

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

1. Создан и испытан *Прототип гиротронного комплекса для ИТЭР*, включающей СВЧ генератор - гиротрон (с параметрами - частота 170 ГГц, мощность 1 МВт, длительность импульса 1000 сек, КПД 55%), сверхпроводящий магнит, вспомогательные магниты, источники питания, систему охлаждения, систему управления и вспомогательные системы. Успешные испытания комиссией Международной организации ИТЭР открыли путь серийному производству российских гиротронов для термоядерного реактора ИТЭР.

Авторы: Г.Г.Денисов, А.Г.Еремеев, А.Г.Литвак, В.И.Малыгин, Е.В.Соколов, А.В.Чирков, В.Г.Усов (ИПФ РАН), Совместно с ЧУ «Проектный центр ИТЭР», Москва; ЗАО НПП «ГИКОМ», Нижний Новгород; КЯТК, НИЦ «Курчатовский институт, Москва; ЗАО РТСофт, Москва.

2. Создан принципиально новый тип плазмохимического реактора для получения легированных бором слоев в CVD алмазе. В реакторе получены сильно легированные бором слои алмаза толщиной 2-3 нм, демонстрирующие рекордную холловскую подвижность дырок. Разработанный реактор позволяет создавать предложенный и рассчитанный новый профиль дельта-легированного проводящего канала полевого транзистора, в котором распределение концентрации бора имеет два близко расположенных максимума (на расстоянии порядка 3 нм). Показано, что такой профиль легирования обеспечивает повышение подвижности носителей на 60% по сравнению с профилем, который имеет один максимум.

Авторы: А.Л.Вихарев, А.М.Горбачёв, М.А.Лобаев, А.Б.Мучников, В.А.Кукушкин, В.А.Исаев, Д.Б.Радищев, В.В.Чернов, С.А.Богданов, Д.Е.Батлер (ИПФ РАН), М.Н.Дроздов (ИФМ РАН).

3. Предложена схема нового компактного нейтронного генератора на основе сильноточного электронно-циклотронного резонансного ионного источника с квазигазодинамическим режимом удержания плазмы. В таком источнике экспериментально продемонстрирована возможность формирования пучков ионов дейтерия с плотностью тока до 800 mA/cm^2 , что позволяет, используя схему D-D генератора с ускоряющим напряжением 100 кВ, получать потоки нейтронов с рекордной для компактных систем плотностью на уровне $10^{11} \text{ c}^{-1}\text{cm}^{-2}$. Такие генераторы смогут заменить ядерные реакторы и ускорители в качестве нейтронных источников для нейтронографии, систем безопасности, медицины, обогащения редких изотопов.

Авторы: В.А. Скалыга, И.В. Изотов, С.В. Голубев, А.В. Сидоров, С.В. Разин.

4. На основе нового подхода к анализу пространственно-распределенных данных, примененного к спутниковым измерениям поверхностной температуры мирового океана с ноября 1981г. по настоящее время, выделено три статистически значимые нелинейные динамические моды климатической изменчивости. Первая полностью описывает годовую изменчивость климатической системы. Вторая ответственна за Эль-Ниньо – Южное колебание; кроме того, она, совместно с третьей модой, объясняет значительную часть тихоокеанской и атлантической динамики. Продемонстрирована связь найденных мод с декадной изменчивостью климата: подтверждено наличие климатического сдвига в конце 20-го века, приведшего к холодной (отрицательной) фазе Тихоокеанского декадного колебания, во многом определяющей наблюдаемое замедление потепления атмосферы.

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

5. Получено точное решение квантовой задачи о бозе-эйнштейновской конденсации и установлена неэквивалентность описания конденсации в рамках канонического и большого канонического ансамблей для случая идеального газа в мезоскопических ловушках с произвольными параметрами во всей критической области. Доказано существование универсальных автомодельных критических функций, описывающих флуктуации и термодинамические свойства газа в критической области, в том числе форму лямбда-особенности теплоёмкости. Они найдены аналитически и, как оказалось, существенно зависят от геометрии удерживающего газ потенциала и граничных условий даже в термодинамическом пределе макроскопически большой системы.

