьяна Сергеевна	МБОУ СОШ 187	10	Победитель	Тюнтяева Елена Михайловна	Советский	Прием у мэра
2	Кулагин Андрей Павлович	Лицей 165	10	призер	Тряпичникова Нина Евгеньевна	Автозаводский	Награждение в районе
3	Ольховский Илья Сергеевич	Лицей 40	10	призер	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	
4	Важдаев Александр Сергеевич	Лицей 180	10	призер	Сухова Маргарита Александровна	Ленинский	
11 классы							
1	Калинин Николай Андреевич	Лицей 40	11	Победитель	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	Прием у мэра
2	Захаров Александр Сергеевич	Лицей 40	11	призер	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	Награждение в районе
3	Яснов Дмитрий Игоревич	Лицей 40	11	призер	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	
4	Сорокин	Лицей	11	призер	Калинин Петр	Нижегородский	

	Арсений Андреевич	40			Андреевич		
5	Тягунов Владимир Андреевич	Лицей 40	11	призер	Калинин Петр Андреевич	Нижегородский	
6	Иванов Алексей Тимурович	Лицей 87	11	призер	Сурова Е.Л.	Московский (Город)	
7	Смирнов Артём Викторович	Лицей 36	11	призер	Перова Елена Александровна	Автозаводский	
8	Жарков Илья Николаевич	ЦОД	11	призер	Кузина Ольга Владимировна	ЦОД	Награждение в ЦОД

Городская олимпиада по физике.

9-13 февраля 2014 года в Научно-образовательном комплексе ИПФ РАН проводилась Городская олимпиада школьников по физике. Олимпиада проводится Институтом прикладной физики РАН и департаментом образования администрации г. Нижнего Новгорода. В олимпиаде приняли участие 150 учащихся 8-10 классов школ Нижнего Новгорода. Олимпиада традиционно проходила в два тура (теоретический и экспериментальный).

Во втором (экспериментальном) туре принимали участие школьники, набравшие наибольший балл в первом туре. Результаты второго тура представлены в таблице. Участники 2 тура получили научно-популярные книги по физике, а также билеты в музей занимательной науки «Кварки».

ФИО	Школа	Учитель	Сумма баллов	Место
8 класс				
Фролов Александр	40	Ковалев В.Ю.	56	1
Царьков Илья	87	Овсянникова А.А.	52	2
Бодягин Антон	87	Овсянникова А.А.	50	3
Новиков Андрей	82	Пешкова Е.А.	50	3
Кизаев Дмитрий	36	Дегтерева Н.К.	49	3
9 класс				
Горьков Алексей	40	Ковалев В.Ю.	48	1
Марисова Мария	40	Шилков Р.Н.	41	2
Синичкина Алина	40	Беликович А.В.	40	2
Гусев Максим	38	Тукова Н.Б.	35	3
10 класс				
Проскура Полина	40	Ковалев В.Ю.	52	1
Белова Татьяна	187	Саломадина Е.А.	49	2
Ольховский Илья	40	Уфимцева Т.М.	49	2
Кузнецов Арсений	82	Пешкова Е.А.	42	3
Кочаровская	40	Ковалев В.Ю.	38	3

Милита				
Верниковская Мария	40	Уфимцева Т.М.	37	3

5.3. Городская олимпиада по астрофизике.

Городская олимпиада по астрономии, астрофизике и физике космоса им. им. С.А.Каплана. Олимпиада проводилась 02 февраля 2014 г. Институтом прикладной физики РАН и департаментом образования администрации г. Нижнего Новгорода. В олимпиаде приняли участие 72 учащихся 8 - 11 классов школ города. (Протокол олимпиады в Приложении). Победители городских олимпиад и их учителя награждены дипломами и подарками на приеме в мэрии.

Летняя физико-математическая школа (ЛФМШ) для старшеклассников Нижнего Новгорода и области проводилась в 2014 году в 28-й раз. Данное специализированное научно-образовательное мероприятие нацелено на привлечение новых кадров в научный процесс, отбор и обучение одаренных школьников в области точных наук, ознакомление молодежи с современными проблемами физики и математики, расширение их кругозора, формирование у школьников представления о науке как о гибком мультидисциплинарном явлении, о сродстве различных областей наук, развитие способности излагать собственную информацию перед аудиторией, обучение решению нестандартных задач, основам постановки научных экспериментов и работе на персональных компьютерах. Подготовка и проведение учебной программы осуществляется руководством Научно-образовательного центра ИПФ РАН совместно с молодыми сотрудниками ИПФ РАН, составляющими исполнительный оргкомитет Школы.

Конкурсный отбор участников 28 сессии ЛФМШ проводился в апреле-мае 2014 года. По итогам двухэтапного отбора, проходившего в форме письменного тестирования с последующим собеседованием по физике и математике, конкурс в 2014 году составил около 2 человек на место, что соответствует показателю прошлого года. Собеседование традиционно проходило в форме дискуссионного ("абитуриент-куратор") решения задач повышенной сложности, соответствующих уровню олимпиад. Естественное уменьшение количества абитуриентов позволило кураторам – студентам, аспирантам и научным сотрудникам нижегородских НИИ и физических факультетов вузов – проводить собеседование более тщательно, что повышало достоверность оценки подготовленности абитуриента.

Смена ЛФМШ традиционно проводилась на базе летнего оздоровительного центра ИПФ РАН в виде трехнедельной августовской сессии. Обязательная программа ЛФМШ включала лекции, факультативы по математике и численным методам решения физических задач, постановку тематических экспериментальных работ и анализ их результатов, а также проведение научных семинаров. Лекционная программа Школы в 2014 году была ориентирована главным образом на ознакомление слушателей с достижениями современной экспериментальной физики в различных ее направлениях. Школьникам была продемонстрирована мультимасштабность передовых экспериментальных исследований – от явлений в космическом пространстве до событий земных; от основных принципов и этапов развития отраслей физики до альтернативных методов получения энергии. Упомянутые лекции были нацелены, в том числе, на демонстрацию успехов российской науки и сопоставление полученных результатов с мировым уровнем.

В 2014 году IT-компонента образовательной программы ЛФМШ была также представлена достаточным количеством кружков и факультативных курсов. На сессии ЛФМШ-2012 акцент был также сделан на углубление знаний школьников в области математики. В программу школы были включены факультативы и кружки по

междисциплинарным тематикам, которые в должной степени не рассматриваются ни в школе, ни в вузах

Работу Школы обеспечивают около 30 педагогов и лекторов из числа ведущих ученых нижегородских НИИ, преподавателей Нижегородского госуниверситета, заслуженных учителей школ Нижнего Новгорода и региона. Проведение занятий в кружках, лабораториях и курирование повседневной жизни слушателей возлагается на молодых сотрудников ИПФ РАН, а также на студентов профильных факультетов Нижегородского государственного университета и других вузов города. Данный проект успешно осуществляет связь научных поколений и формирование интереса к науке у молодежи, что в свою очередь является залогом усиления конкурентных позиций российской науки в мире.

ВУЗ. В 2014 году контингент факультета «Высшая школа общей и прикладной физики» (ВШ ОПФ) составляет 99 студентов, из них 32 обучается в магистратуре. В июне 2014 году ВШ ОПФ окончили 11 человек, из которых 9 поступили в аспирантуру ИПФ РАН.

Все дипломные работы студентов ВШОПФ были выполнены в лабораториях ИПФ РАН и ИФМ РАН по планам работ указанных институтов 2012-2014 гг., включающим работы по грантам Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых; проекты Российского научного фонда; работы по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ; проекты по государственным контактам, заключенным с победителями конкурсов в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»; мегагранты, гранты РФФИ и др.

Магистерские дипломные работы, представленные к защите выпускниками ВШ ОПФ, выполнены в области фундаментальных исследований. Часть представленных работ сочетали в себе как экспериментальные, так и теоретические исследования. При защите дипломов студенты проявили глубокие знания в области физики, полученные в ходе обучения, и отдельно по специальным дисциплинам, относящимся к их специализации при обучении в магистратуре и в исследовательских лабораториях. Более половины материалов, представленных к защите, уже опубликована в научных журналах и/или доложена на конференциях. Диссертантами продемонстрировано хорошее владение разнообразными методами теоретической и экспериментальной физики, вычислительной математики.

В ходе защиты дипломных работ на соискание степени бакалавра студенты продемонстрировали понимание поставленных перед ними задач и хорошее владение методами их решения. Работы выполнялись в актуальных направлениях физики. Несмотря на то, что по учебному плану ВШ ОПФ специализация студентов приходится, в основном, на период обучения в магистратуре, как показали слушания бакалаврских дипломных работ, студенты 3-4 курсов в процессе выполнения исследований в лабораториях академических институтов под руководством ведущих научных сотрудников получают начальные знания в объеме, достаточном для проведения полноценных исследований и самостоятельного осмысления их результатов. Свидетельством достаточно эффективной работы бакалавриата являются рекомендации ГАК о публикации результатов, представленных в 9 работах, в ведущих научных журналах. Следует отметить, что результаты работы одного из выпускников бакалавриата уже опубликованы в одном из престижных физических журналов: I.A. Lazarevich and V.B. Kazantsev. Dendritic signal transmission induced by intracellular charge inhomogeneities // *Physical Review E*, 88, 062718.

О высоком уровне подготовки на факультете ВШ ОПФ свидетельствуют результаты выступления студентов на олимпиадах различного уровня:

Всероссийская студенческая олимпиада по физике (май 2014 г., НИЯУ МИФИ, г. Москва):

Млодик Михаил, 2 курс – призер (3 место)

XIX Всеармейская олимпиада курсантов высших военно-учебных заведений Министерства обороны РФ по математике (апрель 2014 г.)

Шампоров Василий, 3 курс – победитель (первое место в личном и командном зачете)

Синцов Сергей (4 курс), Астрецов Григорий (3 курс), Мыльников Василий (3 курс) – первое место в командном зачете.

Всеармейская олимпиада по английскому языку (апрель 2014 г.)

Шампоров Василий, 3 курс – третье место в личном зачете.

27 студенческая олимпиада 2014 года вузов Волго-Вятского региона

Баландин Илья, 4 курс – диплом I степени по математике;

Млодик Михаил, 2 курс – диплом I степени по физике;

Свечникова Екатерина, 4 курс – диплом II степени по физике

40-ая областная студенческая олимпиада 2014 года

Млодик Михаил, 2 курс – диплом I степени по математике

Баландин Илья, 4 курс – диплом I степени по физике;

Астрецов Григорий, 3 курс – диплом II степени по физике;

Левин Дмитрий, 2 курс – диплом III степени по физике;

Разумов Дмитрий, 4 курс – диплом III степени по физике;

Кутлин Антон, 2 курс – диплом III степени по физике.

Специальность ФРФЭ. Обучение по специальности «Фундаментальная радиофизика и физическая электроника» (ФРФЭ) на радиофизическом факультете (РФ) ННГУ проходило с 2000 года и охватывало одну учебную группу на поток. Начиная с 2011 г. набор на эту специальность был прекращен, и взамен на РФ ННГУ был введен профиль подготовки под названием «Фундаментальная радиофизика» (ФР) в рамках обучения бакалавров физики. В сентябре 2014 г. к занятиям приступила очередная группа из 26 первокурсников, набранная по профилю ФР, а студенты ФРФЭ, поступившие в 2008 г., выпустились из магистратуры РФ ННГУ (10 чел.).

Число обучающихся по специальности ФРФЭ и профилю ФР на декабрь 2014 г. составляет: I курс, гр. 410 – 26 чел.; II курс, гр. 420 – 22 чел.; III курс, гр. 430 – 17 чел.; 4 курс, гр. 440 – 11 чел.; 5 курс, гр. 450 – 8 чел., I курс магистратуры, гр. 4М51 – 7 чел.; II курс магистратуры, гр. 4М61 – 8 чел.; всего 99 человек.

В течение 2014 г. для первокурсников направления ФР проводился курс лекций «Основы научного общения», знакомящий студентов с основными направлениями исследований, ведущихся в ИПФ РАН. В чтении лекций по курсу «Основы научного общения» участвовали 27 ведущих ученых ИПФ РАН, среди которых 13 докторов наук и 4 члена-корреспондента РАН.

В работе с группами второго и третьего курсов ФРФЭ важное место занимает учебно-научный эксперимент (УНЭ) – спецпрактикум, который для II курса проводится на базе II и III Отделений ИПФ РАН, а для III курса – в ИФМ РАН и I Отделении ИПФ РАН. В течение 2014 г. на II и III курсах проведено 6 отчетных семинаров по УНЭ. В руководстве УНЭ и проведении отчетных семинаров приняли участие 34 научных сотрудника ИПФ и ИФМ РАН.

Для студентов III и IV курсов ФРФЭ по-прежнему организовались занятия по углубленному изучению английского языка – в группах по 7-8 человек, 4 часа в неделю.

Студенты IV и V курсов ФРФЭ слушают специальные курсы, тематика которых отражает приоритетные научные направления ИПФ РАН. В чтении этих спецкурсов в 2014 г. участвовали 8 активно работающих ведущих ученых – сотрудников ИПФ РАН, из них 5 – доктора наук и 3 – члены-корреспонденты РАН.

Большая часть студентов ФРФЭ, поступивших в 2010 г., получила летом 2014 г. степень бакалавра и поступила с сентября 2014 г. в магистратуру РФФ ННГУ (гр. 4М51, 7 человек). 10 человек, поступившие в 2008 г. – восьмой выпуск специальности ФРФЭ – закончили магистратуру летом 2014 г.

