

# ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (ИЛФИ)

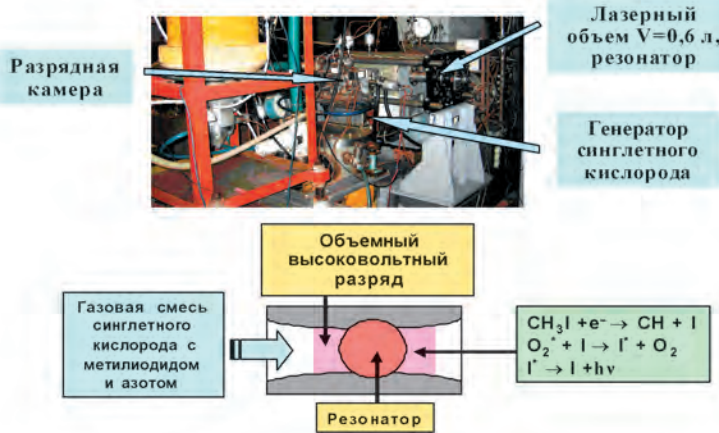
Разработан малогабаритный импульсно-периодический кислородно-йодный лазер (ИП-КИЛ) с объемом активной зоны  $50 \times 50 \times 250$  мм.

Исследованы зависимости энергии излучения лазера в единичном импульсе от расхода хлора и соотношения активных и буферных веществ в лазерном объеме (кислород, остаточный хлор, азот, гелий, метилиодид), а также электрической энергии, вкладываемой в среду.

## Параметры излучения лазера при расходе хлора 65–80 ммоль/с

|  |               |
|--|---------------|
| Средняя энергия излучения в импульсе   | 1,0 Дж        |
| Среднеквадратичное отклонение энергии в единичных импульсах от среднего значения энергии в серии импульсов | $\pm (3-5)\%$ |
| Максимальный удельный энергопотребление в рабочей среде  | 1,7 Дж/л      |
| Частота повторения импульсов   | до 20 Гц      |
| Длительность импульса генерации (по полувысоте)  | 10–30 мкс     |
| КПД (отношение энергии излучения к вложенной в среду электрической энергии)                                | 60–70 %       |

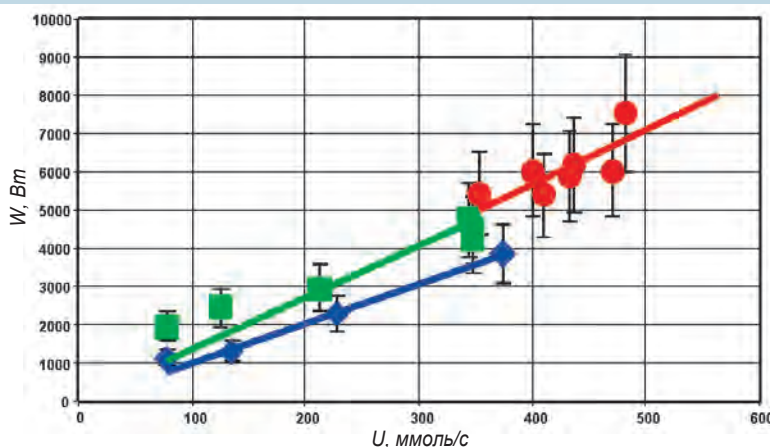
## Экспериментальный макет импульсно-периодического кислородно-йодного лазера



Отработан модуль генератора синглетного кислорода с закрученным потоком газа (ЗГСК); продемонстрирована устойчивая работа реактора при расходе хлора до 560 ммоль/с, рабочего раствора 1,2 л/с, давлении газа до 120 торр, скорости газа  $\sim 120$  м/с, выходе синглетного кислорода более 90 % и степени выработки хлора  $\sim 87$  %.