Авторы: Кочаровский В.В., Кочаровский Вл.В., Тарасов С.В. (ИПФ РАН)

6. Впервые удалось пронаблюдать и зарегистрировать детальные ИК изображения бинаправленных лидеров - соединенных плазменным каналом и распространяющихся в противоположных направлениях положительного и отрицательного лидеров, которые самостоятельно рождаются в облаке положительно заряженного водного аэрозоля. Это открывает возможность лабораторного исследования внутриоблачных молний и начальных, внутриоблачных, этапов развития молниевых разрядов облако-земля с целью решения фундаментальной проблемы инициации молнии.

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

7. Предложен и апробирован в натурном эксперименте метод фокусировки поля излучающей вертикальной антенны в заданный интервал глубин подводного звукового канала на заданной дистанции. Амплитудно-фазовое распределение сигналов на элементах излучающей антенны находится путем решения вариационной задачи о максимизации отношения средних интенсивностей звукового поля внутри и вне выбранного участка сечения на выбранной дальности. Введение дополнительного ограничения на диапазон допустимых углов скольжения возбуждаемых волн позволило получить решение в виде пучка, распространяющегося без отражений от дна, что важно для решения задачи фокусировки поля в отсутствие информации о параметрах грунта. Натурные испытания продемонстрировали реализацию метода в мелком море на дальностях до пяти глубин места установки излучающей антенны с заполненной апертурой и волновых размерах антенны от 10 до 20.

Авторы: В.В. Артельный, П.В. Артельный, А.Л. Вировлянский, А.Ю. Казарова, П.И. Коротин

8. Разработан и впервые реализован в условиях клиники неинвазивный метод диагностики меланомы и других новообразований кожи с помощью резонансной ближнепольной СВЧ-томографии. В основе метода лежит эффект изменения диэлектрической проницаемости и проводимости биологических тканей в области патологического процесса. Продемонстрирована возможность изучения глубинной структуры кожи. Установлены различия интегральной диэлектрической проницаемости тканей кожи в области пигментного невуса, меланомы и контрольной группы здоровой кожи.

Авторы: Д.В. Янин, А.Г. Галка, А.В. Костров, А.И. Смирнов, А.В. Стриковский.

9. Для решения проблемы робастного картирования деформаций в оптической когерентной томографии (ОКТ) предложен новый гибридный подход, сочетающий анализ фазовых вариаций, обычно применяемых на субволновых масштабах, и некорреляционное отслеживание смещений рассеивателей на масштабах больших и длины волны, и размера пикселя. Это значительно увеличивает диапазон допустимых деформаций в сравнении со стандартными подходами. В результате обеспечивается беспрецедентно высокая помехоустойчивость, критически важная для работоспособности эластографического картирования в наиболее практически интересном режиме ОКТ-обследования живой биоткани, естественные движения которой делают невозможным подавление помех за счет усреднения. Возможности метода подтверждены детальным численным моделированием и экспериментами с использованием фантомных образцов и реальных биотканей.

Авторы: В.Ю. Зайцев, Л.А. Матвеев, А.Л. Матвеев, В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов (ИПФ РАН), A.Vitkin (University of Toronto, Canada).

10. Разработан лазерный усилитель на основе новой геометрии активного элемента – тонкий стержень конической формы, выполненный из кристалла Yb:YAG, обеспечивающий волноводное распространение диодной накачки («single-crystal fiber»). Экспериментально достигнут коэффициент усиления по слабому сигналу $K=6$ при мощности накачки 160 Вт, что около 2 раз больше, чем в стержне ранее известной цилиндрической формы. Экспериментально показано, что в разработанном усилителе на тонком стержне тепловые эффекты практически не влияют на качество и поляризацию усиливаемого лазерного пучка при мощности накачки до 200 Вт.

Авторы: Кузнецов И.И., Мухин И.Б., Вадимова О.Л., Палашов О.В. (ИПФ РАН), К.-И. Уэда (University of Electro-Communications, Japan).