Студенты II–IV курсов ФРФЭ, добившиеся хороших и отличных показателей академической успеваемости по итогам зимней сессии 2014 г., получали весной 2014 г. дополнительную стипендию в размере от 600 руб. (хорошистам) до 900 руб. (отличникам) в месяц за счет средств II и III отделений ИПФ РАН (весной дополнительная стипендия назначалась 6 студентам). В осеннем семестре по итогам летней сессии дополнительная стипендия от ИПФ РАН была назначена 12 студентам.

Студенты ФРФЭ четвертого, пятого и шестого годов обучения активно участвуют в научной работе ИПФ РАН, многие из них зачислены своими научными руководителями на работу по совместительству на должности лаборанта-исследователя и старшего лаборанта-исследователя (V и VI курсы). За успешную учебную и научную деятельность студенты ФРФЭ отмечались персональными стипендиями.

На XVIII научной конференции по радиофизике, проводившейся 12-16 мая 2014 г. учебно-научным центром «Фундаментальная радиофизика» на радиофизическом факультете ННГУ и посвященной дню радио, студенты-старшекурсники ФРФЭ были соавторами 10 научных докладов, тезисы которых опубликованы в сборнике трудов конференции.

Аспирантура. В 2014 году Институт провел первый прием на обучение по основной профессиональной образовательной программе высшего образования (ОПОП ВО) в рамках контрольных цифр приема на направление подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия.

В настоящее время численность аспирантов, обучающихся в аспирантуре Института с отрывом от производства, составляет 40 человек. Из них 24 аспиранта продолжают обучаться по основным образовательным программам послевузовского профессионального образования, а 16 аспирантов, принятые в 2014 году, обучаются по ОПОП ВО.

В 2014 году окончили аспирантуру **13** человек, 1 аспирант отчислен по собственному желанию с правом восстановления в аспирантуре.

Работа с будущими аспирантами начинается со второго–третьего курсов университета, так что к моменту поступления в аспирантуру практически все студенты занимаются научной работой под руководством научных сотрудников Института, имеют публикации. Основные кадры пополнения аспирантов – магистры факультета Высшая школа общей и прикладной физики и радиофизического факультета ННГУ. Абитуриенты, успешно сдавшие вступительные экзамены, зачисляются в аспирантуру приказом директора. После зачисления на заседаниях Ученых советов Отделений в течение трех месяцев с момента поступления утверждаются темы диссертационных исследований аспирантов, научная работа ведется под руководством их научных руководителей по индивидуальным планам. Контроль за выполнением индивидуальных планов проводят отдел аспирантуры и Ученые советы Отделений, где аспиранты ежегодно проходят аттестацию. Выпускник аспирантуры 2014 г. Масленников О.В. защитил диссертацию в 2014 г.

Учебная работа аспирантов организуется и контролируется отделом аспирантуры. В первый год обучения аспиранты сдают кандидатские экзамены по английскому языку и истории и философии науки, подготовка к которым организована непосредственно в ИПФ

РАН силами высококвалифицированных преподавателей ведущих ВУЗов Н.Новгорода. В весеннюю сессию 2014 года сдали экзамены по истории и философии науки 5 аспирантов и 9 сотрудников института, ранее обучавшихся в аспирантуре и сдававших в период обучения философию. Кандидатский экзамен по английскому языку сдали 4 аспиранта.

Кандидатский экзамен по специальности в 2014 г. сдали 13 аспирантов.

Аспиранты ИПФ РАН активно участвуют в различных **конкурсах**, проводимых на федеральном и местном уровнях. Одной из форм повышения творческой активности молодежи является приуроченный к Дню Российской науки традиционный **Конкурс работ молодых ученых ИПФ РАН**, в котором участвуют аспиранты, молодые научные сотрудники в возрасте до 33 лет. Он организуется отделом аспирантуры при участии Совета молодых ученых. XVI конкурс проходил с 17 по 20 февраля 2014 г., причем на конкурс допускались работы, получившие одобрение научного семинара. На XVI конкурс было представлено **15** работ. Он проходил в форме обсуждения научных сообщений участников членами компетентного жюри во главе с чл.-корр. РАН. А.М. Сергеевым. Результаты конкурса были заслушаны на заседании Ученого совета Института, где происходило их обсуждение и награждение победителей дипломами. Поощрительными премиями награждены аспирант 1-го года обучения Одинцова Т.А., аспиранты 2-го года обучения Кузнецов И.И. и Башмаков В. Ф. и аспирант 3-го года обучения Башинов А.В.

Аспиранты ИПФ РАН активно участвуют в выполнении научно-технических программ, грантов и контрактов, работе Научных школ, Научно-образовательных центров, организации и работе научных конференций, проводимых как в Российской Федерации, так и за рубежом. Многие побывали на всероссийских и зарубежных конференциях, где выступили с научными сообщениями.

В 2014 году поддерживались научные связи аспирантов с зарубежными научными учреждениями, проводилась активная работа по контрактам с иностранными коллегами, несколько человек направлялись в длительные служебные командировки за границу. Почти все аспиранты ведут педагогическую работу в Научно-образовательном центре ИПФ со школьниками и студентами, активно участвуют в организации и проведении летней физ-мат. школы в Зеленом городе.

Ведущие научные школы

«Взаимодействие интенсивного электромагнитного излучения с плазмой» (академик РАН А. Г. Литвак). Научная школа объединяет 49 исследователей, из которых 31 - в возрасте до 39 лет. В состав школы входят 14 докторов наук, 22 кандидат наук, 4 аспирантов. В течение 2013 г. участниками школы было защищено 6 кандидатских и 1 докторская диссертации. Семинар школы совмещён с семинаром отделов 120, 260 и 170. За 2012 г. проведено 13 семинаров.

«Взаимодействие электромагнитного излучения с астрофизической и геофизической плазмой» (академик РАН В.В. Железняков). Школа объединяет 23 основных исполнителей, из них 6 человек - до 39 лет. В состав школы входит 12 докторов наук, 7 кандидатов наук, 2 аспиранта. Семинар Школы проходит на базе семинара отдела астрофизики и физики космической плазмы (7 семинаров) и семинара ИПФ РАН по теоретической физике (2 семинара).

• **«Фемтосекундная оптика, нелинейная динамика оптических систем и высокочувствительные оптические измерения»** (член-корреспондент РАН А.М. Сергеев). В составе школы 42 человек, из них докторов – 7, кандидатов – 22, аспирантов – 7, моложе 35 лет – 25 человек. Защиты: 3 кандидатские диссертации.

«Новые мощные электронные источники миллиметрового и субмиллиметрового излучения, пространственно-развитые электродинамические системы и системы управления мощными волновыми потоками» (член-корреспондент Г.Д.Денисов). В составе школы 36 человек, из них докторов наук – 9 человек, кандидатов наук – 13 человек, аспирантов – 3 человек, до 39 лет – 21 человек. Защищены 2 докторские диссертации

Педагогическая работа сотрудников ИПФ РАН в ВУЗах Нижнего Новгорода

Нижегородский государственный университет (ННГУ)

ВШОПФ и Радиофизический факультет

академик Литвак А.Г., академик Железняков В.В., академик Таланов В.И., чл.-корр. РАН Сергеев А.М., чл. корр. Мареев Е.А., Фрайман Г.М. (зам. декана ВШ ОПФ), Агрба П.Д., Зайцев В.В., Петелин М.И., Смирнов А.И., Голубев С.В., Семенов В.Е., Фейгин А.М., Денисов Г.Г., Ковалев Н.Ф. Швецов А.А, Зинченко И. И., Троицкая Ю. И., Юнаковский А.Д., Чугунов Ю.В., Дорожкина Д.С. (зам. декана ВШ ОПФ), Миронов В.А., Давыденко С.С., Рыбаков К.И., Горбачев А.М., Демехов А.Г., Корягин С.А., Костин В. А., Деришев Е.В., Кочетов А.В, Глявин М.Ю., Шалашов А.Г., Турлапов А.В., Водопьянов А.В., Абубакиров Э.Б., Иудин Д.И., Гинзбург Н. С., Господчиков Е. Д., Введенский Н. В., Лобаев М.А., Стародубцев М.В., Стриковский А.В., Фадеев Д. А., Малеханов А.И., Зайцев В.Ю., Диденкулов И.Н., Шалфеев В.Д., Некоркин В.И., Казанцев В.Б., Реутов В.П., Дмитричев А. С., Захаров С. Б., Зиновьев А. П., Ким А.В., Корюкин И.В., Мартынова О. В., Мухина И. В., Бодров С.Б., Царев М.В., Кияшко С.В., Нудель И.В., Орлова А.Г., Палашов О. В., Полевая С.А., Тиманин Е. М., Щапин Д. С., Еремейкин О.Н., Хандохин П. А., Новиков А.А., Третьяков М.Ю., Кошелев М.А., Каменский В.А., Турчин И.В., Степанов А.Н., Рябикин М.Ю., Антонец В.А., Антипов О.Л., Хазанов Е.А., Матвеев А. З., Бубис Е. Л., Афанасьев А.В., Радионычев Е.В, Балалаева И. В., Коржиманов А. В., Яхно В. Г., Парин С. Б., Кутерин Ф.А., Заславский В. Ю., Абрашкин А. А., Назаров В. Е., Папко В.В., Сергеев Д, А., Дружинин О. А., Зенькович Д. А., Лебедев А. В. , Сазонтов А.Г., Хилько А.И., Ермаков С.А., Айдакина Н.А., Зудин И.Ю.

Биологический факультет

Казанцев В. Б., Яхно В. Г

Факультет социальных наук

Антонец В.А., Парин С.Б., Полевая С.А., Нудель И. В.

Химический факультет

Беляев С.Н.

Нижегородский государственный технический университет (НГТУ)

Пелиновский Е. Н., Соустова И. А., Родченков В. И., Ежова Е. В., Быстров А.М., Шлюгаев Ю.В., Слюняев А.В.

Нижегородский государственный педагогический университет (НГПУ)

Мареев Е. А., Абрашкин А. А., Евтушенко А.А.

Высшая школа экономики

Абрашкин А. А., Гинзбург А. Н., Пелиновский Е. Н., В.Е. Шапошников

Нижегородская государственная медицинская академия

Турчин И. В.

Московский физико-технический институт

Антонец В. А.

Диссертационные советы при ИПФ РАН

Д002.069.01 со специальностями:

01.04.06 – акустика,

25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

С 6 ноября 2012 года

Д002.069.02 со специальностями:

01.04.03 – радиофизика,

01.04.08 – физика плазмы,

01.04.21 – лазерная физика.

12. Организация конференция и школ

Институт является признанным лидером отечественной и мировой науки в области радиофизических исследований, организатором регулярно проводимых хорошо известных во всем мире конференций и школ: международных конференций «Прогресс в нелинейной физике» и «Взаимодействие сильного микроволнового излучения с плазмой», «Проблемы нелинейной динамики: теория и приложения», «Лазерная физика сверхсильных полей» и «Нелинейные параметрические явления в окружающей среде», ежегодного (начиная с 1989 года) российско-германского совещания по электронно-циклотронному нагреву и гиротронам, всероссийской школы по нелинейным волнам, ежегодной региональной конференции молодых ученых в области естественных и технических наук, а также ряда других традиционных научных мероприятий.

В 2014 году институтом были проведены следующие научные конференции и школы.

9th International Workshop «Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications» Нижний Новгород – Пермь – Нижний Новгород, 24 –30 июля 2014 г.

Число участников: 150 чел, иностранных – 40.

Председатель конференции: А.Г.Литвак. Члены программного комитета: Г.Г.Денисов, В.Е.Запечалов, А.Г. Шалашов, В.Л.Братман, М.Ю.Глявин, А.Л.Вихарев, С.В.Голубев, М.И.Петелин. Ученый секретарь конференции Е.Д. Господчиков, члены локального оргкомитета М.Н.Буянова, О.С.Моченева, А.С.Седов,

21 Международная конференция: 21-st International Workshop on ECR Ion

Sources (ECRIS-2014), 24-28 August, 2014, Nizhny Novgorod, Russia.

Общее число участников – 59, число зарубежных учёных – 42, число отечественных учёных (не сотрудников института) - 7

Конференции Lasers with High Peak and High Average Power (NWP-2) в рамках Международного симпозиума Topical Problems of Nonlinear Wave Physics (NWP-2014). Нижний Новгород – Саратов – Нижний Новгород, Россия. 17–23 июля 2014 г. (более 150 участников);

Конференции «Nonlinear Dynamics on Complex Networks» в рамках Международного симпозиума «Topical problems of Nonlinear Wave Physics - 2014» (Н. Новгород – Казань – Саратов - Самара- Чебоксары – Макарёво – Нижний Новгород, Россия, 17–23 июля 2014 г.).

В.И. Некоркин – председатель программного комитета, Д.Г. Захаров – ученый секретарь тематической, Чернов В.В. – председатель локального оргкомитета, В.И. Клиньшов, Д.В. Касаткин, О.В. Масленников, С.Ю. Кириллов (члены оргкомитета)–

5th International Student Geophysics Conference, Нижний Новгород, ИПФ РАН, 28.07 – 1.08.2014, 92 участника (76 отечеств. и 28 зарубежных).

П.И. Коротин и М.Б. Салин члены программного и оргкомитета, О.В. Шомина член оргкомитета.