Проведены экспериментальные исследования энергетических характеристик сверхзвукового КИЛ совместно с модулем ЗГСК стенда КИЛ-10. Использовались плоские сопла с высотой критического сечения 8, 10 и 12 мм при давлении газа на входе в сопло до 90 торр. В экспериментах при расходе хлора  $\sim 480$  ммоль/с, скорости газа в реакторе  $\sim 120$  м/с и давлении газа на входе в сопло  $\sim 90$  торр максимальная мощность генерации КИЛ составила  $\sim 8$  кВт, что отвечает приведенной мощности излучения  $\sim 240$  Вт/см<sup>2</sup>.

Проведены исследования абсолютной концентрации, выхода и энергетической эффективности наработки синглетного кислорода в движущемся СВЧ-разряде в чистом кислороде и его смесях с гелием при парциальном давлении кислорода от 3 до 15 торр с использованием окиси ртути для удаления атомарного кислорода из газового потока. Для



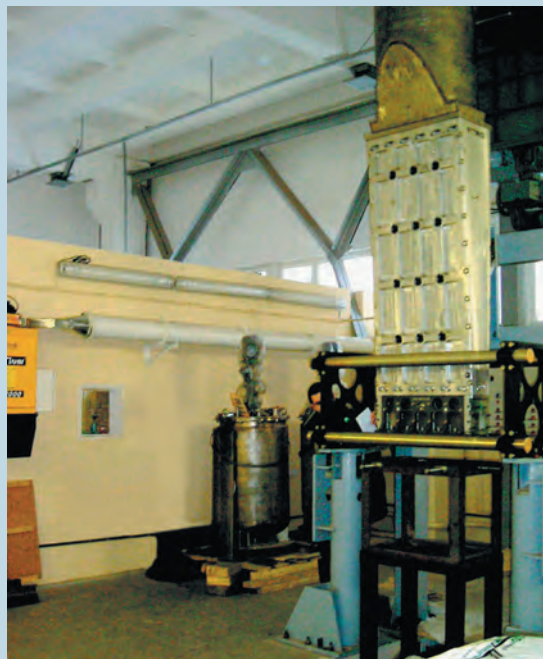
Зависимость полной мощности генерации от расхода хлора при различных значениях критического сечения сопла:

◆ —  $h = 8$  мм; ■ —  $h = 10$  мм; ● —  $h = 12$  мм

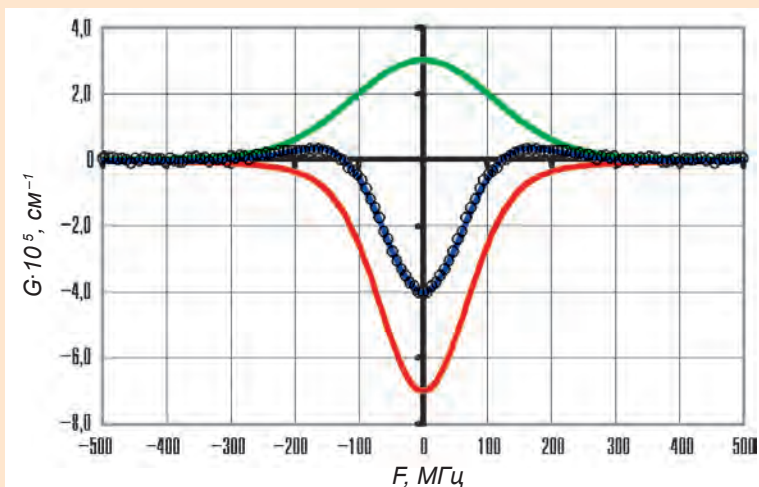
смеси  $O_2:He = 1:1$  при полном давлении 6 торр получена максимальная абсолютная концентрация синглетного кислорода  $\sim 1,15 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и выход  $\sim 22\%$  при удельном энергокладе  $\sim 150 \text{ Дж/ммоль}$ . Энергетическая эффективность наработки синглетного кислорода составляла  $\sim 12\%$ .

Впервые в России в электро-разрядном КИЛ получен положительный коэффициент усиления активной среды  $((4-6) \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1})$ . Показано, что экспериментальные данные хорошо описываются суммой двух фойхтовских контуров: контура усиления для температуры 310 К и контура поглощения для температуры 95 К. Исходя из полученных результатов, оценены усиление и поглощение активной среды в центре контура, которые соответственно составили  $3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$  и  $-7 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$ .

