



Модель АПК-5

- стандарты передачи информации – любые, дальность передачи – от 0 до 100 км;
- порог обнаружения – от 0,003 до 0,02 дБ при среднем времени наработки на ложную тревогу не менее 10000 ч и вероятности обнаружения не менее 0,99999.

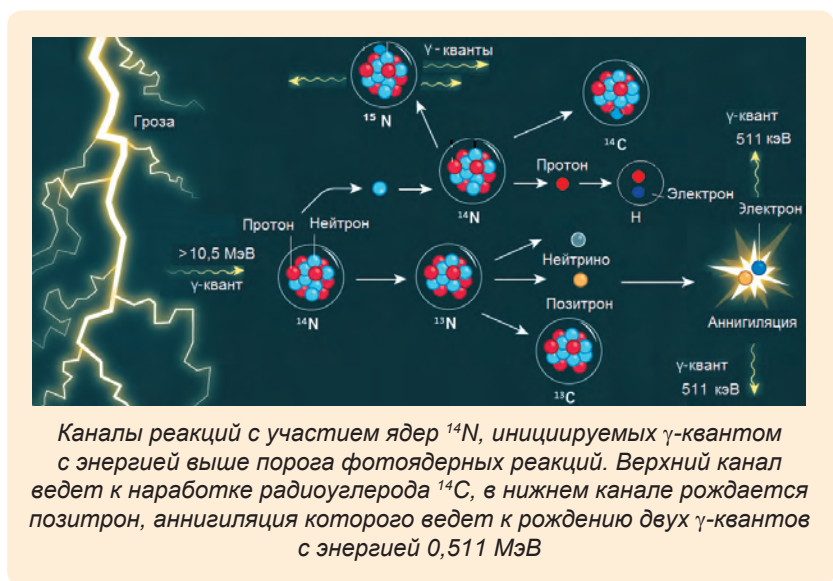
В 2018 г. заказчикам поставлено восемь аппаратно-программных комплексов (АПК) различных модификаций, созданных на базе компактных супер-ЭВМ, в том числе по одному АПК передано «Атомтехэнерго» (производительностью 10,0 Тфлопс),

НПО «Прибор» (производительностью 1,0 Тфлопс) и ОИВТ РАН (производительностью 1,0 Тфлопс). Два АПК производительностью 2,56 и 6,14 Тфлопс переданы в подразделения ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»; три АПК производительностью 4,3 Тфлопс каждый поставлены АО «СПМБМ «Малахит»», (г. С.-Петербург). Таким образом, с момента развертывания серийных работ по разработке и созданию образцов компактных супер-ЭВМ и до конца 2018 г. российским организациям и на предприятия поставлено 145 экземпляров компактных супер-ЭВМ различных моделей и модификаций с суммарной вычислительной мощностью 291,6 флопс.

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ИЛФИ)

ГРОВОЫЕ НЕЙТРОНЫ, НАРАБОТКА РАДИОУГЛЕРОДА ГРОЗАМИ

Проанализировано современное состояние исследований грозовых ядерных реакций. На основе наблюдений усиления потока нейтронов в грозовых облаках и во время гроз сделан вывод о том, что усиление связано с фотоядерными реакциями за счет тормозного излучения лавин убегающих электронов высоких энергий, развивающихся в грозовом электрическом поле. Отмечена сложность селекции грозовых нейтронов, обусловленная находением детекторов в смешанном поле различных



излучений, включающем не только нейтроны, но и первичные электроны высоких энер-

гий, и их тормозное излучение. Особое внимание уделено открытию в грозовой атмосфере

линии аннигиляции позитрона и электрона с энергией фотонов 0,511 МэВ, являющейся достоверным свидетельством как генерации нейтронов, так и их фотоядерного происхождения. Следствия этого открытия обсуждаются.