Международная конференция “Nonlinear Phenomena in Geophysics NWP-3” в рамках международного симпозиума “Topical problems of nonlinear wave physics (NWP-2014)” 17 – 23 Июля 2014, Нижний Новгород. Общее число участников NWP3 – 43 человека, из них 13 зарубежных участников и 6 российских участников, не являющихся сотрудниками института.

Лоскутов Е.М. – ученый секретарь

**26-ой Российский-Германский семинар по ЭЦРН и гиротронам.
(26th Joint Russian-German Meeting on ECRH and Gyrotrons)**

ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия Июль 22- 24, 2014

Заседания семинара посетили около 80 участников, были представлены и обсуждены около 80 сообщений.

Летняя физико-математическая школа (ЛФМШ-26)

110 человек, 1-21 августа 2014, Н.Новгород

Открытая городская олимпиада по астрономии, астрофизике и физике космоса им. М. А. Миллера среди школьников 8–11 классов г. Нижнего Новгорода,

ИПФ РАН, Нижегородский планетарий, 02 февраля 2014 г., 72 школьника.

Председатель оргкомитета Вл. В. Кочаровский, зам. председателя оргкомитета А. О. Перминов, чл. оргкомитета А. И. Смирнов, председатель предметной комиссии С. А. Корягин, чл. предметной комиссии М. А. Гарасёв, А. А. Круглов, А. В. Лапинов.

Кроме того сотрудники института участвовали в организации следующих конференций, симпозиумов и рабочих совещаний.

Всероссийская радиоастрономическая конференция по аппаратуре, антеннам и методам, Пушино, 2014 – И.И.

Зинченко и В.Ф. Вдовин - члены программного комитета.

43-я Международная студенческая научная конференция “Физика Космоса”, Екатеринбург, УрФУ, 2014

И.И. Зинченко - член программного комитета.

9-ая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе»

Москва, ИКИ РАН, 10-14.02.2014, 210 участников, все российские

А.Г. Демехов - член Программного комитета

Всероссийская конференция «Солнечная и солнечно-земная физика-2014», 20-24 октября 2014 г., г. Санкт-Петербург.

В.В. Зайцев – сопредседатель программного комитета

4-ый Всероссийский симпозиум с международным участием «Полупроводниковые лазеры: физика и технология».

Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, 10– 13 ноября 2014 г.

Вл.В.Кочаровский – член программного комитета

VII-th International Conference "SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives" (SCT-14). Chernogolovka, Institute for Theoretical Physics named for L.D.Landau RAS, Aug. 4 – 8, 2014.

Вл.В.Кочаровский – член программного комитета

International Conference “Wave Interaction – 2014, Linz, Austria, 23-26 April 2014. Пелиновский Е.Н. – со-организатор.

EGU General Assembly, Vienna, Austria, 28 April-2 May 2014.

Пелиновский Е.Н. руководитель трех секций.

12 Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2014), Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014 г.

Долин Л.С. Член оргкомитета

. Участие в организации Международной студенческой конференции (Н. Новгород, 2014).

19-й Нижегородской сессии молодых ученых (естественные, математические науки).

Н. Новгород, Россия. 27–30 мая 2014 г. (около 150 участников).

Рябкин М.Ю. – член жюри секции «Физика»

Международной конференции Lasers Optics 2014. Санкт-Петербург, Россия. 30 июня – 4 июля 2014 г. (около 500 участников).

Сергеев А.М. – сопредседатель секции Super-Intense Light Fields and Ultra-Fast Processes

Symposium on Clinical Laser Applications в рамках Conferences on Laser Applications in Life Sciences (LALS), 29 июня - 2 июля 2014 года Ульм, Германия.

Н.М. Шахова – сопредседатель.

Конференция «Optical Coherence Tomography and Coherence Domain Optical Methods in Biomedicine» (Photonics West, BiOS), США

Н.М. Шахова - член программного комитета

Конференция «Medical Laser Applications and Laser-Tissue Interactions» (SPIE/OSA European Conferences on Biomedical Optics), Германия

Н.М. Шахова - член программного комитета

XI Всероссийская конференция по биомеханике «БИОМЕХАНИКА-2014», Пермь, 1 - 4 декабря 2014.

В.А. Антонец – член оргкомитета.

Международная конференция Biomedical Optics (BIOMED), 26 - 30 апреля 2014, Майами, США

И.В. Турчин – член программного комитета.

International conference “Mode Conversion, Coherent Structure and Turbulence, Москва, 24-27 Ноября 2014

Е. Н. Пелиновский – член программного комитета.

IUTAM Symposium GA14-02 Wind Wave. UK 2014

Е. Н. Пелиновский – член научного комитета.

13. О работе Ученого совета

В течение года было проведено 17 заседаний Ученого совета института. На заседаниях Ученого совета регулярно заслушиваются научные сообщения по актуальным проблемам. В частности, в 2014 году с докладами выступили:

06.02.	А.М.Фейгин	«Эмпирическая реконструкция сложных систем: общий подход и приложение к моделированию климата».
27.02.	К.А. <u>Мартьянов</u> , В.Б Махалов	«Переход между ферми- и бозе-статистикой в 2-мерной системе»
03.04.	<u>И.В.Изотов</u> , А.В.Сидоров	«Сильноточный источник протонов на основе плазмы ЭЦР разряда»
	А.А.Кузьмин	«Лазер на неодимовом стекле с ОВФ зеркалом, генерирующий импульсы энергией 220 Дж с частотой их повторения 0,02 Гц».
17.04.	А.В.Коржиманов	"Генерация и ускорение пучков ионов сверхмощным лазерным излучением: аналитическое и численное моделирование"
29.05.	В.Ю.Зайцев	«Расширение возможностей оптической когерентной томографии: проблемы получения эластографических изображений и визуализации микроциркуляции в биотканях методом ОКТ».
26.06.	М. Ю.Глявин	«Терагерцовые гиротроны: состояние и перспективы».
09.10	С. А. Ермаков	«Задачи радиолокационного зондирования морской поверхности».
05.11	Зверев В.А.	"Когерентный синтез апертуры по некогерентному источнику"
	Турчин В.И.	"Адаптивная обработка сигналов с антенных решеток"
	Вировлянский А.Л.	«Результаты экспериментов 2014 года на Ладожском полигоне».
	Малеханов А.И.	«К вопросу о работе приемных антенн в случайных

		средах»
	Антонец В.А.	"Искусственный сенсорный канал"
27.11	Руководитель мегагранта Ж. Фукс	"Лабораторное моделирование плазменных явлений в астрофизических объектах"
11.12	Вл.В.Кочаровский	"Самосогласованные токовые структуры в бесстолкновительной плазме"

Заседание 5 ноября 2014 года было посвящено юбилею члена-корреспондента РАН В.А.Зверева. Были заслушаны научные сообщения В.А.Зверева и его учеников и последователей.

Неоднократно в течение года Ученый совет обсуждал различные аспекты реформы Российской академии наук и взаимодействия с ФАНО, в частности, 11 декабря 2014 года на заседании Ученого совета была дана информация о заседании Совета по науке и образованию при Президенте РФ.

В течение 2014 года Ученый совет рассматривал заявки сотрудников института на участие в конкурсе на право получения Стипендии Президента РФ для молодых российских ученых и аспирантов наук, утверждались отчеты ведущих научных школ и отчеты по грантам государственной поддержки молодых кандидатов и докторов наук.

На своих заседаниях Ученый совет регулярно заслушивает отчеты о проведенных институтом научных мероприятиях. Так, 25 сентября 2014 года были заслушаны отчеты о проведенных конференциях:

- NWP-14 ;
- 9th International Workshop "Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications";
- ECRIS- 2014;
- 5-я Международная студенческая конференция по геонаукам.

На заседании 26 июня 2014 года Ученый совет провел выдвижение работ молодых ученых на медали РАН. В результате, работа В.Ю.Заславского «Использование двумерной распределенной обратной связи для генерации пространственно-когерентного излучения мощными релятивистскими электронными пучками» удостоена медали РАН с премией по итогам 2014 года.

На заседаниях Ученого совета обсуждались кандидатуры научных сотрудников института на награждение Почетными грамотами Президиума РАН и Совета профсоюзов работников РАН, происходило вручение грамот и дипломов.

В течение года на заседаниях Ученого совета неоднократно рассматривались вопросы изменения структуры института.

Поскольку на Ученый совет возложены функции конкурсной комиссии, в повестку дня заседаний Ученого совета регулярно включались вопросы объявления конкурсов на замещение вакантных должностей руководителей научных подразделений и научных сотрудников, а также избрание по конкурсу на эти должности.

В ноябре 2014 года были проведены три заседания, посвященные обсуждению важнейших научных результатов года. Ученый совет рассмотрел представленные научными отделениями института результаты и принял решение рекомендовать их для включения в годичный отчет РАН. В дальнейшем, были выделены 20 лучших результатов, полученных в институте в 2014 году, по которым было проведено рейтинговое голосование членами Ученого совета, по итогам этого голосования премированы коллективы сотрудников.

Традиционно Ученый совет большое внимание уделял вопросам молодежной политики в институте. В повестке дня работы Ученого совета в течение года были вопросы о выдвижении работ молодых ученых на соискание медалей РАН с премиями, о результатах XVI конкурса работ молодых научных сотрудников института (победители конкурса сделали научные сообщения на заседаниях Ученого совета 27 февраля и 3

апреля 2014 года), утверждение учебных планов аспирантуры, рекомендации аспирантов на соискание стипендий им. Г.А.Разуваева. На заседании 9 октября 2014 года был заслушан отчет о проведении ежегодной Летней физико-математической школы.

Кроме вышеназванных, на заседаниях Ученого совета рассматривались и другие актуальные вопросы жизни института и Академии наук: информация об Общих собраниях РАН, информацию о Нобелевских премиях 2014 года, утверждение планов работ института и плана научных мероприятий на 2015 год., финансовое состояние ИПФ РАН, изменения в законодательстве, касающиеся госзакупок, поддержка выдвижений научных работников к присвоению почетного звания «Заслуженный деятель науки РФ», представление сотрудников института к ученому званию профессора.

Ученый совет не остался в стороне от общественной жизни региона. 5 сентября была организована встреча ИО губернатора Нижегородской области В.П.Шанцева с ведущими научными сотрудниками институтов Нижегородского научного центра РАН.

14. О работе общеинститутского семинара по теоретической физике

В 2014 году состоялось 22 семинара, из которых 7 были проведены ведущими учёными (№№ 1-5, 16, 17) и 15 – аспирантами ИПФ и студентами-магистрами ВШОПФ:

1. 21 марта 2014 г. А. А. Гоносков «Перспективы фундаментальных исследований на сверхинтенсивных лазерных комплексах следующего поколения».
2. 4 апреля 2014 г. В.М.Накаряков «Проблемы солнечной и звёздной сейсмологии».
3. 22 мая 2014 г., С.Ю.Медведев “Атомные часы от компании «Время-Ч» для Земли и космоса”.
4. 29 мая 2014 г., К.Уеда (заслуженный профессор института Лазерной Науки и университета Электрокоммуникаций, Токио) «Новые лазерные технологии как результат научных исследований по обнаружению гравитационных волн».
5. 5 мая 2014 г. Вл.В.Кочаровский «Астрофизика и современные проблемы микро- и макрофизики».
6. 20.11.14, Д.Э.Батлер (ИПФ РАН) «Наука и технология выращивания искусственных алмазов: простота и сложность»;
7. 21.11.14, Ю.Курц (Институт исследования климатических воздействий, Потсдам; Университет Гумбольта, Берлин) «Сложные сети как эффективный инструмент исследования природных и социальных систем»;
8. 12 сентября 2014 г. По теме «Строение протона и проблемы стандартной модели» выступили Романов Александр – измерение магнитного и электрического форм-фактора, Серебряков Дмитрий – поляризация глюонов в протоне и формирование спина, Фокин Андрей – проблема радиуса протона, Яблоков Антон – экспериментальное измерение радиуса протона.
9. 19 сентября 2014 г. По теме «Нейтрино. Нейтринные осцилляции. Высокоэнергичные нейтрино» выступили Колесин Сергей – осцилляции реакторных нейтрино, Косицын Роман – детектирование PeV нейтрино на установке IceCube, Кронштадтов Павел – формирование гало в моделях теплой темной материи.
10. 26 сентября 2014 г. По теме «Темная материя» выступили Вилков Михаил – поиск частиц темной материи, Нечаев Антон – каспы и локальные сгустки темной материи, Волков Михаил – спектроскопия нейтронов в гравитационном поле, Колесин Сергей – двойной безнейтринный бета-распад.