11. В 3 раза повышена точность определения частот вращательного спектра молекулы OCS. В результате анализа измерений, выполненных на созданном в ИПФ РАН субдоплеровском спектрометре, для всех линий ниже 520 ГГц достигнута относительная точность лучше $3 \cdot 10^{-10}$, что делает спектр OCS лучшим вторичным эталоном частот при высокоточных лабораторных и радиоастрономических измерениях.

Авторы: Г.Ю. Голубятников, С.П. Белов, А.В. Лапинов.

12. Создан и введен в эксплуатацию не имеющий мировых аналогов мобильный, полностью автоматизированный наземный спектрорадиометрический комплекс с центральной частотой 110.836 ГГц, предназначенный для непрерывного мониторинга структуры озонного слоя Земли. Отличительные особенности комплекса: широкая (0.8 ГГц) полоса приема и анализа, высокое (60 КГц) спектральное разрешение, калибровка измеряемого сигнала по электронно управляемому внутреннему эталону, малое энергопотребление и вес. Комплекс открывает новые возможности для исследования быстропротекающих процессов в средней атмосфере Земли.

Авторы: А.А. Красильников, М.Ю. Куликов, Л.М. Кукин, В.Г. Рыскин, Л.И. Федосеев, А.А. Швецов, М.В. Беликович, Д.Н. Мухин, О.С. Большаков, А.М. Фейгин.

13. Разработан метод преобразования мёссбауэровского гамма излучения радиоактивного источника Co-57 в периодическую последовательность близких к спектрально-ограниченному пределу ультракоротких импульсов пикосекундной длительности с пиковой интенсивностью, почти на порядок превышающей интенсивность излучения источника в направлении наблюдения. Метод является развитием наших недавних экспериментов, в которых впервые мёссбауэровское гамма-излучение было

преобразовано в импульсы наносекундной длительности, он позволяет на три порядка сократить длительность импульсов и на порядок повысить их интенсивность.

Авторы: Е.В.Радионичев, В.А.Антонов (ИПФ РАН), Ф.Г.Вагизов (Казанский федеральный университет), Р.Н.Шахмуратов (КФТИ КазНЦ РАН), О.А.Кочаровская (Texas A&M University, USA).

14. Разработан метод автоматизированной корректировки параметров конечно-элементных моделей, базирующийся на управлении их спектральными характеристиками на основе поиска оптимального распределения поправок к жесткости конечно-элементной сетки. Метод не имеет аналогов в программных пакетах, используемых для численного моделирования динамических характеристик упругих систем. Верификация осуществляется исходя из измеренных амплитудно-частотных зависимостей импедансных характеристик объекта. Метод, интегрированный с технологиями суперэлементного моделирования, неконформной сеточной дискретизации и специального представления внешней безграничной среды, позволяет достигнуть низкой погрешности (2...3 дБ) прогнозирования акустических характеристик механоакустических систем произвольной сложности для числа степеней свободы в несколько миллионов при волновых размерах объекта до нескольких десятков. Итерационный процесс устойчив для исходного расхождения собственных частот с расчетными значениями до нескольких десятков процентов. Результат корректировки жесткости системы за счет вариации модуля Юнга демонстрирует учет узлов механических или сварных соединений с заранее неизвестными параметрами.

Авторы: А.С.Суворов, М.Б.Салин, П.В.Артельный, П.И.Коротин, И.А.Вьюшкина, Е.М. Соков.

15. Показано, что импульсы с кубической спектральной фазой после самомодуляции в нелинейной среде могут быть скомпрессированы с помощью дисперсионных зеркал, вносящих только квадратичную фазу, столь же эффективно, как и самомодулированные Фурье-ограниченные импульсы: примерно в $(1+B/2)$ раз, где B - интеграл распада. Экспериментально реализована компрессия мощных фемтосекундных импульсов в 2.3 раза. Обнаружен эффект качественного влияния кубической спектральной фазы на спектр самомодулированного импульса: в спектре появляются узкие пики, а уширение спектра существенно меньше, чем у Фурье-ограниченного импульса.

Авторы: Гинзбург В.Н., Кочетков А.А., Яковлев И.В., Миронов С.Ю., Шайкин А.А., Хазанов Е.А.

