

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ИЛФИ)

В РФЯЦ-ВНИИЭФ совместно с ИПФ РАН разработана пета-ваттная лазерная система со сверхкороткой длительностью импульса на основе параметрического усиления широкополосных чирпированных лазерных импульсов. Накачка выходного параметрического усилителя (кристалл DKDP световой апертурой 300 мм и толщиной 55 мм) производится преобразованным во вторую гармонику ($\lambda_{\text{нак}} = 527$ нм) излучением лазерного канала установки «Луч» ($E_{\text{нак}} \approx 0,5 - 1,5$ кДж, $\tau_{\text{нак}} = 2,5$ нс). В четырех каскадах параметрического усиления получен коэффициент усиления 10^{11} . Энергия пучка на выходе оконечного параметрического усилителя составила $E_{\text{сигн}} = 100$ Дж на $\lambda_{\text{сигн}} = 911$ нм. Для компрессии импульса применяются четыре дифракционные решетки размером 240×380 мм с плотностью штрихов 1200 мм^{-1} . Длительность скомпрессированного импульса составляет $\tau \approx 60$ фс, что соответствует мощности лазерного излучения $P_{\text{вых}} \approx 1,2$ ПВт. Для фокусировки лазерного пучка на мишень применяется внеосевое параболическое зеркало диаметром 320 мм с фокусным расстоянием 800 мм и собственным кружком рассеяния ≈ 10 мкм

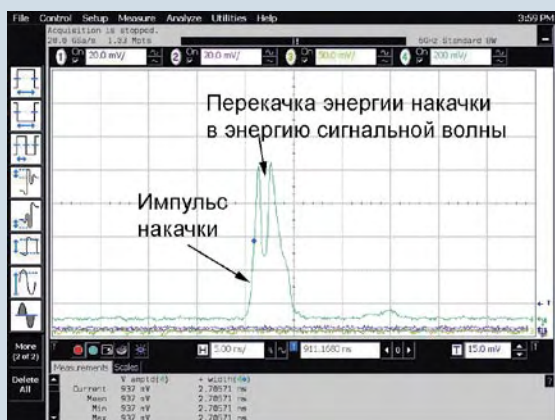
по уровню 80 % энергии, что обеспечивает интенсивность лазерного пучка на мишени $I \sim 10^{20} - 10^{21} \text{ Вт/см}^2$.

Выведен на полномасштабный режим работы стенд КИЛ-10 — химический кислород-йодный лазер непрерывного действия. Принцип действия КИЛ основывается на передаче энергии электронного возбуждения от молекулы синглетного кислорода к излучающей частице — атому йода. Синглетный

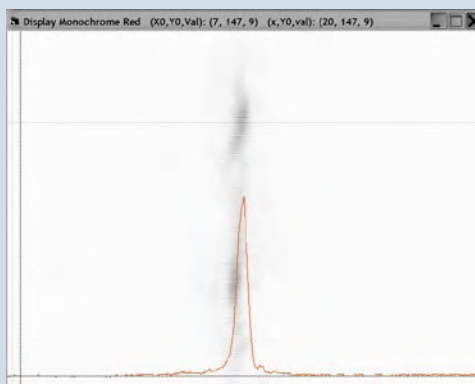
кислород производится в оригинальном, защищенном патентом РФ № 2307434, химическом генераторе синглетного кислорода (ГСК) с уникальными характеристиками: производительность по хлору — до 8 моль/с, химическая эффективность — до 85 %, удельная производительность синглетного кислорода — до $24 \text{ ммоль/(с}\cdot\text{см}^2)$. Эффективность работы генератора не зависит от силы тяжести и ее направления, поэтому он может



Вакуумный компрессор и мишенная камера установки «Луч»



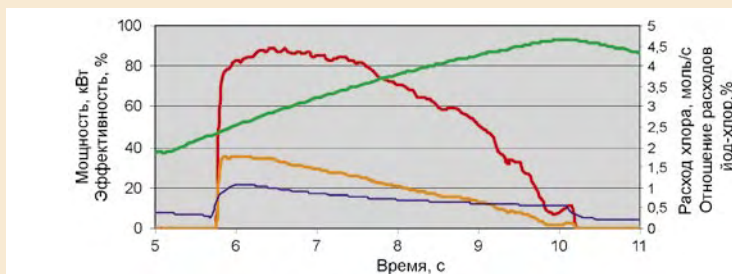
Осциллограмма лазерного импульса накачки на выходе оконечного параметрического усилителя