11. 03 октября 2014 г. По теме «Квантовые и термодинамические парадоксы черных дыр. Эксперименты по наблюдению аналогов излучения Унру» выступили Свечникова Екатерина – термодинамика черных дыр, Мартынов Виталий – информационный парадокс чёрных дыр, Савельев Николай – эффект Унру.
12. 10 октября 2014 г. По теме «Связанные фотоны. Фотографирование запутанными фотонами» выступили Хусаинов Тимур – фотографирование запутанными фотонами, Низов Владимир – проверка квантовой механики с использованием фотонов.
13. 17 октября 2014 г. По теме «Алгоритмы и реализации квантового компьютера» выступили Рябкова Мария – коммерческие квантовые компьютеры, Вадимов Василий – сравнение квантового и классического алгоритмов отжига.
14. 24 октября 2014 г. По теме «Вибронная когерентность в макромолекулах и механизмы фотосинтеза» выступили Булатов Алексей – высокоэффективная передача энергии при фотосинтезе, Мартынов Виталий – вибронная когерентность макромолекул.
15. 31 октября 2014 г. по теме «Современные аккумуляторные батареи. Солнечные батареи» выступили Кузнецова Александра – механизм быстрой перезарядки LiFePO₂ аккумуляторов, Фадеев Михаил – солнечные батареи как LED, Синцов Сергей – малоразмерные структуры для эффективного поглощения квантов света, Разумов Дмитрий – батарейка из листа.
16. 7 ноября 2014 г. По теме «Экзотические фазовые переходы 2го рода: недавние эксперименты и качественная интерпретация» выступили Голованов Антон – фазовые переходы в спинорно-поляритонном конденсате, Оладышкин Иван – наблюдение одиночного вихря в капле гелия, Лейфер Ян – понижение порога лазерной генерации в сверхизлучающих средах, Емелина Анна - Рамановский лазер на алмазе.
17. 14 ноября 2014 г. По теме «Молнии: шаровая молния; инициация молний; молнии на Сатурне; гамма-каскады в молниях» выступили Дементьева Светлана – фаза инициации молнии, Перекатова Валерия – наблюдения шаровой молнии, Сысоев Артем – молнии на Сатурне, Федосеев Георгий – гамма-каскады в молниях.
18. 28 ноября 2014 г. По теме «Неустойчивости в различных физических системах» выступили Зуев Александр – каскадные неустойчивости в космической релятивистской плазме, Смирнов Антон – неустойчивость типа мягкой моды в сегнетоэлектрическом переходе, Селезнев Алексей – лазерное излучение поляритонов, Митин Николай – спонтанная поляризация газа двухуровневых молекул, Лазаревич Иван – новые эксперименты с лазерной плазмой.
19. 5 ноября 2014 г. По теме «Лазерный термояд и моделирование джетов в лаборатории» выступили Зуев Александр – каскады в астрофизической плазме, Сергеев Юрий, Шайкин Илья – прорывные эксперименты в лазерном термояде, Сладков Антон – моделирование джетов в лазерной плазме.
20. 12 декабря 2014, по теме «Трехмерная широкополосная маскировка объектов в оптике и акустике» выступили Аверченко А., Волчков К. Коптев М., Махнев В., Хилов А.; 19.12.14, по теме «Экзопланеты и их свойства» выступили Баландин И., Горбунов И., Кюберис А., Шомина О.
21. 26 декабря 2014. По теме «Самые большие структуры во Вселенной» выступили Еремеев А., Зуев А., Кулагин С., Кюберис А., Одинцова Т.

15. Издательская деятельность

Тематический план на 2014 г.							Отчет о выполнении			
№	Ответственный редактор, автор, ответственный за выпуск	Полное тематическое наименование и вид издания (сборник научных трудов, монография, материалы конференции)	Объем, уч.-изд. л.	Тираж, экз.	Язык издания. Типография	Срок предст-ия	Издано, не издано	Объем	Тираж, экз.	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сборники										
1	Составитель Н.Н. Кралина	М. А. Миллер. Лекции по физике... и не только	6,4	300	Русский, Типф	I-2014	Издано	6,4	300	Типф
2	Составитель С.Д. Жерносек	Михаил Адольфович Миллер «Из спектров чувств и густков дум»	16	500	Русский Т _{сторон}	II-2014	Подготовлен к изданию на 90%, к концу года должен выйти (29 усл. печ., 27 уч.-изд.)			
3	Отв. ред. к.ф.-м.н. А.М. Рейман. Составители А.В. Афанасьев, к.ф.-м.н. В.В. Клиньшов, к.ф.-м.н. А. М. Рейман	Сборник олимпиадных задач по физике. Нижний Новгород. 2004–2013	10,7	350	Русский Типф	I-2014	Издано	10,7	350	Типф
Материалы конференций										
4	Отв. ред. академик А.Г. Литвак Отв. за выпуск к.ф.-м.н. Е.Д. Господчиков	Сборник тезисов 9-й международной конференции « Strong Microwaves and Terahertz Waves: Sources and Applications »	350–400 с. А4	250	Английский Типф	II-2014	Издано	32,5 усл. печ. л.	250	Типф
5	Отв. ред. чл.-кор. РАН Е.А. Хазанов	Международный симпозиум « Topical Problems of Nonlinear Wave Physics » (NWP-2014)								
6	Отв. за выпуск М.Д. Чернобровцева, Н.Б. Криваткина Отв. за выпуск к.ф.-м.н. Д.Г. Захаров, к.ф.-м.н. А.А. Соловьев, к.ф.-м.н. Е.М. Лоскутов	1) Сборник тезисов 2) Сборник аннотаций лекций	360 с. А4 <i>Эл. ресурс</i> 76 с. А4	– 250	Английский Английский Типф	II-2014 II-2014	Издано Издано	32,5 усл. печ. л. 8 усл. печ. л.	– 250	– Типф
7	Отв. за выпуск к.ф.-м.н. В.А. Скалыга, И.В. Изотов	Сборник тезисов докладов междунар. совещания « International Workshop on ECR Ion Sources 2014 »	100 с.	60	Английский Типф	III-2014	Издано	4,75 усл. печ. л.	60	Типф
8	Отв. ред. д.ф.-м.н. В.И. Некоркин Отв. за выпуск к.ф.-м.н. Д.Г. Захаров	XVII научная школа « Нелинейные волны – 2014 » 1) Сборник аннотаций лекций 2) Сборник тезисов молодых ученых	3 10,5	300 300	Русский Типф	III-2014	Не издано	Принято решение не проводить в декабре, перенесли на 2016 год.		
Информационно-рекламные издания										
9	Отв. ред. д.ф.-м.н. К.И. Рыбаков	« Высшая школа общей и прикладной физики ». Полноцветный буклет	3	250	Русский Т _{сторон}	III-2014	Издано	2,9	250	Типогр. «Растр-НН»
Дополнительно, вне плана										
10	Отв. за вып. А.О. Перминов	Я познаю мир. Ученическая конференция					Издано	7,8	150	Типф
11	Отв. за вып. А.О. Перминов, В.В. Кочаровский.	Круглый стол учителей физики и математики Нижегородской области. Сб. докладов					Издано	4,78	100	Типф

Программы конференций (отд. изданием)

2 шт.

2,75 усл. печ. л.

общ. тираж 250 экз.

Авторефераты

11 шт. (3 докт.)

21,0 усл. печ. л.,

общ. тираж 1140 экз.

Научная студенческая конференция ВШОПФ. Тезисы докладов

0,8 уч.-изд. л.,

тираж 50 экз.

16. О работе инженерно-эксплуатационной службы

Основными направлениями в работе инженерно-эксплуатационной службы института традиционно являлись: надежное обеспечение подразделений института энергоресурсами, постоянный контроль промышленной, пожарной, экологической и радиационной безопасности, энергосбережение и энергоэффективность, менеджмент качества, метрологический контроль и метрологическая экспертиза выполненных работ.

Повышение надежности энергетических систем. Энергосбережение. Энергоэффективность.

В 2014 году выполнен значительный объем работ по модернизации и капитальному ремонту систем электроводотеплоснабжения. Наиболее значительными из них явились:

- капитальный ремонт аварийных стояков холодного и горячего водоснабжения корпуса №1,
- капитальный ремонт циркуляционной линии горячего водоснабжения от корпуса №4 до корпуса №1,
- капитальный ремонт системы оборотного водоснабжения от технологического зала корпуса № 6 до подвала корпуса №4,
- капитальный ремонт вытяжной системы в цокольном этаже корпуса №4,
- капитальный ремонт электроснабжения водооборотной системы в корпусе №4 и 4а.

Общие затраты на ремонт энергетических систем составили в 2014 году около 3 млн. рублей.

Особое внимание инженерно-эксплуатационная служба института уделяла работе по выполнению Федерального закона РФ № 261-ФЗ от 23. 11. 2009г. «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности». В результате работы по экономии водных ресурсов расход воды институтом в 2014 году снизился относительно 2009 года, являющегося базовым по Федеральному закону, на 22733м^3 , что составляет 41%. Законом предусмотрено ежегодное снижение не менее, чем на 3%, или 15% за пять лет. Добиться вышеуказанной экономии удалось за счет систематического анализа потребления воды, усовершенствования систем охлаждения экспериментальных установок, перевода их на оборотное водоснабжение, постоянной работе по капитальному и текущему ремонту энергосистем института.

В денежном выражении годовая экономия воды по усредненным тарифам 2014 года составила 120130 рублей.

В 2014 году выполнен 1^й этап модернизации системы оборотного водоснабжения, в результате чего максимальная производительность системы оборотного водоснабжения при работе двух автоматизированных насосных станций возросла с $23\text{м}^3/\text{час}$ до $67\text{м}^3/\text{час}$. Работа станций стала более надежной за счет уменьшения циклов включения-выполнения ведомой станции. Отпала необходимость запланированной замены двух насосных станций на более мощные, общей стоимостью 2,5 млн. рублей. Экономия от первого этапа модернизации системы оборотного водоснабжения составила 105 тыс. рублей.

В институте постоянно проводится работа по оптимизации использования тепловой энергии. В результате проведенных мероприятий, направленных на сбережение тепловой энергии, теплопотребления ИПФ в сопоставимых условиях снизилась в 2014 году по сравнению с 2013 годом на 419 Гкал, что составило 7,6%. Относительно базового 2009 года снижение составило 22,1%.

В денежном выражении экономия составила в тарифах 2014г.:

- относительно 2013 года – 320542 рубля

- относительно 2009 года – 1097479 рублей

В 2014 году экономии электроэнергии удалось добиться за счет замены люминесцентных светильников и ламп на светодиодные. В течении года была осуществлена замена 232 светильников и 1550 ламп. Экономия электроэнергии за год составила 17001 кВт-час., в денежном выражении 85001 руб.

В институте постоянно совершенствуется система АСКУЭ - автоматизированная система контроля и управления ресурсами. В диспетчерской АСКУЭ организовано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора по тепло и водопотреблению с возможностью вывода информации на большой экран. Информацию о потребленной тепловой энергии и расходе воды можно также просматривать с рабочего места отдела 061. Указанную информацию можно получить как непосредственно на экране, так и в виде печатных выходных форм (таблицы, графики).

Данные по тепло и водопотреблению, полученные на АРМ диспетчерской АСКУЭ в установленном порядке передаются в энергоснабжающие организации и являются основанием для коммерческих расчетов за потребленную тепловую энергию и воду.

Промышленная безопасность. Охрана труда

Система управления промышленной безопасностью ИПФ РАН разработана на основании Федерального закона № 116-ФЗ от 21.07.1997г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», постановления Правительства РФ № 263 от 01.03.1999г. и других нормативно-технических документов в области промышленной безопасности. Производственный контроль за соблюдением промышленной безопасности опасных производственных объектов осуществляется в соответствии с утвержденным «Положением об организации и осуществлений производственного контроля при эксплуатации опасных производственных объектов ИПФ РАН».

Управление промышленной безопасностью и производственным контролем осуществляется путем выполнения комплекса мероприятий, направленных на обеспечение безопасного функционирование производственных объектов института, предупреждения аварий, инцидентов и готовности к локализации и ликвидации аварий, аварийных ситуаций и их последствий.

В течении года проведены плановые проверки опасных производственных объектов института. В 2014 году осуществлен переход с природного газа на баллонный. Годовой экономический эффект составил 1 млн. 100 тыс. рублей. В соответствии с законом об обязательном страховании ответственности владельца опасного объекта все опасные производственные объекты института были застрахованы.

В 2014 году в области охраны труда введена новая процедура -специальная оценка условий труда (СОУТ) и с 1 января 2014 года работодателям больше не надо проводить аттестацию рабочих мест. Принят Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013г. « О специальной оценке условий труда», который унифицировал процедуру оценки условий труда, ввел единую терминологию и параметры этой оценки. СОУТ по сути та же самая аттестация рабочих мест, только в новом статусе, более структурированная и четко определенная.

В 2014 году отделом охраны труда проведена специальная оценка условий на 120 рабочих местах в центральном, 1, 3, и 6 отделениях института за счет средств ФСС в сумме 240 тыс. рублей.

Проведено ежегодное заседание комиссии по установлению льгот и компенсаций работникам института. Согласованы списки и принято решение о сохранении размера выплаты компенсации за работу во вредных условиях труда и стоимости талона на получение молока.

Подготовлен список работников, проходящих ежегодный медицинский осмотр. Проведен медосмотр работников института, занятых на вредных и опасных работах, в ГБУЗ НО Городская поликлиника № 21.

Составлены отчеты по травматизму и направлены в администрацию Нижегородского района.

Организовано плановое обучение и аттестация (переаттестация) 17-ти членов комиссий и специалистов в области промышленной безопасности ОПО и охраны труда.

Проведена очередная аттестация по электробезопасности и внеочередная проверка знаний Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок работников центрального отделения и членов комиссий научных подразделений в центральной комиссии института.

Совместно с руководителями подразделений пересмотрены инструкции по охране труда с истекшим сроком действия.

Выполнены работы по улучшению теплового режима на рабочих местах путем замены 44 окон на многокамерные стеклопакеты (всего заменено 290 шт.), произведена замена 3 входных дверей.