В связи с усилением потока нейтронов во время гроз выполнен анализ вклада грозовых нейтронов в наработку атмосферного радиоуглерода. Оценки флюенса грозовых нейтронов на один электромагнитный импульс молнии в областях с сильной грозовой активностью, обеспечивающего локальную скорость наработки радиоуглерода, сопоставимую с данными наблюдений, согласуются с измеренными значениями флюенса грозовых нейтронов. Доступные данные наблюдений об атмосферных нейтронах и вспышках первичного гамма-излучения, коррелированных с грозами, не позволяют сделать окончательный вывод о вкладе гроз в наработку радиоуглерода. Необходимы многочисленные исследования высокоэнергетических явлений в грозах, прежде всего в тропическом поясе, где грозовая активность особенно интенсивна и наработка радиоуглерода галактическими космическими лучами почти не зависит от активности Солнца, возмущающей геомагнитное поле, экранирующее Землю от космического излучения.

МИШЕНИ ПРЯМОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЗАЖИГАНИЕ В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКОЙ НЕОДИМОВОГО ЛАЗЕРА

В 2018 г. исследовано инерционное зажигание криогенной мишени прямого облучения в виде тонкой двухслойной оболочки с аблятором из пластика при воздействии профилированного импульса излучения

второй гармоники неодимового лазера с энергией ~ 2 МДж. Параметры мишени выбирались таким образом, чтобы обеспечить достаточную для зажигания эффективность ускорения оболочки к центру в условиях повышенной гидродинамической устойчивости абляционного ускорения и сжатия вещества.

Мишени лазерного термоядерного синтеза прямого облучения в настоящее время рассматриваются в качестве перспективной альтернативы мишеням непрямого сжатия на уровне энергии лазера ~ 1 МДж. В этом подходе на первый план выступают вопросы симметрии сжатия и зажигания термоядерного топлива.

Проведены расчетно-теоретические исследования сжатия и термоядерного горения сферических мишеней прямого облучения в условиях пространственной неоднородности нагрева, обусловленной сдвигом мишени из центра наведения лазерных источников и возможного их энергетического дисбаланса, а также временным рассогласованием прихода лазерных пучков на мишень. Определен диапазон допустимых изменений параметров сжатия и горения мишени в зависимости от вариаций пространственной неоднородности ее нагрева многопучковой лазерной системой. Показано, что низкомодовые (длинноволновые) возмущения приводят к ухудшению характеристик центральной области за счет менее эффективного преобразования кинетической энергии оболочки мишени во внутреннюю энергию центра. При существенной несимметрии облучения наблюдается также локальное иницирование горения в нецентральных областях мишени. В этом случае, как правило, горение не распространяется на весь объем дейтерий-тритиевого топлива,

что существенно снижает термоядерный выход по сравнению со случаем сферической симметрии и центрального зажигания.

Исследования выполнены на основе численного моделирования по одномерным и двумерным кодам радиационной газовой динамики.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРА-ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Созданы физико-математическая и численная модели лазера-генератора для расчета одномодового и многомодового режимов генерации лазерного излучения на основе решения трехмерного волнового параболического уравнения. Так как резонансные частоты поперечных мод генератора отличаются друг от друга, то для расчета многомодового режима генерации предложено в резонаторе задавать совокупность независимых некогерентных полей. Кинетика населенностей лазерных уровней в работе рассматривается в двухуровневом приближении. При численном решении трехмерного волнового параболического уравнения использовалась конечно-разностная схема интегрирования и расщепление по физическим процессам и направлениям.

В расчетах получены следующие результаты:

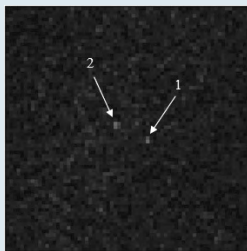
- продемонстрировано, что при размере активной среды меньше размера основной моды в резонаторе формируется одномодовый режим генерации (независимо от исходного модового состава), в обратной ситуации – многомодовый;
- получено уменьшение расходимости некогерентного многомодового лазерного излучения при компенсации тепловой линзы, которая может

возникать в результате нагрева оптических элементов генератора. Уменьшение расходимости происходит за счет затухания мод высших порядков и перекачки их энергии в моды низших порядков;

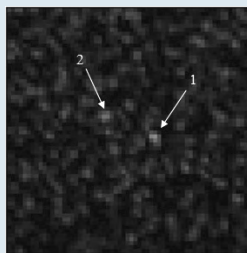
- найдено, что при наличии в активной среде оптического клина величиной α лазерный пучок из-за многопроходности лазерного излучения в резонаторе отклоняется на угол, заметно превышающий α . Для компенсации оптического клина глухое зеркало резонатора необходимо повернуть на угол 2α .

ДНЕВНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЗВЕЗД СЛАБОЙ ЯРКОСТИ С РАВНИННОЙ МЕСТНОСТИ

Для мониторинга космического пространства с целью защиты от столкновения с космическим мусором и осуществления астронавигации по звездам весьма полезно освоить



а



б

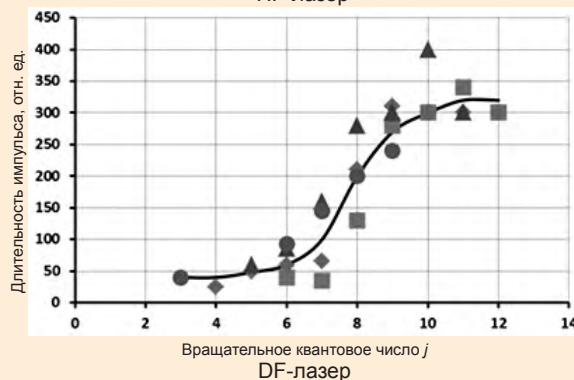
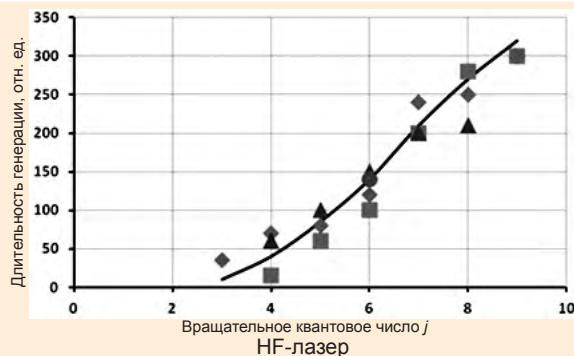
Звезды слабой яркости: 1 – звезда SAO 002556 (6,6m, съемка видеокамерой RT-1000DC), 2 – звезда SAO 002558 (8,4m, съемка видеокамерой BSA-304). Дата и время съемки: 14.10.2015 г., 14:29. Расстояние между звездами 0,5 угл. мин, размер снимка 3×3 угл. мин

круглосуточное наблюдение ближнего и дальнего космоса. В условиях наиболее трудной дневной визуализации звезд и космических объектов необходим оптимальный выбор матричного фотоприемника.

Исследования показали, что отношение сигнал/шум возрастает при увеличении глубины U потенциальной ямы пиксела фотоприемной матрицы. Лучшую проникающую способность визуализации продемонстрировали камеры RT-1000DC с наибольшей глубиной потенциальной ямы ($U = 170$ тыс. электронов) и BSA-304 ($U = 600$ тыс. электронов, получаемых за счет суммирования кадров). Такие камеры позволяют в условиях типично дневной турбулентности атмосферы на равнинной местности в северной полушере неба наблюдать звезды слабой яркости (7m–8m), которая в 5–10 раз ниже порога восприятия невооруженным глазом в условиях наблюдения на темном ночном небе.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОРАЗЯДНОГО HF/DF-ЛАЗЕРА

Исследован спектр излучения HF/DF-лазера, состоящий из нескольких десятков отдельных спектральных линий, с целью использования лазера для мониторинга атмосферы. Детально изучены спектрально-временные параметры излучения лазера, определены зависимости энергии и мощности лазерного импульса от времени. Зарегистрированы интегральный спектральный состав излучения и состав излучения в различные моменты лазерного импульса. Определена задержка начала излучения на разных переходах относительно начала лазерного импульса. Длительность импульса излучения отдельной спектральной линии зависит, в первую очередь, от вращательного квантового числа и практически не зависит от колебательного квантового числа.



Зависимость длительности импульса генерации по уровню 0,5 амплитуды от вращательного квантового числа: ■ – 1–0, ◆ – 2–1, ▲ – 3–2, ● – 4–3

Экспериментальные данные помогут уточнить расчетно-теоретическую модель химического лазера, тем самым предоставив возможность более обоснованного подхода к созданию установок с повышенными выходными характеристиками излучения, а также послужат совершенствованию методов применения химических лазеров для мониторинга атмосферы.