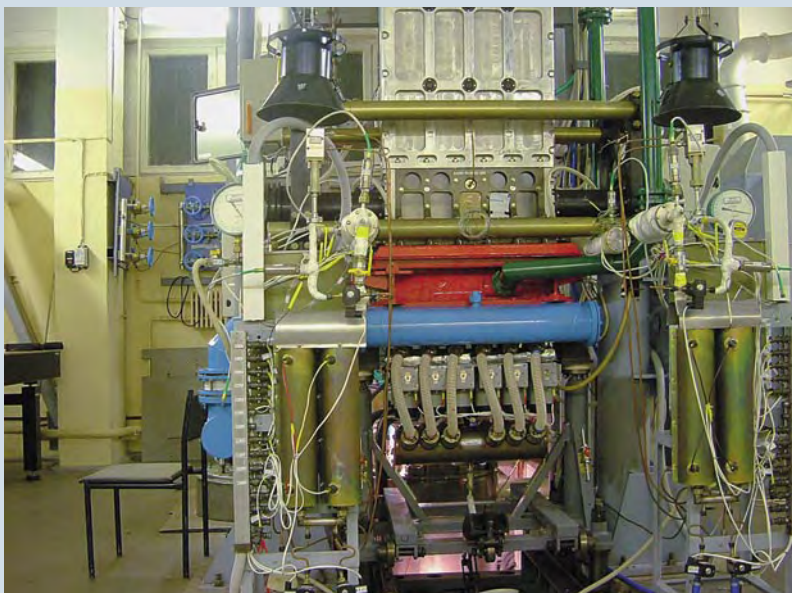
Автокорреляционная функция импульса после компрессии. Соответствует импульсу гауссовой формы длительностью ~ 60 фс

быть использован в условиях тряски, вибраций и невесомости. Под химической эффективностью понимается отношение числа квантов света на выходе из резонатора к числу молекул хлора на входе в ГСК. Максимальная мощность излучения лазера превысила 90 кВт при давлении торможения энергонесущего газа ~ 90 торр, что соответствует химической эффективности лазера 35 %. Приведенная мощность излучения — отношение выходной мощности излучения к площади поперечного сечения потока в резонаторе, 150 Вт/см². Выходная мощность стенда КИЛ-10 превосходит мощность любого из известных по научным публикациям европейского непрерывного кислород-йодного лазера. Судя по опубликованным работам, полученная химическая эффективность КИЛ является рекордной.

На установке «Искра-5» проведены исследования спектральных коэффициентов пропускания плазмы, получаемой при разогреве тонких пленок различных элементов рентгеновским излучением с температурой 70–80 эВ, генерируемым внутри бокса-конвертора. Исследуемый образец размещался на боковой поверхности бокса-конвертора, представляющего собой цилиндр, внутрь которого через торцы вводилось излучение 4 каналов установки «Искра-5». Нагретый образец просвечивался рентгеновским излучением дополнительного источника, образуемого при облучении плоской мишени из диспрозия лазерным излучением еще одного из каналов установки. Спектр прошедшего через образец рентгеновского излучения регистрировался кристаллическим спектрографом. Полученные данные использовались для восстановления спектрального пропускания плазмы. Расчетное моделирование условий разогрева и разлета образца с помощью программ радиационной газовой динамики показало, что использование пленок исследуе-



Типичный импульс генерации в оптимизационных экспериментах. Красная кривая — мощность лазерного излучения; оранжевая — химическая эффективность; зеленая — расход хлора; синяя — отношение расходов йода и хлора



КИЛ-10

мых образцов толщиной менее 0,2 мкм позволяет осуществлять достаточно однородный прогрев плазмы и предотвращать нежелательное ускорение пленки при ее одностороннем облучении рентгеновским излучением. Со-

поставление расчетного пропускания алюминиевой плазмы с учетом ее нагрева и разгрузки в конкретных условиях эксперимента с результатами измерений демонстрирует неплохое согласие расчета и эксперимента.