Пожарная, экологическая, радиационная безопасность

В 2014 году отделом пожарной безопасности совместно с инженерными службами института, гл. инженерами научных отделений проведен ряд организационных и технических мероприятий, направленных на усиление мер пожарной безопасности. Приоритетным направлением в работе отдела являлось внедрение современных технических средств противопожарной защиты объекта. В ДООЛ им. Талалушкина и детском саду института смонтирована система «Стрелец – мониторинг», позволяющая передавать сигнал о пожаре в подразделение пожарной охраны без участия работника объекта. В этом случае полностью исключается человеческий фактор, влияющий на время поступления сообщения о пожаре - растерянность, забывчивость или стрессовое состояние персонала. Заключен договор с аккредитованной организацией (СМП-52) на ее техническое обслуживание.

Кроме этого, в целях оперативного определения объекта при срабатывании АПС, внедрен и смонтирован блок контроля и индикации (БКИ) АПС на центральном посту охраны института.

Более современной и надежной автоматической пожарной сигнализацией оборудован ростовой стенд монокристаллов: при срабатывании АПС происходит автоматическое отключение вентиляции и включение электромагнитных огнезадерживающих клапанов.

Совместно с инженерными службами института отделом решен и ряд других противопожарных мероприятий:

1. Вновь смонтирована АПС в 23 помещениях института. Всего защищено АПС 332 помещений института с выводом сигнала о срабатывании на центральный пост охраны, что составляет 85% от требуемого объема.

2. Прделана определенная положительная работа по реализации приказов директора института № 35а (режим курения), № 7а (о загорании в отделе 370 подвала ГО), распоряжений по линии гл.инженера № 060/6 (по безопасной эксплуатации кондиционеров), № 060/9 (по безопасному проведению массовых мероприятий в конференц-зале НОЦ).

3. Совместно с ОГМ проверено состояние внутреннего противопожарного водопровода. Давление на 1 этаже 1 корпуса 5,1атмосферы, на 7 этаже 3,2атмосферы. Аналогичное давление и в других корпусах института, что соответствует требованиям норм. Все ПК в количестве 101шт. укомплектованы рукавной арматурой, пронумерованы

и опечатаны. Пожарные насосы-повысители включаются, находятся в рабочем состоянии. Журнал проверки насосов имеется и ведется.

4. Проверены наружные металлические сооружения (склады) с вручением актов ответственным лицам центрального и научных отделений. Выпущен план территории института с размещением временных сооружений.

5. Проведен вводный противопожарный инструктаж с вновь принятыми на работу в количестве 83 человек, рассмотрено и согласовано 9 планировок.

6. Согласовано и проконтролировано проведение 26 газосварочных и других огневых работ.

7. Все наружные пожарные лестницы испытаны и покрашены, находятся в исправном эксплуатационном состоянии

8. Оборудованы автоматической пожарной сигнализацией административно-бытовые помещения базы отдыха «Варнавино».

9. Проведен ремонт с заменой блока контроля и управления установки АПТ на участке окраски опытного производства.

10. Приобретено пожарно-технического вооружения: пожарных рукавов D-51мм. - 10 штук, огнетушителей ОУ-3 - 10 штук, огнетушителей ОП-5 - 10 штук, журналов инструктажей - 11 штук, газодымозащитных комплектов - 10 штук, аккумуляторных фонарей - 10 штук.

11. Проведен комплекс противопожарных мероприятий по подготовке базы отдыха и детского оздоровительного лагеря к летнему периоду эксплуатации

12. В целях реализации мероприятий ГО и ЧС разработан и согласован с заинтересованными службами области План повышения защищенности критически важного объекта (ИПФ).

13. В защитное сооружение ГО института для дизельгенератора приобретены аккумуляторы. Службой энергетика проведена ревизия штатной схемы электросетей аварийного освещения в помещениях защитного сооружения, с пробным пуском дизельгенератора. Проверкой установлено - оборудование находится в технически исправном состоянии.

Остается на контроле выполнение предписания ГПН № 210 от 31.07.2012 года.

Из 29 мероприятий выполнено 24 (83%), 2 подготовлены на снятие с контроля инспекцией ГПН, 3 мероприятия невыполнены (все помещения института оборудовать автоматической пожарной сигнализацией; на 5 этаже 1 корпуса убрать кабинеты из световых карманов; у пожарных кранов отсутствуют кнопки пуска пожарных насосов).

Всего в 2014 году на выполнение противопожарных мероприятий израсходовано 1 млн. 300 тыс. рублей.

В области экологической безопасности произведен сбор необходимой информации для расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду, а также оформление расчета платы по установленной форме проводится ежеквартально.

Контроль качества сбрасываемых институтом сточных вод проводится по согласованному графику с привлечением аккредитованных лабораторий.

Лабораторно-производственный мониторинг атмосферного воздуха (на границе СЗЗ, на источниках выбросов) и почвы, проводится АНО «Приволжский центр здоровья среды» (по договору), в соответствии с Программой производственного контроля.

В настоящее время ведутся работы по разработке проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу ЗАО «Нижегородский Институт «Проектпромвентиляция» (по договору).

Предоставлены в Департамент Росприроднадзора по ПФО Технические отчеты о неизменности производственного процесса и образующихся отходах на объектах: ИПФ РАН, Полигон «Безводное», Детский сад, Гараж (Казанская наб.), ДООЛ им. Талалушкина за 2013-14 гг.

Продлены Разрешения (Лимиты) на размещение отходов на перечисленных объектах на 2014-15 гг.

Первичный учет образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных отходов в институте ведется постоянно.

Составлены и согласованы в Департаменте Росприроднадзора по ПФО и Нижегородстате статотчеты: 2-тп (отходы), 4-ос.

Составлены и переданы отчеты в Комитет охраны природы и управления природопользованием Нижегородской области для подготовки регионального кадастра отходов производства и потребления за 2013 год.

Принято участие в семинарах: «Вопросы безопасного обращения с отходами» «Изменения в природоохранном законодательстве», организованного ГК «Браво Софт».

Разработана и согласована в ОАО «Нижегородский Водоканал» Декларация о составе и свойствах сточных вод.

Контроль за выполнением организационных мероприятий, проводимых подразделениями института и направленных на снижение влияния образующихся отходов производства и потребления на состояние окружающей среды (в т.ч. передачей отходов на утилизацию специализированным организациям) осуществляется постоянно.

В области радиационной безопасности проведен контроль:

1. Индивидуальной дозы облучения персонала ускорителей группы А;
2. Дозы рентгеновского излучения ускорителей;
3. Дозы и мощности дозы рентгеновского излучения ВЭЖ с гиротронами;
4. Мощности дозы естественного радиационного фона на территории

института.

Составлены и направлены в надзорные органы:

1. Радиационно-гигиенический паспорт ИПФ РАН;
2. Отчет о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации радиационно-опасных объектов;
3. Акт инвентаризации источников ионизирующего излучения;
4. Отчет о состоянии радиационной безопасности и работе с р/а веществами и др. источниками ионизирующих излучений в ИПФ РАН.

Получена лицензия Роспотребнадзора на осуществление деятельности института в области использования источников ионизирующего излучения (генерирующих).

Метрологическое обеспечение научных исследований

В области метрологического обеспечения работ института выполнены следующие мероприятия:

1. Поверки эталонов и иных СИ в ФБУ «Нижегородский ЦСМ» реализована в соответствии с законодательством Российской Федерации (44-ФЗ).
2. Переработаны и переизданы СТП БИГЮ 023, 038, 042, 043.
3. Успешно пройден контроль со стороны «Военного регистра» на соответствие деятельности СМК сертификату. Осуществляется подготовка к ресертификации.

4. В рамках подготовки ИПФ к расширению области аккредитации на право поверки средства измерений военного назначения (СИВН) и утверждению его типа проведены:

- обучение и аттестация 2-х специалистов - поверителей;
- аттестация 2 единиц испытательного оборудования;
- консультации по доработке Руководства по качеству МС в соответствии с требованиями Федеральной службы аккредитации;
- процедуры конкурса и приобретения поверочного оборудования;

- подготовка поверителей к его эксплуатации.
- 5. Разработаны и реализованы процедуры промежуточного контроля датчиков и усилительных плат на участке сборки акселерометров.
- 6. Поверены (при необходимости отремонтированы) в соответствии с графиками поверки около 300 средств измерений. Информация о поверке внесена в Информационный фонд Росстандарта.
- 7. Документы на эталоны отдела метрологии подготовлены к аттестации.
- 8. Перечни средств измерений, средств контроля и индикаторов составлены и корректируются.
- 9. Проведен метрологический надзор согласно графику и внутренние аудиты подразделений института.

17. Опытное производство

Основное внимание коллектив опытного производства в 2014 году уделил совершенствованию менеджмента качества и внедрению новых технологий обработки и покрытия металлов.

Разработана и внедрена система оценки рисков при выпуске заказов в ОП. Проведена работа по внедрению стандарта организации СТО БИГЮ 025-2014:

- аттестовано рабочее место для проведения входного контроля;
- проведены совместно с ВП испытание при входном контроле 2^x видов пьезоэлементов.

В соответствии с решением Ученого Совета института от 17.04.2014года в опытном производстве был организован участок сборки первичных преобразователей. В течении 2014 года было подобрано помещение, проведен капитальный ремонт, закуплено оборудование для изготовления и проверки узлов, обучены ведущие инженеры Суслов Р.А. и Демина Л.И. в Академии стандартизации, метрологии и сертификации. Изготовлена первая партия пьезоакселерометров АП-11УС в количестве 275шт.

В 2014 году проведена работа по внедрению специального технологического процесса никелирования алюминия и его сплавов в гальваническом отделении ОП: изготовлены новые ванны, отработана технология на образцах, проведена аттестация помещения, обучен гальваник 4 разряда работам по вышеуказанной технологии.

В течении года изготовлено в ОП 202 заказа на общую сумму 15 574 040 рублей. Объем хозяйственных работ за год увеличился в 3 раза и составил 600 тыс. рублей.

Средняя зарплата сотрудников опытного производства в 2014 году составила 28666 рублей и выросла на 13% по сравнению с 2013 годом.

Сведения о результатах в рамках государственного задания на проведение фундаментальных научных исследований по направлениям исследований РАН, предусмотренного Программой фундаментальных научных исследований государственных академией наук на 2013-2020 годы, в 2014 году

Таблица 1а

№№	Наименование направления фундаментальных исследований по государственному заданию на 2014 год и номер научно-исследовательского проекта	Результаты
1	2	3
II . Физические науки		
1	8. Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости	<p>Впервые в мире конденсация Бозе-Эйнштейна достигнута в 2-мерной системе молекул. Приготовлен квантово вырожденный ферми-газ атомов, из которого затем были получены молекулы. Охлаждение молекулярного газа происходило методом выпаривания, в ходе которого температура опустилась до значений порядка 10 нанокельвинов, что существенно ниже температуры бозе-конденсации в данной системе.</p>
2	9. Физическое материаловедение: новые материалы и структуры, в том числе фуллерены, нанотрубки, графены, другие наноматериалы, а также метаматериалы	<p>Установлены условия реализации стабильного разряда в широкоапертурных пересекающихся пучках микроволнового излучения и реализована схема поддержания газового СВЧ разряда над поверхностью подложки в двух пересекающихся волновых пучках излучения гиротрона в широком диапазоне условий. Экспериментально определены условия стабильного существования СВЧ разряда полностью покрывающего подложку диаметром 75 мм.</p> <p>Установлен оптимальный диапазон условий плазмохимического осаждения легированных нанокристаллических алмазных пленок из СВЧ разряда в смеси аргона, азота, водорода и метана, получены экспериментальные образцы легированных азотом нанокристаллических алмазных пленок на кремниевых подложках при различных условиях. Проведена измерение характеристик полученных экспериментальных образцов.</p>

		<p>Рассмотрено усредненное пондеромоторное воздействие микроволнового электромагнитного поля на границе раздела фаз, обладающих различными значениями комплексной диэлектрической проницаемости. Установлено, что в веществе, содержащем зародыши новой фазы, такое воздействие может приводить к изменению энергии, связанной с поверхностью раздела фаз, и, следовательно, влиять на критический размер зародыша.</p>
3	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом</p>	<p>Исследованы процессы возбуждения поляризационных токов, наводимых ионизирующими фемтосекундными лазерными импульсами в газовых средах. Продемонстрированы возможности управления центральной частотой генерируемого излучения и его спектральным профилем при перестройке частот ионизирующих лазерных импульсов.</p> <p>Разработана вычислительная программа для решения нестационарного уравнения Шрёдингера в неограниченной пространственной области. С использованием разработанной программы исследовано формирование энергетических спектров фотоэлектронов в поле бихроматического фемтосекундного лазерного импульса.</p> <p>Численным интегрированием рассчитаны основные параметры пространственно-временной эволюции плазменно-полевых структур и низкочастотных терагерцовых токов, генерируемых при распространении в атмосферном воздухе фемтосекундных ионизирующих лазерных импульсов.</p>
4	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом</p>	<p>Предложено и обосновано использование когерентного бихроматического излучения для считывания состояния кубита, являющегося базовым элементом квантового компьютера, в произвольном требуемом базисе и проведения процедуры полного определения состояния кубита.</p>
5	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени,</p>	<p>Экспериментально и теоретически проведено исследование генерации пучков электронов при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с различными структурированными средами и определены параметры коллимированных пучков.</p> <p>С помощью оригинального программного комплекса исследовано развитие</p>