СВЕРХМОЩНЫЕ ДИСКОВЫЕ ВЗРЫВОМАГНИТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ

В 2018 г. завершены работы по созданию дискового взрывомагнитного генератора (ДВМГ) малого класса с плоскими дисковыми модулями для исследований свойств веществ и моделирования физических процессов при высоких плотностях энергии и термоядерных исследований. Такие генераторы создают ток до



Дисковый взрывомагнитный генератор малого класса перед подрывом

60 МА за время 4 мкс при выходной энергии более 20 МДж. При сохранении выходных характеристик ДВМГ с профилированными дисками коэффициент преобразования внутренней энергии взрывчатого вещества в электромагнитную энергию ДВМГ с плоскими модулями в два раза выше. Эти ДВМГ более быстродействующие, технологичные и менее дорогостоящие.

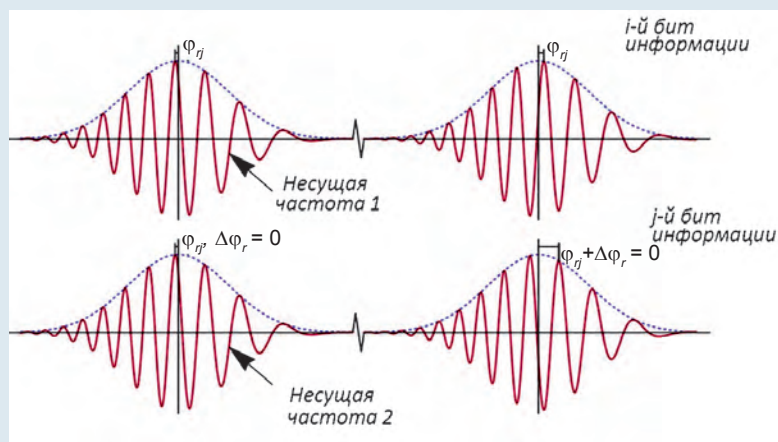
ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Предложен способ организации защищенной оптической связи в свободном пространстве, основанный на восстановлении информации из интерференции двух широкополосных chirпированных (упорядоченных по частоте) лазерных импульсов на поверхности приемника. Перехват информации через рассеянное излучение в данном случае становится невозможным, так как данные закодированы в разности фаз двух лазерных пучков, а интерференция возникает только при перекрытии коротких лазерных импульсов во времени. Таким образом, устройство

связи, работающее на описанном принципе, не нуждается в дополнительном канале для передачи ключа и способно осуществлять передачу данных со скоростью до 100 Мбит/с.

ПИКОСЕКУНДНАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПЛОТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Предложена конструкция и проведен расчет оптимальных параметров источника рентгеновского излучения для диагностики сжатого состояния лазерной плазмы при условиях, необходимых для термоядерного синтеза. Такой источник, работающий в импульсном режиме, предназначен для определения пространственного распределения плотности лазерной плазмы с высоким временным разрешением путем многокадровой (импульсы проходят с заданным временным интервалом) просветки основной мишени рентгеновскими импульсами, получаемыми при облучении вторичной мишени лазерными импульсами пикосекундного диапазона длительности.



Фазовый сдвиг в chirпированном лазерном импульсе

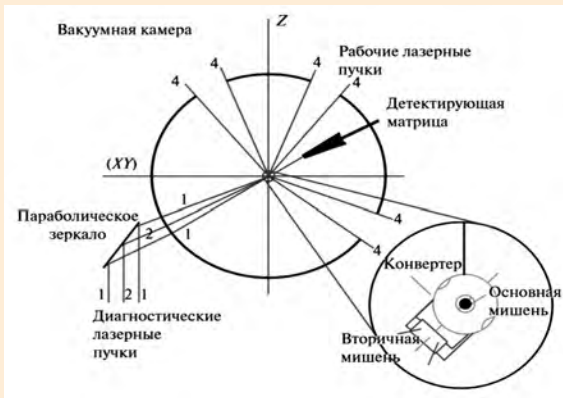
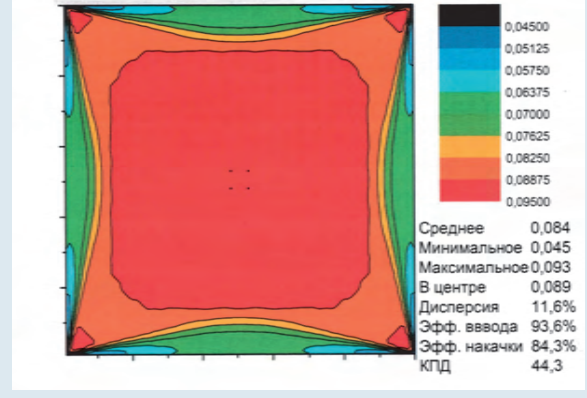