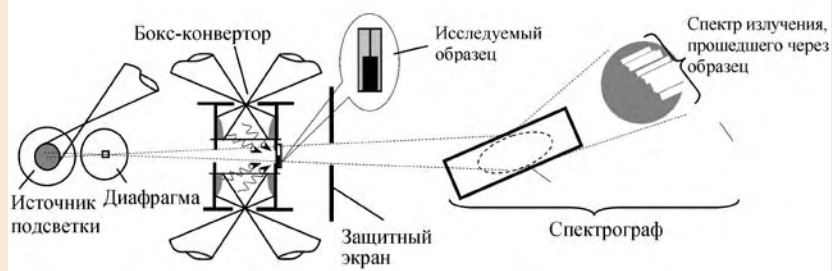
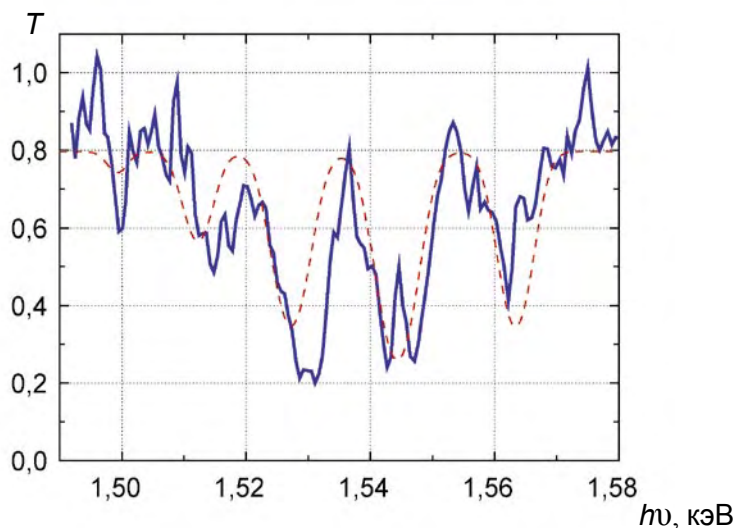


Схема эксперимента по исследованию спектральных характеристик поглощения разогретых материалов на установке «Искра-5»



Экспериментальное (—) и расчетное (---) спектральное пропускание (в диапазоне энергий квантов 1,49–1,58 кэВ) алюминиевой плазмы при толщине слоя образца 0,097 мкм

ведена серия экспериментов по изучению ударной сжимаемости свинца. Максимальное достигнутое давление за фронтом УВ в алюминии составило 18 Мбар, в свинце — 29 Мбар. Полученные на лазерной установке «Луч» результаты совпадают в пределах погрешности с результатами, полученными классическими методами. Тем самым показана возможность генерации мультимегабарных давлений для исследования уравнений состояния веществ на мощных лазерных установках ВНИИЭФ. Приоритетными направлениями работ в настоящее время являются повышение качества мишени и однородности излучения, увеличение точности измерения характеристик УВ, увеличение давлений до ~ 50 Мбар.

На лазерной установке «Луч» проводятся эксперименты по отработке методов изучения ударной сжимаемости веществ в мультимегабарном диапазоне давлений. В исследованиях применяется метод «отражения». Для формирования стационарной ударной волны (УВ) используется базовый слой из алюминия толщиной 20–100 мкм, на обратной стороне которого напылены две ступеньки толщиной в несколько микрометров. При известной толщине ступенек скорость УВ в исследуемом образце и эталоне определяется по времени выхода УВ на тыльную поверхность. Момент выхода УВ фиксируется по свечению тыльной поверхности мишени с помощью пикосекундного электронно-оптического фотохронографа. Высокое давление создается при нагревании твердого тела интенсивным (10^{13} – 10^{15} Вт/см²) лазерным излучением второй гармоники (эксперименты прямого облучения). Пятно облучения размером 300×600 мкм формируется с помощью расправочной линзы Френеля. Про-