	<p>пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.</p>	<p>квантовоэлектродинамического каскада в поле двух сталкивающихся лазерных импульсов. Продемонстрировано, что при одних и тех же условиях в циркулярно поляризованной волне может быть получено на порядок большее число частиц.</p> <p>С помощью оригинального программного комплекса промоделировано взаимодействие сверхмощного лазерного импульса с тонкой плёнкой и генерация в облучаемой пленке гамма-квантов. Найдены параметры плёнки и лазерного импульса, соответствующие наиболее эффективной генерации гамма-квантов.</p> <p>Путём численного моделирования исследована зависимость параметров пучков ускоряемых петаваттным лазерным излучением протонов в двухкомпонентных мишенях от параметров слоя ускоряемых ионов. Показано, что полная энергия, переданная в протоны, неограниченно растёт с ростом толщины ускоряемого слоя и максимальна при изначальном положении слоя на задней стороне мишени.</p> <p>Показано, что в процессе самокомпрессии лазерного импульса петаваттной мощности в прозрачной плазме в условиях возбуждения кильватерной волны релятивистская самофокусировка приводит на стадии насыщения к режиму квазиодномерной компрессии.</p> <p>Показана возможность генерации атто- и субаттосекундных всплесков излучения с энергиями фотонов более 10 кэВ при воздействии на атомы гелия фемтосекундными импульсами с центральной длиной волны 10.6 мкм и пиковой интенсивностью порядка 5×10^{14} Вт/см² и при воздействии на ионы гелия импульсами излучения с длиной волны 3.9 мкм и пиковой интенсивностью порядка 6×10^{15} Вт/см².</p> <p>Построена полная классификация энергетических уровней и строгая алгебраическая модель описания энергетического спектра димера аммиака (NH₃)₂ с учетом торсионного, обменного и инверсионного нежестких движений. Построенная модель является строгой в том смысле, что ее корректность ограничивается лишь правильностью выбора симметрии внутренней динамики димера.</p>
6	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты,</p>	<p>Создан и исследован регенеративный усилитель для усиления наносекундных импульсов с энергией ~ 1 нДж и частотой следования до 100 Гц в диапазоне 1054±1 нм и выходной энергией в импульсе до 500мДж с дифракционной расходимостью излучения.</p> <p>Создана установка для измерения сверхмалых поглощений в оптических элементах. Чувствительность метода составила $\sim 10^{-8}$ см⁻¹. Это позволило зафиксировать изменение фазы $\sim \pi \cdot 10^{-5}$, что важно для входного контроля оптических материалов при создании мощных лазеров со средней мощностью от 10 кВт.</p> <p>Измерено поглощение воздуха: 10^{-7} см⁻¹ (на длине волны 1.07 мкм), что соответствует</p>

	<p>прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.</p>	<p>континуальному поглощению в окне прозрачности. Измерены диссипативные потери в обезвоженном высококачественном кварцевом стекле, которые оказались на два порядка ниже релеевского рассеяния.</p> <p>Создана и исследована гибридная лазерная система на основе оптического волокна, активированного ионами Tm^{3+}, и керамики $Tm^{3+}:Lu_2O_3$. Получено усиление излучения на длине волны 1940 нм с коэффициентом ~ 100, максимальная энергия импульсов достигала 1.5 мДж (при частоте повторения 5 кГц), максимальная средняя мощность достигала 23 Вт (при частоте повторения 45 кГц), максимальная эффективность усилителя 46%.</p> <p>Построена гибридная эрбиево-тулиевая волоконная лазерная система, генерирующая на длине волны ~ 2 мкм импульсы субмикроджоульного уровня. Показана возможность построение на его основе генератора двух- или даже многоцветных оптически-синхронизованных импульсов.</p>
7	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.</p>	<p>На лазерной установке PEARL повышена частота следования оптических импульсов для накачки параметрического усилителя в лазере PEARL с 1 импульса в 30-40 минут, до одного импульса в 10-12 минут при сохранения параметров оптического импульса (длина волны 1054 нм, энергия импульса более 300 Дж, длительность 1 нс, диаметр 97 мм, расходимость не хуже 2-х дифракционных пределов).</p> <p>Разработана конструкция квантрона для активных элементов диаметром 60...100 мм, позволившая уменьшить тепловую нагрузку на 40%. Это позволило заменить 12, 16 и 18-ламповые квантроны, использовавшихся для накачки 60, 85, и 100 мм активных элементов, соответственно, 8 ламповым квантроном.</p> <p>Для создания мощного источника пикосекундных импульсов с частотой следования до 1 кГц на дисковых активных элементах из Yb:YAG разработан дизайн активного элемента с кладдингом, позволяющим существенно уменьшать паразитную генерацию излучения..</p> <p>Разработаны различные виды изоляторов Фарадея из керамик тербий-галлиевого граната и тербий-алюминиевого граната, обеспечивающие степень изоляции 30 дБ при киловаттном уровне мощности лазерного излучения, что позволяет их использовать в разрабатываемом пикосекундном лазере.</p>
8	<p>10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне,</p>	<p>Создана приборная база для исследования однородности питания растущего кристалла KDP и DKDP в ростовой форме на основе аналогии свойств теплопереноса и массопереноса. Создан лабораторный макет системы оптического контроля и регистрации положения доминирующих центров роста на ростовой грани.</p>

	освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.	На основе анализа экспериментальных исследований ведущих мировых разработчиков технологии магнитореологической обработки сформулирована концепция техпроцесса суперфиниширования оптических поверхностей водорастворимых кристаллов группы KDP.
9	10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом	<p>Разработан метод поляризационных измерений с фиксированным состоянием поляризации зондирующего излучения в спектральном варианте для оптической когерентной томографии. Экспериментально подтверждено ожидаемое повышение уровня сигнала в кросс-канале на 3,9 дБ. Зафиксировано отсутствие наблюдавшейся ранее неопределенности ОКТ-сигнала, обусловленной произвольным состоянием поляризации.</p> <p>Разработан метод формирования аттосекундных импульсов электромагнитного излучения длительностью порядка периода поля с несущей частотой порядка частот внутриаомных и внутримолекулярных резонансов. Показано, что предложенный метод позволяет получать экстремально короткие импульсы излучения в различных средах.</p> <p>Впервые одиночные фотоны гамма-излучения с энергией 14,4 кэВ от радиоактивного источника ^{57}Co с экспоненциально затухающей формой огибающей волнового пакета преобразованы в фотоны с огибающей волнового пакета в виде затухающей последовательности импульсов длительностью, много меньшей времени затухания. Получены также фотоны с огибающей волнового пакета в виде пары когерентных импульсов.</p> <p>Теоретически исследован режим двухволновой генерации в Nd:YAG лазерах с насыщающимся поглотителем на переходах 1061,5 нм и 1064,15 нм. Предложена многомодовая модель лазера с насыщающимся поглотителем и найдены условия одновременной импульсной генерации на указанных длинах волн, что может найти применение в различных приложениях, в частности для получения терагерцового излучения.</p>
10	11. Фундаментальные основы лазерных технологий, включая обработку и модификацию материалов, оптическую информатику, связь, навигацию и медицину.	<p>Разработан метод лазерного наноструктурирования полимерных поверхностей с помощью слоя субмикронных диэлектрических шариков. Экспериментальные результаты и теоретическое моделирование процессов показали возможность получить этим методом плотность записи элементарных структур выше, чем 10^{10} см^{-2}.</p> <p>Получены новые материалы, способные наноструктурироваться при воздействии несфокусированного лазерного излучения на основе матриц титан-оксидного гибрида и полиметилметакрилата. С помощью спектроскопических и микроскопических измерений</p>

11	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>проведен анализ их оптических свойств.</p> <p>Проведены исследования механизмов генерации терагерцового излучения при воздействии фемтосекундных лазерных импульсов на поверхность металлов. Найденные низкочастотные поля излучения позволили интерпретировать многие экспериментальные данные: диаграмму направленности и поляризацию терагерцового излучения, зависимость эффективности генерации терагерцового сигнала от угла падения и типа поляризации оптического импульса.</p> <p>Разработан численный код и проведено численное моделирование электродинамических процессов, протекающих при отражении мощного лазерного импульса от проводящей среды, с учётом возможности ионизации газа (воздуха) над поверхностью. Показано, что при росте интенсивности лазерных полей происходит падение эффективности генерации. Дано объяснение наблюдаемого явления.</p> <p>Теоретически обнаружен эффект генерации терагерцовых плазмонов инфракрасным лазерным излучением на разностной частоте в материалах с дираковскими электронами. Предложена схема, предполагающая генерацию плазмонов с последующей трансформацией плазмон-поляритона в моду свободного пространства терагерцового диапазона. Такой режим предложен, в частности, для топологических изоляторов.</p> <p>Исследовано возбуждение ленгмюровских волн в плазме с помощью ультракоротких лазерных импульсов. Показано, возбуждение плазменной волны коротким по сравнению с плазменной длиной волны лазерным импульсом аналогично процессу излучения кильватерной волны движущимся зарядом. Для получения сверхсильных электрических полей необходимо использование релятивистски сильных коротких лазерных импульсов.</p>
12	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>Создан цифровой частотомер GLN-2540 диапазона 170-400 ГГц. Прибор является модернизированным вариантом ранее разработанного GLN-1005 (диапазона 70-170 ГГц). За счет оптимизации ряда узлов получены на порядок более высокая чувствительность, долговременная стабильность и точность частотомера при расширении диапазона рабочих частот.</p> <p>Для реализации схем спектрометров, использующих быстрое сканирование частоты, проведена модернизация 2-х синхронизаторов (с полосой частот ПЧ 396-444 МГц и с полосой частот ПЧ 528-582 МГц). Заменены УПЧ, разработаны широкополосные умножители, скорректированы ЧФД:</p> <p>Показано, что предельная производительность беспроводных телекоммуникационных каналов на основе приемо-передающих комплексов со</p>

		<p>сверхвысокочувствительными криостатируемыми приемниками ТГц диапазона частот может превосходить уже на имеющейся сегодня твердотельной технологической базе 300 Гб/с, в перспективе имеется возможность достижения терабитных производительностей. Разработан эскизный проект макета ТГц канала.</p>
13	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>Получены новые экспериментальные данные о характеристиках радиолокационных сигналов Зсм-диапазона при зондировании ветрового поверхностного волнения в условиях умеренного и сильного ветра. Установлены зависимости интенсивности, доплеровских сдвигов частоты и радиолокационной модуляционной передаточной функции от угла падения, азимутального угла, скорости ветра, а также от поляризации зондирующего радиосигнала.</p> <p>В ходе комплексных натурных исследований на Горьковском водохранилище получены новые данные о связи характеристик радиолокационных сигналов с характеристиками фитопланктона. Выполнены измерения скорости и направления ветра, концентрация фитопланктона и температуры воды, мощности и толщины акустического рассеивающего слоя водной толщи.</p> <p>Получены экспериментальные зависимости доплеровских сдвигов радиолокационного сигнала от условий наблюдения, выявлены особенности структуры ветрового волнения. Найдено, что увеличение угла падения ведет к увеличению сдвига доплеровского спектра и незначительному уменьшению его ширины. Было показано, что при ориентации ножевой антенны радиолокатора параллельно направлению движения, ширина измеряемого доплеровского спектра является минимальной и максимальной при повороте на 90 градусов.</p> <p>Разработана аналитическая модель лидарного изображения уединенной нелинейной внутренней волны (ВВ). Модель описывает изменения лидарного эхосигнала, обусловленные воздействием ВВ на пространственное распределение показателя обратного рассеяния воды и энергетические потери на трассе распространения сигнала. Установлены закономерности изменения толщины слоев мутности под воздействием нелинейных ВВ.</p> <p>Разработан алгоритм для определения площади обрушений по оптическим изображениям взволнованной водной поверхности. По экспериментальным данным получена зависимость площади обрушений от скорости ветра. Разработана модель образования изображений волн с учетом явления затенения волн и при различных условиях освещения рассеянным светом неба.</p> <p>Для нахождения амплитудно-фазовых распределений (АФР) на элементах</p>

		<p>вертикальной антенной решетки была решена вариационная задача о максимизации отношения средних интенсивностей звукового поля внутри и вне выбранного участка сечения волновода. Получено решение в виде пучка, который распространяется, не касаясь дна.</p>
14	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>На основе экспериментальных (лабораторных и натуральных) данных подтверждена физическая модель гранулированных сред, позволившая выявить общую природу характерных для них явлений нелинейного гистерезиса и медленной релаксации.</p> <p>Экспериментально исследованы возможности когерентных методов сейсмоакустического зондирования для предварительной диагностики площадок археологических изысканий (оконтуривания объекта и локализации мест скопления артефактов).</p> <p>Предложен и развит подход к решению проблемы управления низкочастотными волновыми полями различной природы на основе параметрической модуляции граничных условий краевой задачи. На его основе предложена и аналитически исследована модель параметрического акустического фильтра, предназначенного для эффективного гашения звуковых волн в потоке газа.</p> <p>Проведено теоретическое и численное исследование нелинейных эффектов, возникающих при распространении и возбуждении акустических волн в безграничной среде и стержневом резонаторе, определены нелинейные декремент затухания и скорость распространения волны основной частоты, а также закономерности для амплитуд и фазовых скоростей для второй и третьей гармоник.</p> <p>Предложен и развит подход к решению проблемы управления низкочастотными волновыми полями различной природы на основе параметрической модуляции граничных условий краевой задачи. На его основе предложена и аналитически исследована модель параметрического акустического фильтра, предназначенного для эффективного гашения звуковых волн в потоке газа.</p> <p>В целях проведения работ по мониторингу напряженно-деформированного состояния земных пород на горизонтах их естественного залегания проведена модернизация автономной системы скважинной регистрации сигналов сейсмоакустической эмиссии, разработанной для Воротиловской глубокой скважины (Нижегородская обл.).</p> <p>Проведено численное моделирование функции когерентности многомодового акустического сигнала, распространяющегося в случайно-неоднородном подводном звуковом канале, в широкой области параметров. Рассчитаны функции отклика</p>