16. Предложен метод, позволяющий рассчитать интенсивность молекулярных линий с погрешностью менее 0.3%, что в применении к спектральным линиям углекислого газа означает повышение точности на порядок. Показано, что применение глобальных квантово химических расчетов из первых принципов, позволяет предсказывать интенсивности линий всех атмосферно значимых колебательно-вращательных полос любого изотополога CO_2 с указанной точностью. Точность подтверждается согласием с уникальными лабораторными измерениями в (30013)-(00001) полосе CO_2 в диапазоне 1.6 мкм, а также двумя независимыми лабораторными измерениями линий других полос CO_2 , проведенными в Германии и США после публикации результатов. Результат важен для оценки антропогенного парникового эффекта и соответствующих климатических изменений по данным дистанционного зондирования Земли.

Авторы: Полянский О.Л., Зобов Н.Ф. (ИПФ РАН), Lodi L., Tennyson J. (Университетский колледж Лондона, Великобритания); Bielska K., Ghysels M. (Университет Коперника, Польша); J.T. Hodges (NIST, США).

17. Для автоколебательных систем с запаздывающей обратной связью импульсного типа обнаружен новый механизм потери устойчивости регулярных колебаний. Бифуркация сопровождается возникновением сложных колебаний, характеризующихся неравными межимпульсными интервалами, – так называемых «дрожащих» режимов. Теоретически и экспериментально показано существование устойчивых дрожащих режимов с чередующимися длинными и короткими интервалами, находящихся во взаимно-однозначном соответствии с произвольными периодическими бинарными последовательностями. Продемонстрирована высокая мультистабильность дрожащих режимов, число которых возрастает экспоненциально с ростом величины запаздывания.

Авторы: Клиньшов В.В., Щапин Д.С., Некоркин В.И. (ИПФ РАН), Lücken L., Yanchuk S. (Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics, Berlin, Germany).

18. Показана возможность формирования периодической последовательности ультракоротких импульсов в электронных СВЧ-генераторах с просветляющимся поглотителем в цепи обратной связи. В качестве поглотителя может быть использована дополнительная секция, в которой имеет место резонансное циклотронное взаимодействие излучения с первоначально прямолинейным электронным пучком. В численных расчетах продемонстрировано, что пиковая мощность генерируемых импульсов существенно превосходит как мощность стационарной генерации, так и, в ряде случаев, мощность электронного потока.

Авторы: Н.С.Гинзбург, Г.Г.Денисов, М.Н.Вилков, И.В.Зотова, А.С.Сергеев.

19. Впервые показано, что кулоновское взаимодействие между отрываемым электроном и родительским ионом играет важную роль в процессе генерации терагерцового излучения при оптическом пробое газов фемтосекундными лазерными импульсами, в значительной степени определяя оптимальные условия оптико-терагерцовой конверсии. Экспериментально продемонстрирована сильная зависимость оптимального фазового сдвига между компонентами лазерного поля на основной и удвоенной частотах от интенсивности лазерного излучения. Полученная зависимость хорошо объясняется предложенной теоретической моделью, учитывающей кулоновские эффекты и включающей в себя ранее известные механизмы генерации терагерцового излучения как предельные случаи.

Авторы: Александров Л.Н., Емелин М.Ю., Рябикин М.Ю., Иляков И.Е., Шишкин Б.В.

20. Впервые осуществлено прямое численное моделирование турбулентного устойчиво-стратифицированного воздушного потока над взволнованной водной поверхностью. Показано, что присутствие волн на поверхности воды снижает порог генерации турбулентности по числу Ричардсона и приводит к усилению турбулентного обмена. Обнаружен переходный докритический режим стратифицированного пограничного слоя, характеризующийся возбуждением трехмерных квазипериодических структур, порог возникновения которых зависит от крутизны поверхностной волны. Предложена интерпретация этого режима как результата развития параметрической неустойчивости возмущений, индуцированных в воздушном потоке волнами на поверхности воды (ИПФ РАН, ННГУ).

Авторы: Дружинин О.А., Троицкая Ю.И., Зилитинкевич С.С. (ИПФ РАН, ННГУ).