Проведено экспериментальное и расчетно-теоретическое исследование возможности фазового сложения двухканального взрывного фотодиссоционного лазера (ВФДЛ) с ВРМБ-зеркалом в условиях турбулентной атмосферной трассы. Расстояние между осями каналов составляло 31 см. Источник излучения в виде диафрагмы диаметром 0,6 см, из которой выходит излучение взрывного задающего генератора, расположен на расстоянии 2,5 км от входа в блок усилителей. Полученное экспериментально распределение плотности энергии в плоскости диафрагмы представляет собой интерференционную картину, характерную для фазового сложения излучения двух каналов (ширина полосы в картине согласуется с расстоянием между каналами). Расчетное распределение плотности энергии в плоскости диафрагмы, полученное в условиях умеренной атмосферной турбулентности, хорошо согласуется с экспериментальной картиной по общей ширине распределения и ширине полосы. В соответствии с рас-



Экспериментальная установка кислородно-йодного лазера КИЛ-10 в рабочем помещении

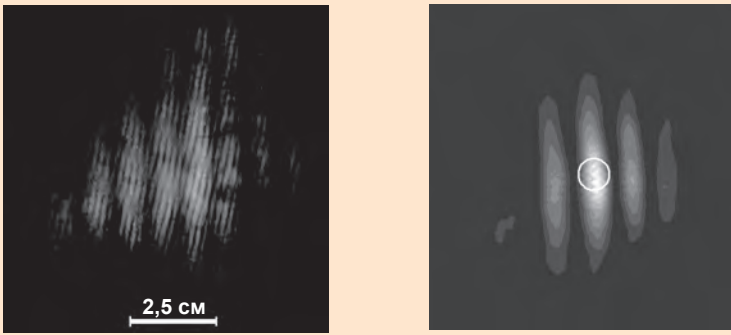


Экспериментальные и расчетные фойхтовские контуры поглощения и усиления активной среды:  $\circ$  — эксперимент; — — расчет,  $T=310 \text{ K}$ ; — — расчет,  $T=95 \text{ K}$

четами максимальная плотность энергии в плоскости диафрагмы увеличивается более чем в 4 раза по сравнению со случаем одноканального ВФДЛ — и в однородной, и в умеренно турбулентной атмосфере.

Экспериментально подтверждено предсказанное ранее новое явление — отсутствие обра-

щения волнового фронта (ОВФ) при ВРМБ сфокусированных лазерных пучков с винтовой дислокацией волнового фронта (вихревых мод Гаусса — Лагерра). ОВФ вихревых пучков не наблюдается из-за отсутствия селекции стоксовой моды, сопряженной лазерной моде. Это происходит вследствие того, что коэффици-



а

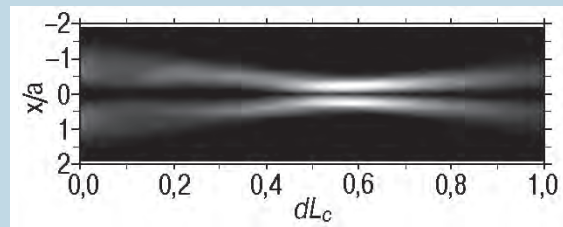
б

Распределение плотности энергии излучения ВФДЛ в плоскости диафрагмы задающего генератора в эксперименте (а) и расчете (б)