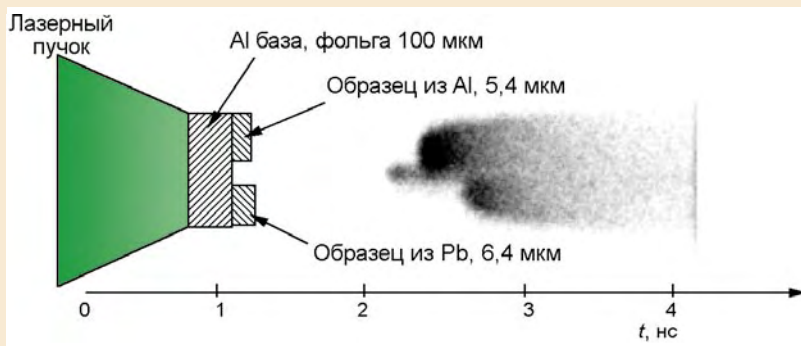
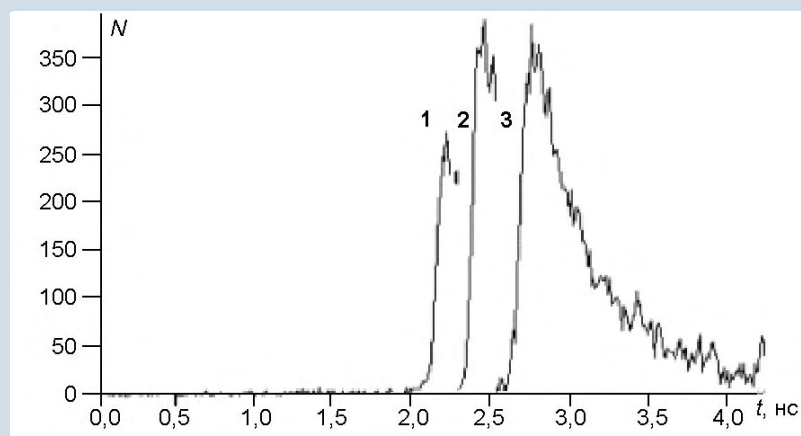
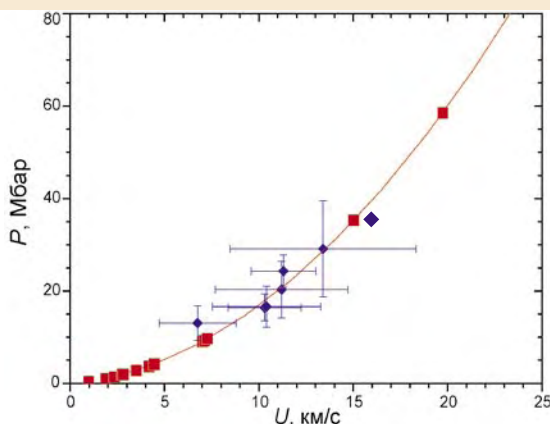


Схема эксперимента по исследованию ударной сжимаемости веществ методом отражения на лазерной установке «Луч»



Регистрация времени выхода УВ в базовом слое (1), алюминиевой (2) и свинцовой (3) ступеньках



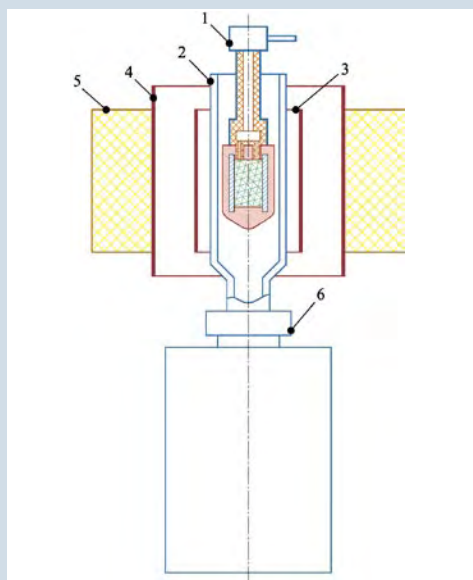
Ударная адиабата свинца: ■ — данные сборника: Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006; ◆ — результаты экспериментов на установке «Луч»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ЭНЕРГИИ (НТЦФ)

Проведена серия экспериментов по исследованию нулевых изотерм изотопов водорода — кристаллического протия и кристаллического дейтерия, изэнтропически сжатых до давлений в несколько мегабар. Процесс осуществлялся в устройстве, состоящем из генератора МК-1 сверхсильного магнитного поля (источник давления), камеры сжатия и криостата. Режим работы генератора и геометрия камеры сжатия с помощью предварительных расчетов оптимизировались с целью обеспечения в рабочей зоне минимальных градиентов давления. В каждом из опытов в один из моментов сжатия производилось рентгенографирование центральной части сборки. По снимку, используя усовершенствованную методику обработки изображений, находили размеры (а следовательно, и сжатие) исследуемого и коаксиально с ним расположенного образца эталонного вещества (Al). С помощью известной изэнтропы эталона определялось (после учета градиентной поправки) давление в исследуемом

веществе. В итоге в интервале давлений от 1 до 5 Мбар получены экспериментальные точки, соответствующие нулевым изотермам протия и дейтерия. В обоих случаях аппроксимирующая кривая в пределах погрешностей согласуется с экстраполяцией

изотермы, построенной ранее по данным статических экспериментов (алмазные наковальни) до давлений ~ 1 Мбар. Кроме того, полученная для протия кривая согласуется и с результатами опубликованных первопринципных расчетов для H_2 .



Устройство сжатия: 1 — криоконтейнер с камерой сжатия; 2 — криопровод; 3 — второй каскад МК генератора; 4 — соленоид начального поля генератора (первый каскад); 5 — кольцевой заряд ВВ; 6 — сосуд для хранения жидкого гелия