		<p>протяженных горизонтальных и вертикальных антенных решеток и получены оценки коэффициента усиления при различных амплитудно-фазовых распределениях поля на антенне.</p> <p>В приближении геометрической акустики получены аналитические выражения для матриц, определяющих фокусировку полей, отраженных от гладких криволинейных импедансных границ в двумерной рефракционной среде. Разработан новый лучевой метод расчета звуковых полей в неоднородном по трассе океаническом волноводе с гладким криволинейным дном и взволнованной поверхностью.</p> <p>Теоретически и численно выявлены закономерности, проявляющиеся при формировании пространственной интерференционной структуры акустического поля, возбуждаемого в приповерхностном канале вертикальной синфазной антенной. Установлено, что с увеличением апертуры антенны до ее определенного (оптимального) размера, в канале формируется лишь один каустический пучок.</p> <p>Проведено теоретическое исследование горизонтальной корреляционной функции сигналов поверхностной реверберации для развитого волнения с изотропным спектром. Показано, что корреляционная функция моностатической реверберации имеет универсальный вид, а в случае бистатического режима излучения характерный масштаб корреляции реверберации существенно зависит от времени запаздывания.</p> <p>Экспериментально с использованием широкополосного гидроакустического излучателя оригинальной конструкции показана возможность реконструкции структуры донных слоев, залегающих на небольших глубинах, на основе метода когерентного сейсмоакустического зондирования.</p>
15	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>Для модульных нейронных сетей, в которых между модулями со сложной топологией установлены редкие связи, а каждый узел демонстрирует стохастическую спайковую активность, найдено существование синфазного и противофазного синхронных режимов усредненной активности и показана возможность регуляризации и управления сетевой динамикой за счет изменения межмодульного запаздывания синхронными режимами.</p> <p>Разработана и исследована оптоэлектронная модель синаптически связанных нейронных генераторов, взаимодействующих через оптоволоконный канал связи. Модель имитирует синаптическую передачу импульсных сигналов между нейронами мозга. Установлено, что оптоволоконный канал связи может обеспечить вынужденную синхронизацию.</p> <p>На основе численного моделирования выяснены качественные особенности конвективных структур в охлаждаемом сверху слое воды, покрытом пленкой</p>

		<p>поверхностно-активного вещества и содержащем горизонтальное сдвиговое течение. Показано, что при толщине слоя больше 2 см на температурных изображениях поверхности наблюдается искажение упорядоченных ячеек, а увеличение скорости течения приводит к появлению полосчатых структур с цепочками завихрений.</p>
16	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>С использованием разработанной нами ранее системы флуоресцентной визуализации мелких лабораторных животных показаны преимущества просветной сканирующей конфигурации по сравнению с традиционно используемой конфигурацией "на отражение". Эксперименты на модельных животных показали высокую эффективность проекционного метода исследования.</p> <p>Показаны возможности ОКТ в диагностике воспалительных заболеваний органов ЛОР. Показано, что ОКТ может применяться для дифференциальной диагностики ринитов, а также мониторинга состояния биотканей в процессе криотерапии.</p> <p>Разработана новая методика исследования вязко-упругих свойств биологической ткани методом ультразвуковой эластографии с использованием радиационной силы акустической волны, позволяющая существенно упростить процедуру проведения измерений. Разработана установка для измерения радиационной силы, создаваемой ультразвуковым преобразователем, и ее изменения относительно его оси излучения.</p> <p>В экспериментах на бицепсе и предплечье человека показана возможность определения набора линейных и нелинейных модулей упругости тканей методом квазистатического вдавливания в них цилиндрического индентора с плоским основанием. Обнаружена более высокая чувствительность нелинейных модулей к состоянию тканей и показана возможность различения состояний ткани по набору её модулей упругости</p> <p>Разработана конструкция и основные узлы акустотермографа, сочетающего активный сканирующий канал, предназначенный для визуализации внутренних структур организма в режиме эхолокации, и акустотермографический канал предназначенный для измерения внутренней температуры в выбранном участке ткани на основе приема собственного акустического излучения</p> <p>Проведены испытания технологии высыхающей капли (ТВК) как инструмента для выявления носительства особо опасных инфекций крупного рогатого скота (КРС) на основе анализа биологических жидкостей – цельной крови, сыворотки крови и молока. Показано, что все использованные биожидкости информативны в отношении выявления инфицированных животных. Найдены признаки, позволяющие отличать вирусоносителей лейкоза от бактерионосителей туберкулеза.</p>

17	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>Определены точные границы неадиабатической поправки для молекулярного иона H_3^+. Построена поверхность потенциальной энергии с учетом адиабатической, релятивистской и вновь рассчитанной электродинамической поправки. На её основе рассчитаны колебательно-вращательные уровни энергии молекулярного иона H_3^+ для колебательных уровней до 17000 см^{-1}.</p> <p>Рассчитаны адиабатическая, релятивистская и электродинамическая поправки для изоэлектронного молекуле воды иона H_2F^+. Рассчитанные уровни энергии имеют на порядок лучшую точность по сравнению с предыдущими квантово-химическими расчетами других авторов. Проведены высокоточные расчёты колебательных уровней энергии молекул NH_2 и H_2O^+.</p> <p>Исследованы физические механизмы, обуславливающие отклонение формы линии вращательного спектра молекулы CO, записанные в диапазоне частот от 115 до 806 ГГц ($J=0-6$) от традиционного контура Фойгта. Получены значения коэффициентов столкновительного уширения и параметров обужения линий, оценены пределы возможных сдвигов линий давлением.</p> <p>На основе экспериментальных данных о континуальном поглощении в чистом водяном паре, полученных с помощью резонаторного спектрометра в диапазоне частот 190-260 ГГц получены количественные данные об относительных вкладах различных парных взаимодействий молекул во второй вириальный коэффициент уравнения состояния водяного пара.</p> <p>Сделана оценка доли континуума мм диапазона, связанного с дополнительным дипольным моментом, возникающим в результате столкновений молекул воды. Показано, что поглощение, связанное с дополнительным дипольным моментом в результате столкновений молекул воды в мм диапазоне пренебрежимо мало по сравнению с наблюдаемым континуумом.</p> <p>Проведены исследования точности измерения частот спектральных линий молекул в мм и субмм диапазонах с помощью субдоплеровского спектрометра на основе провала Лэмба, достигнута абсолютная точность измерений $\pm 400 \text{ Гц}$.</p> <p>Проведены измерения вращательных спектров сверхтонкой структуры изотопологов молекулы цианоацетилена HC_3N в диапазоне 45-510 ГГц, а также измерения спектров сверхтонкой структуры молекулы метанола CH_3OH и CH_3OD. Измерения выполнены для задач радиоастрономии и астрофизики.</p>
18	<p>12. Современные проблемы радиофизики</p>	<p>Доработан и адаптирован для расчета конечно-элементный метод моделирования акустических задач рассеяния звуковых сигналов на упругих телах с учетом их</p>

	<p>и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>резонансных свойств. Разработанный метод позволяет рассчитывать уровни бистатической силы цели (СЦ) при отражении узкополосных сигналов и уровни эффективной СЦ при отражении широкополосных сигналов с учетом декорреляции.</p> <p>Продемонстрирована возможность описания неоднородных упругих оболочек с длиной порядка 20 длин волн в среде с помощью конечно-элементных моделей, которые позволяют выполнить расчет бистатической СЦ с точностью не хуже 3 дБ. Достижение указанной точности подтверждено сравнением расчетов с результатами экспериментов.</p> <p>Разработана методика измерения бистатической СЦ рассеяния вытянутых тел в горизонтальной плоскости. При наличии высокого уровня реверберационных помех и малости расстояния между рассеивателем и приемной системой предложено использовать непрерывный режим работы излучателя подсветки, а выделения рассеянного поля на фоне мощной подсветки производить за счет движения рассеивателя и доплеровской фильтрации принимаемого сигнала.</p>
19	<p>12. Современные проблемы радиофизики и акустики, в том числе фундаментальные основы радиофизических и акустических методов связи, локации и диагностики, изучение нелинейных волновых явлений.</p>	<p>Проведено численное моделирование и разработаны эскизные проекты новых пьезокерамических низкочастотных гидроакустических излучателей продольно-поперечного типа, работающих в частотных диапазонах 100 – 300 Гц и 500 – 800 Гц.</p> <p>Проведены исследования, направленные на разработку согласованных со средой робастных методов оценки координат источника звука в гидроакустическом волноводе. Предложенные методы апробированы на данных акустических измерений, выполненных в 2013 и 2014 гг. на шельфе Черного моря и на Ладожском полигоне с использованием протяженных приемных и излучающих антенных решеток.</p> <p>Выполнен теоретический анализ поверхностных волн Лява, бегущих по структуре слой-полупространство, имеющей вертикальную границу раздела сред в области полупространства, покрытого верхним слоем. Полученные решения могут использоваться при разработке систем инженерной сейсморазведки.</p> <p>Предложен метод дистанционного зондирования геоакустических параметров слоистого океанского дна. Выполнен численный эксперимент по восстановлению параметров модельного волновода.</p>
20	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника,</p>	<p>Разработан гиротрон на высокой циклотронной гармонике с трехсекционным резонатором, в котором волна является квазикритической только в начальной и конечной секциях, где и имеет место наиболее интенсивное электронно-волновое взаимодействие. При практически той же омической добротности дифракционная добротность системы оказывается существенно ниже, что значительно повышает КПД прибора.</p> <p>Экспериментально показана возможность селективной генерации на третьей</p>

	<p>релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц.</p>	<p>циклотронной гармонике в гиротроне с резонатором специального профиля. При этом уровень тепловых потерь в резонаторе оказывается значительно меньше, чем в терагерцовом гиротроне с традиционным резонатором.</p> <p>Реализована двухпучковая схема МСЭ-генератора с двумерной распределенной обратной связью (РОС). В макете планарного 75-ГГц МСЭ с двумерной РОС устойчивый режим узкополосной одномодовой генерации реализован при поперечном размере системы $\sim 50 \times 2.5$ длин волн, что по степени сверхразмерности сопоставимо с электродинамическими системами современных мегаваттных гиротронов.</p> <p>Проведено теоретическое исследование эффектов, возникающих при резонансном циклотронном взаимодействии коротких микроволновых импульсов и стационарных сигналов с первоначально прямолинейным электронным потоком в области нормального эффекта Доплера. Сделанные оценки показали возможность использования исследованного эффекта для модуляции излучения коротковолновых гиротронов.</p>
21	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника, релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц.</p>	<p>Предложена и теоретически исследована новая схема генерации когерентного импульсного излучения в предельно коротковолновых диапазонах, которая основана на использовании смещающегося пятна накачки, отраженного от дифракционной решетки чирпованного по частоте интенсивного лазерного излучения.</p>
22	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника, релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц.</p>	<p>Разработаны методы анализа и синтеза сверхразмерных трехмерных электродинамических систем мегаваттных гиротронов.</p> <p>Разработаны технологии изготовления волноводных и зеркальных компонентов электродинамических систем.</p> <p>Изготовлен и успешно испытан макет гиротрона с частотой 170 ГГц и мощностью до 2 МВт, оснащенного новой перспективной электродинамической системой, обеспечивающей трансформацию рабочих мод гиротрона обоих направлений вращения в параксиальный волновой пучок.</p> <p>Разработаны методы измерения и анализа выходных волновых пучков гиротронов.</p>