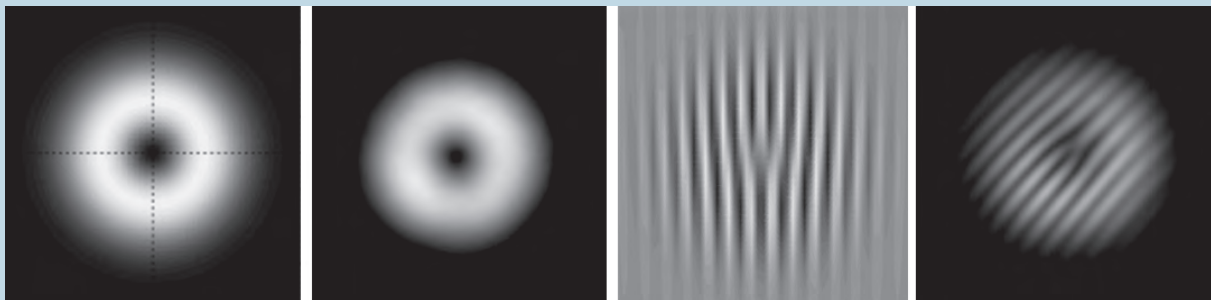
вое явление, названное преобразованием волнового фронта при ВРМБ. Его суть заключается в том, что в стоксовом пучке селектируется мода с регулярным фазовым фронтом, которая ортогональна лазерной моде. В режиме ВРМБ, близком к пороговому, селектируемая мода близка к основной гауссовой моде.

Реализован лабораторный рентгеновский лазер (РЛ) на переходе  $3p-3s$  Ne-подобного Ge ( $\lambda = 19,6$  нм) в квазистационарной схеме со столкновительной накачкой. Активная среда РЛ реализуется в плазме, образующейся при фокусировке

енты усиления стоксовой сопряженной моды и аналогичной моды с обратной спиральностью одинаковы. Поэтому стоксов пучок представляет собой случайную комбинацию нескольких мод, включая сопряженную. Для достаточно широкого класса вихревых пучков наблюдается но-



Сфокусированный в кювету ВРМБ вихревой лазерный пучок ( $LG_0^1$  мода)



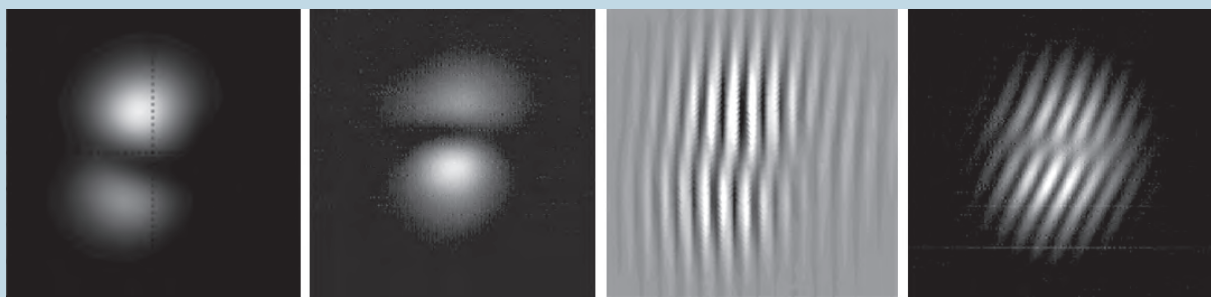
а

б

в

г

Распределение интенсивности вихревого лазерного пучка (а, б) и картина его интерференции с наклонно падающей плоской волной (в, г) в расчете (а, в) и эксперименте (б, г)