Схема рентгеновской диагностики сжатого состояния термоядерной мишени



Распределение усиления по поперечному сечению в активном элементе из фосфатного стекла размером 4,5×4,5 см²

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛЕНИЯ В ОБЪЕМЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА МОЩНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

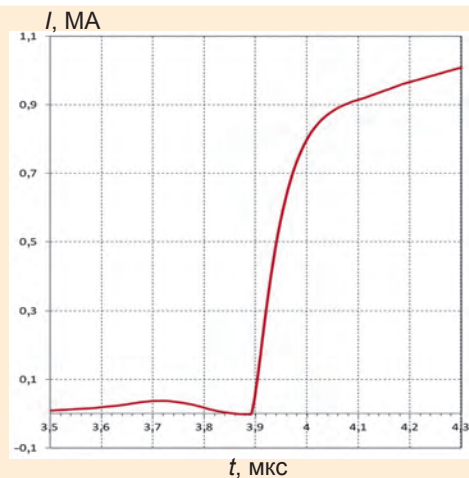
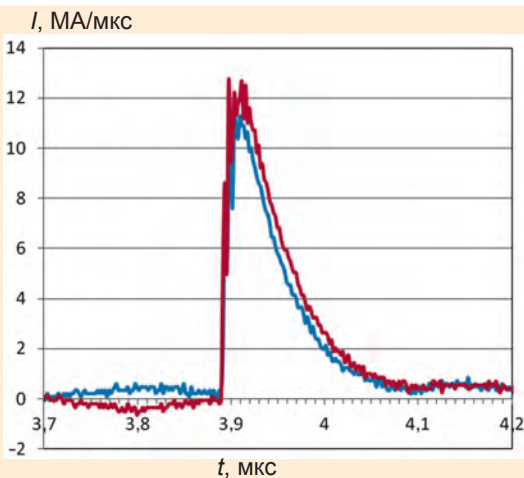
Предложена методика расчета пространственного профиля усиления в объеме твердотельного активного элемента высокоэнергетического лазера с накачкой диодными матрицами, учитывающая особенности диаграммы направленности излучения полупроводниковых лазеров. С помощью данной методики получен профиль усиления в активном элементе из неодимового стекла. На примере стерж-

ня прямоугольного сечения 4,5×4,5×25 см показано, что, варьируя параметры системы накачки, можно задавать профиль усиления, например, однородный по сечению (с уровнем неоднородности менее 2,5 %) с максимумом в центре или периферийных областях при удельном энергокладе ~1 Дж/см³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ФОРМИРОВАНИЮ МЕГААМПЕРНОГО ИМПУЛЬСА ТОКА С ФРОНТОМ НАРАСТАНИЯ 100 НС

Отработана схема формирования импульса тока

с фронтом нарастания 100 нс на электрофизической установке КАСКАД. Основные элементы схемы: малоиндуктивный электровзрывной размыкатель тока (МЭВРТ) и твердотельный разрядник. Импульс напряжения на электроды разрядника подавался от МЭВРТ. Разрядник сработал при напряжении 120 кВ. В индуктивной нагрузке 10 нГн сформирован импульс тока с фронтом нарастания ~100 нс от нуля до 0,8 МА.



Производная импульса тока (а), ток в нагрузке (б) – интеграл по датчику Iw_2 ; — датчик Iw_1 (МА/мкс), — датчик Iw_2 (МА/мкс)