		<p>Рассчитаны и изготовлены блоки согласующей оптики и гофрированные волноводы для использования в полномасштабных испытательных стендах гиротронов для установок УТС.</p>
23	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника, релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц.</p>	<p>Разработаны и исследованы в экспериментах мощные широкополосные усилители на основе гиро-ЛБВ с уникальными параметрами. Для импульсной гиро-ЛБВ получена выходная мощность до 160 кВт на частоте около 34 ГГц при ширине полосы более 7% и коэффициенте усиления около 20 дБ. Для непрерывной гиро-ЛБВ получена выходная мощность около 8 кВт при мгновенной ширине полосы усиления 2.6 ГГц.</p> <p>Выполнен теоретический анализ возможности реализации гиро-ЛБВ на частоте 95 ГГц с выходными параметрами, привлекательными для радиолокации высокого разрешения. В результате 3-мерного компьютерного моделирования подтверждена работоспособность данного гиро-усилителя на третьей гармонике циклотронной частоты.</p>
24	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника, релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц. (003502014-0024)</p>	<p>Разработан мощный компактный источник питания импульсного соленоида, позволяющий формировать в рабочей области СВЧ прибора магнитные поля величиной десятки Тл. Энергетическая часть источника питания выполнена на элементной базе российского производства. Конструкция источника питания обеспечивает удобство и безопасность его эксплуатации.</p> <p>Экспериментально исследован импульсный гиротрон с рекордными значениями мощности (200 кВт) и эффективности (выше 20%) на частоте 670 ГГц. На основании экспериментальных данных проведена оптимизация квазиоптического тракта транспортировки и ввода СВЧ мощности в плазменную камеру. Получен локализованный разряд в струе газа и начато измерение его характеристик.</p> <p>Выполнено конструирование и изготовление гиротрона с расчетной частотой 330 ГГц и мощностью 1 МВт на базе импульсного соленоида с азотным охлаждением.</p> <p>Разработан прототип непрерывного гиротрона для спектроскопических исследований, работающий на серии мод на первой и второй гармониках гирочастоты с частотами от 250 до 500 ГГц. При возбуждении последовательности мод получена генерация на уровне десятков Ватт с возможностью плавной перестройки частоты в пределах полосы генерации одной моды до 650 МГц.</p>
25	<p>13. Фундаментальные проблемы физической электроники, в том числе разработка методов генерации, приема и преобразования электромагнитных волн</p>	<p>Для разработки мощных релятивистских ЛОВ исследована взаимная связь электронных и циклотронных волн тонкостенного трубчатого электронного пучка и влияние на эффективность переизлучения ряда факторов в том числе - неоднородность электродинамической системы и силовых линий фокусирующего магнитного поля,</p>

	с помощью твердотельных и вакуумных устройств, акустоэлектроника, релятивистская СВЧ-электроника больших мощностей, физика мощных пучков заряженных частиц.	встречных электронных пучков и т.д. Обобщена качественная теория стационарных состояний тонкостенных сильнозамагниченных электронных пучков в каналах транспортировки на случай произвольного поперечного сечения. Теория позволяет оценивать влияние перекосов и несоосностей электронных пучков с каналами транспортировки на режимы генерации высокочастотного излучения мощных релятивистских ЛОВ.
26	14. Современные проблемы физики плазмы, включая физику высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза, физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы ее применения в технологических процессах.	Методами численного моделирования определены спектральные характеристики электромагнитного шума, создаваемого мультипакторным разрядом в радиотехнических системах, в зависимости от частоты и геометрических параметров используемых линий передачи. Развиты методы приближенного расчета порогов мультипакторного разряда между металлическими электродами, поверхности которых не параллельны между собой. Корректность метода подтверждена прямым численным моделированием разряда, возникающего между электродами спиральной антенны. Полученные результаты можно использовать для повышения электрической прочности систем спутниковой связи. На основе нелинейного режима циклотронной неустойчивости разработана теоретическая модель, позволяющая воспроизводить различные временные масштабы квазипериодических всплесков электромагнитного излучения и высыпавшихся энергичных электронов в лабораторной ловушке, заполненной неравновесной плазмой ЭЦР разряда. Проведены теоретические исследования процессов генерации волн в двухкомпонентной неравновесной плазме. Получены аналитические оценки инкрементов неустойчивостей двух главных электромагнитных мод: медленной и быстрой необыкновенных волн, возбуждаемых за счет анизотропии кинетической энергии горячих электронов и распространяющейся поперек магнитного поля.
27	14. Современные проблемы физики плазмы, включая физику высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза, физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы ее применения в технологических процессах.	На основе развитой теории линейного взаимодействия электромагнитных волн в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме найдено непротиворечивое объяснение низкой эффективности конверсии волновых пучков, систематически наблюдающейся во всех экспериментах по электронно-циклотронному нагреву плотной за критической плазмы в токамаках и стеллараторах, использующих линейную конверсию внешнего электромагнитного излучения в электростатические плазменные волны. В ходе численного моделирования электрон-ионных столкновений в сильных полях в рамках уравнения Шредингера было показано хорошее совпадение энергетических характеристик столкновений в квантовом и классическом пределах. Это

		свидетельствует о правомерности классического описания даже в случае, когда характерный нелинейный масштаб задачи рассеяния сравним с длиной волны де Бройля электрона.
28	14. Современные проблемы физики плазмы, включая физику высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза, физику астрофизической плазмы, физику низкотемпературной плазмы и основы ее применения в технологических процессах.	Экспериментально исследована динамика формирования резонансных конусов электромагнитных источников в магнитоактивной плазме в свистовом и верхнегибридном диапазонах частот при быстром включении высокочастотного сигнала, подводимого к излучающей антенне. Показано, что вначале в диаграмме направленности антенны формируются широкие максимумы излучения в нерезонансных направлениях, которые в дальнейшем обужаются, а их направление приближается к резонансному.
29	16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач. (0035-2014-0029)	<p>На основе точных решений статических уравнений Власова-Максвелла и аналитического расчёта синхротронного излучения, создаваемого оптически тонкими самосогласованными токовыми структурами в релятивистской бесстолкновительной плазме, показано, что его спектр в зависимости от угла наблюдения может иметь различное число степенных компонент, доминирующих в определенных частотных интервалах.</p> <p>Установлено, что частотно-угловой спектр синхротронного излучения, выходящего из самосогласованных токовых структур (без внешнего магнитного поля) в релятивистской бесстолкновительной плазме с полистепенным распределением частиц, может содержать изломы, экстремумы и другие особенности, отсутствующие в излучении ансамбля тех же частиц, помещенных во внешнее магнитное поле.</p> <p>Предложен механизм субсекундных квазипериодических пульсаций терагерцового излучения солнечных вспышек, основанный на представлении вспышечной арки в виде эквивалентного электрического контура. Механизм объясняет период осцилляций, их высокую добротность, $Q \geq 10^3$, синфазность пульсаций на разных частотах и наблюдаемые зависимости частоты осцилляций от потока терагерцового излучения.</p> <p>Решена проблема происхождения поляризации солнечного радиоизлучения с тонкой структурой спектра типа зебра. Показано, что заметная поляризация наблюдаемого на Земле радиоизлучения может возникнуть, только в результате рассеяния плазменных волн ионами или слияния этих волн с низкочастотными волнами в электромагнитное излучение на частоте основного тона.</p> <p>На основе численном решении уравнений Максвелла построена трёхмерная модель полей и токов, возникающих в плоской проводящей атмосфере в результате одиночного</p>

		<p>электрического разряда, позволяющая в рамках единого подхода описать электромагнитный импульс, соответствующий быстрой компоненте разряда, и последующую квазистатическую релаксацию возмущения пространственного заряда.</p> <p>Проанализирована зависимость характеристик электромагнитного импульса и последующего всплеска квазистатического электрического поля от пространственно-временных параметров разрядного тока, возмущения электрической проводимости внутри грозового облака и расстояния до молниевых разрядов.</p> <p>Из сопоставления результатов расчётов с данными наблюдений электромагнитного и квазистатического полей определен ряд важных параметров компонент разрядного тока и оценен вклад импульсных тропосферных источников в формирование глобальной атмосферно-ионосферной токовой системы.</p>
30	<p>16. Современные проблемы астрономии, астрофизики и исследования космического пространства, в том числе происхождение, строение и эволюция Вселенной, природа темной материи и темной энергии, исследование Луны и планет, Солнца и солнечно-земных связей, исследование экзопланет и поиски внеземных цивилизаций, развитие методов и аппаратуры внеатмосферной астрономии и исследований космоса, координатно-временное обеспечение фундаментальных исследований и практических задач.</p>	<p>Получены новые наблюдательные данные о межзвездных облаках и формирующихся в них протозвездных объектах большой массы, сделан ряд оценок относительно физических характеристик, динамики и химического состава газовой среды в областях звездообразования.</p> <p>Разработаны программы на основе языка Python и пакета MIRIAD для комбинирования данных наблюдений на интерферометре и на одиночной антенне. Комбинирование производится путем преобразования карт, полученных на одиночной антенне, в функции видности и их последующей обработки совместно с данными интерферометра.</p> <p>На основе языка Python разработаны программы для аппроксимации многокомпонентных спектров, таких, например, как спектр $N_2H^+(3-2)$, состоящий из 38 компонент сверхтонкой структуры.</p> <p>Проведены исследования распределение излучения в молекулярных линиях с высоким угловым разрешением области образования массивных звезд S255IR на основе наблюдений на 30-м радиотелескопе Института миллиметровой радиоастрономии в Испании и данных наблюдений на интерферометре SMA.</p> <p>Проведен анализ данных молекулярных наблюдений в туманности NGC7538 (в сочетании с данными ИК наблюдений). Получены оценки масс протозвездных конденсаций, которые составляют несколько сотен масс Солнца. Показано, что эти конденсации находятся в вириальном равновесии.</p> <p>На радиотелескопе APEX в Чили проведен поиск линии HeH^+, считается важным зондом ранней Вселенной, в спектре далекого квазара ($z = 4.6$). При частоте покоя перехода около 2 ТГц из-за красного смещения линия попадает в диапазон 350 ГГц. Ранее</p>

		<p>нами была зарегистрирована возможная линия этой молекулы в другом квазаре на $z = 6.4$.</p> <p>С целью выбора места для создания миллиметровой обсерватории проведены исследования астроклимата на миллиметровых волнах в различных регионах. В частности, проводились регулярные измерения прозрачности атмосферы на северном Кавказе. Построены статистические распределения величины атмосферного поглощения в разные сезоны.</p> <p>В области исследования возможных вариаций фундаментальных констант проведены первые измерения торсионно-вращательных переходов в линиях метанола при помощи радиотелескопа IRAM-30m в темном молекулярном облаке L1498.</p>
IV. "Информатика и информационные технологии»		
31	36. Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов. (0035-2014-0031)	Разработаны и исследованы алгоритмы компенсации монохроматического поля в стационарных условиях с использованием многоэлементных приемных и излучающих систем, расположенных на одной поверхности. Апробация алгоритмов проходила в рамках экспедиции на оз. Ладожское.
VIII. "Науки о Земле»		
32	75. Мировой океан – физические, химические и биологические процессы, геология, геодинамика и минеральные ресурсы океанской литосферы и континентальных окраин; роль океана в формировании климата Земли, современные климатические и антропогенные изменения океанских природных систем.	<p>На основе прямого численного моделирования трансформации внутренних уединенных волн на донном уступе в двухслойной жидкости дана классификация режимов диссипации их энергии.</p> <p>Определен универсальный параметр, равный отношению расстояния между слоем скачка плотности и положением дна после уступа к амплитуде падающей волны. В порядке убывания универсального параметра выделены пять режимов диссипации энергии волн. Показано, что потери волновой энергии не превышают 50% от первоначальной энергии падающей волны, достигая максимума в режиме образования вихрей.</p> <p>Предложен новый механизм возникновения «волн-убийц» на встречных струйных течениях в результате нелинейной самомодуляции захваченных волн. Построена нелинейная модовая теория для волн на встречных струйных течениях, использующая приближенное разделение переменных для двумерной моды. Получены аналитические формулы для ряда "ключевых" нелинейных решений, включая локализованные трехмерные волновые пакеты на глубокой.</p> <p>Выполнена реконструкция инструментально измеренных событий anomalously высоких волн («волн-убийц») с использованием численного расчета уравнений огибающей для эволюции в пространстве. Впервые продемонстрирована адекватность</p>

		<p>такой реконструкции (до времен менее или порядка 10 мин) посредством расчета исходных уравнений гидродинамики, где начальные условия (до момента экстремального события) заданы по результатам реконструкции.</p> <p>Разработан и апробирован в натуральных условиях метод определения характеристик ветрового волнения и некоторых параметров подповерхностных процессов с помощью судового навигационного радиолокатора с цифровой регистрацией данных. Зондирование осуществляется на горизонтальной поляризации излучения под скользящими углами.</p> <p>Разработана высокочувствительная нелинейно-акустическая методика для наблюдения макроскопических проявлений наномасштабных медленных спонтанных процессов в гранулированной среде. Наблюдения объяснены бистабильностью находящихся на поверхностях гранул микроконтактов, для переключения которых между положениями равновесия достаточно энергии тепловых флуктуаций.</p>
33	77. Физические и химические процессы в атмосфере, включая ионосферу и магнитосферу Земли, криосфере и на поверхности Земли, механизмы формирования и современные изменения климата, ландшафтов, оледенения и многолетнемерзлых грунтов.	<p>Успешно испытан лабораторный образец микроволнового спектрометра для дистанционного контроля термической структуры тропосферы. Модернизированы и испытаны лабораторные образцы мобильных радиометрических комплексов для термического и озонметрического зондирования средней атмосферы.</p> <p>Разработан и реализован программно алгоритм построения нелинейных климатических мод путем анализа пространственно распределенных временных рядов различных климатических характеристик.</p> <p>На основе использования современной трехмерной химической-транспортной модели выполнены и впервые одновременно сопоставлены с соответствующими данными спутниковых измерений расчеты тропосферного содержания оксида углерода (CO) и аэрозоля над территориями Сибири и российского Дальнего Востока с учетом их источников, определяемых растительными пожарами..</p>
34	80 Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика: инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии.	<p>Разработаны модели генераторов глобальной электрической цепи: конвективного генератора, облаков с электрической структурой, грозовых разрядов. Получены и проанализированы результаты экспериментов по приему и регистрации электромагнитных полей, тока и радиоизлучения грозовых разрядов на базе многофункциональных экспериментальных комплексов. Разработана методика мониторинга конвективных атмосферных электрических явлений.</p>