а

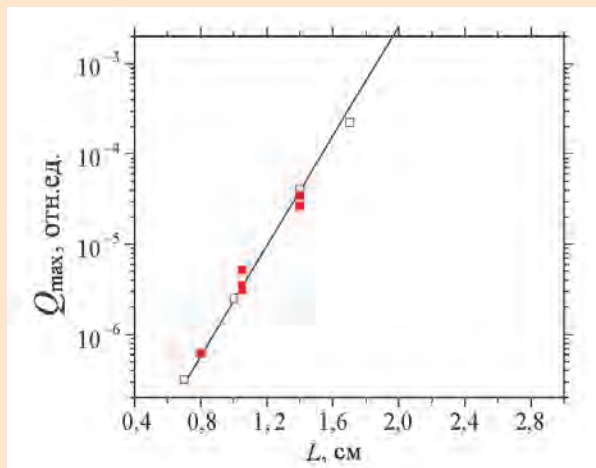
б

в

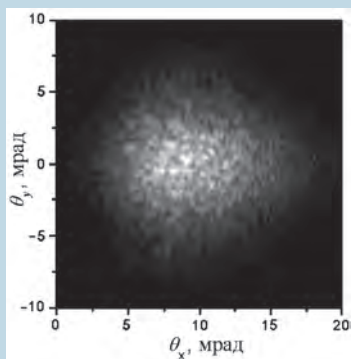
г

Распределение плотности энергии стоксова пучка (а, б) и картина его интерференции с наклонно падающей плоской волной (в, г) в расчете (а, в) и эксперименте (б, г)

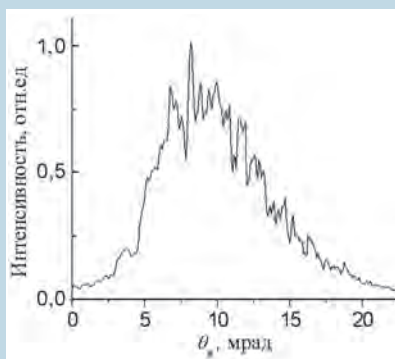
излучения одного из каналов лазерной установки «Искра-5» в строчку шириной около 200 мкм на плоской мишени. Длительность импульса накачки 0,5 нс, энергия 300 Дж. Мишень представляет собой плоскую стеклянную пластину длиной до 1,4 см с германиевым покрытием толщиной 0,15 мкм. Получено, что наблюдаемый коэффициент усиления РЛ составляет  $7 \text{ см}^{-1}$ , расходимость рентгеновского лазерного излучения 10 мрад, смещение пучка относительно оптической оси из-за рефракции 10 мрад. Трехмерное расчетное моделирование показало хорошее согласие с экспериментальными данными. Расчеты показа-



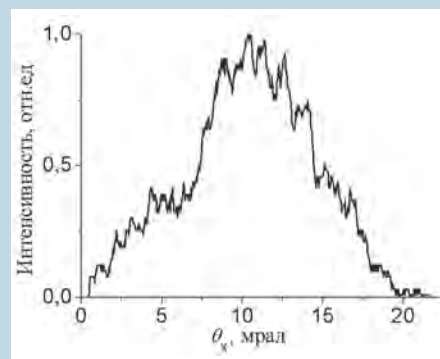
Зависимость спектральной яркости усиленного спонтанного излучения от длины мишени в расчетах ( $\square$ ) и эксперименте ( $\blacksquare$ )



а



б



в

Пучок рентгеновского лазерного излучения в дальней зоне в расчете (а, б) и эксперименте (в)

ли, что использование в схеме РЛ рентгеновского зеркала с отражательной способностью 10% и организация двухпроходного режима усиления позволят в 10-20 раз повысить яркость излучения РЛ и существенно увеличить длину поперечной когерентности усиленного спонтанного излучения (УСИ), что важно для приложений.

На базе полупроводниковой камеры ионизационного типа и многокадровой электронно-оптической камеры разработан многокадровый регистратор излучения в ИК-диапазоне. Области применения регистратора:

- диагностика излучения импульсных, импульсно-периодич-

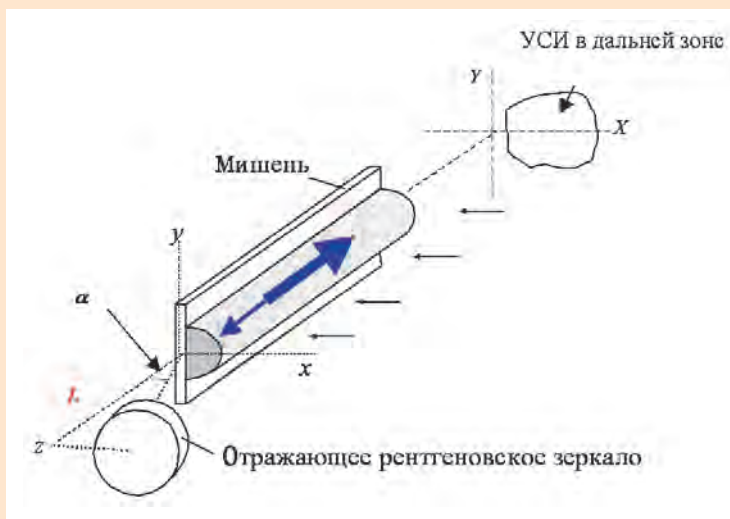
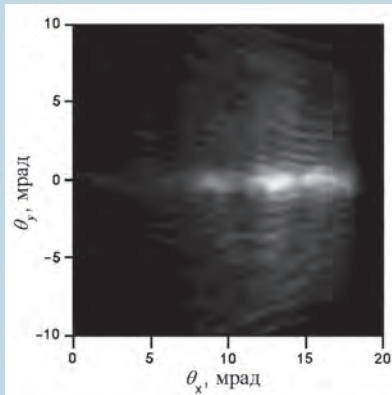
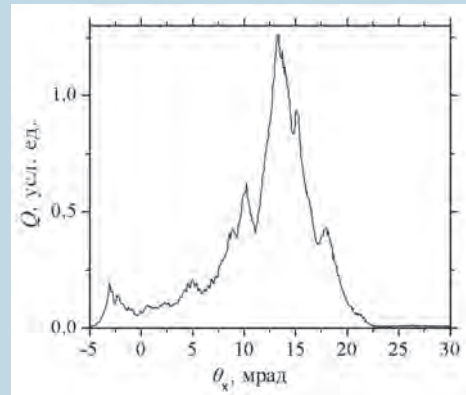


Схема РЛ с отражающим зеркалом



а

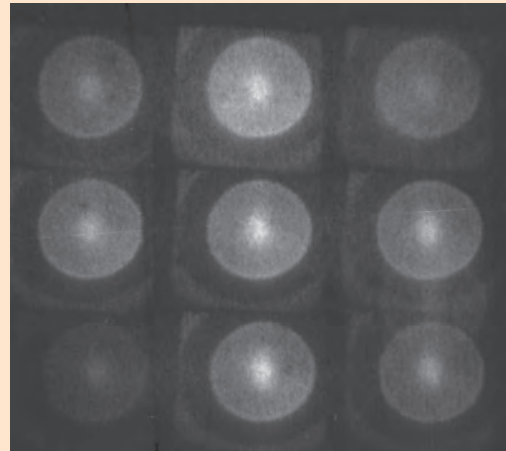


б

Расчетное распределение плотности энергии УСИ в дальней зоне (а) и ее срез по оси  $\theta_x$  (б) при наличии зеркала в схеме РЛ



Многокадровый регистратор  
КИТ-3М



Пример регистрации (нагрев вольфрамовой фольги  
электроразрядом с тыльной стороны; частота  
кадров — 100 кГц)

ческих и непрерывных лазеров ИК-диапазона;

- газодинамические исследования;
- разработка новых промышленных технологий с использованием лазерной сварки, резки и закалки металлов;
- дистанционная регистрация структуры тепловых полей тел при их ударном и аэродинамическом нагружении;
- импульсная электродинамика.

#### Основные технические характеристики

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Входная апертура приемника                      | 20 мм                             |
| Спектральный диапазон чувствительности          | 1–10 мкм                          |
| Минимальная регистрируемая температура          | 300 °С                            |
| Порог регистрации ( $\lambda = 3 \text{ мкм}$ ) | $1 \cdot 10^{-7} \text{ Дж/см}^2$ |
| Динамический диапазон регистрации               | $\geq 200$                        |
| Число кадров                                    | 9                                 |
| Время экспозиции кадра                          | 0,5–20 мкс                        |
| Частота кадров                                  | 50–500 кГц                        |
| Пространственное разрешение                     | 100 пар лин./кадр                 |
| Габариты  | 185 × 405 × 450 мм                |
| Масса   | 13,5 кг                           |
| Энергопотребление                               | 220 В, 30 Вт                      |