

## Конференция по инженерным проблемам лазеров и их применению

Конференция проходила летом 1975 г. в Вашингтоне. Подобные конференции организуются Оптическим обществом США и Комитетом по квантовой электронике один раз в два года и являются широким форумом, на котором докладываются последние достижения в различных областях применения лазеров и обсуждаются наиболее интересные технические вопросы, касающиеся как самих лазеров, так и оптических элементов, применяемых в лазерных системах. В работе конференции 1975 г. приняли участие примерно 1400 человек. Большинство участников представляли американские исследовательские лаборатории и промышленные фирмы. Число иностранных специалистов (СССР, Англия, Канада, Франция, ФРГ, Япония) не превышало 150. Было представлено около 200 докладов, которые в соответствии с темами рассматривались на 19 секциях. Каждый день одновременно на утренних и вечерних заседаниях работали по три секции.

Конференция охватила широкий круг вопросов. Судя по докладам, большое внимание в настоящее время в ряде стран уделяется проблеме лазерного разделения изотопов. Однако практические результаты на конференции не сообщались: приводились, как правило, лишь описание отдельных физических экспериментов и теоретические соображения. В Ливерморской лаборатории им. Лоуренса (ЛЛЛ) Соларцом проведены эксперименты по исследованию сечений фотоионизации и времени жизни возбужденных состояний в парах урана при температуре 2000 К; при этом для накачки лазера на красителях используется коммерческий  $N_2$ -лазер. В Лос-Аламосской национальной лаборатории (ЛАНЛ) при облучении паров меди и иода излучением ионного аргонового лазера получены изотопы меди  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{65}\text{Cu}$ . Как всегда, большой интерес вызвали доклады, представленные сотрудниками Института спектроскопии АН СССР (ИС АН СССР). В работе Р. В. Амбарцумяна, Н. В. Чекалина, Ю. А. Горохова, В. С. Летохова, Г. П. Макарова и Е. А. Рябова впервые получено макроскопическое разделение изотопов элементов при помощи излучения  $\text{CO}_2$ -лазера с использованием метода изотопически-селективной диссоциации сложных молекул в сильном поле излучения. Проведены эксперименты по разделению изотопов  $^{10}\text{B}$  и  $^{11}\text{B}$  при диссоциации молекул  $\text{BCl}_3$ ; получен коэффициент обогащения изотопа серы  $^{34}\text{S}$  около 2800 при диссоциации молекул  $\text{SF}_6$ . В докладе В. Н. Ваграташвили и др. (ИС АН СССР) сообщается об основных характеристиках  $\text{CO}_2$ -лазера высокого давления с широкодиапазонной плавной перестройкой частоты. При давлении газа 5 ат перестройка составила  $50\text{ см}^{-1}$ . С помощью этого лазера обнаружены инфракрасные резонансы люминесценции этилена в видимом диапазоне. Исследование этих резонансов важно для понимания механизма изотопически-селективной диссоциации молекул.

Работы по программе применения лазеров в термоядерном синтезе были представлены в основном физиками ЛАНЛ и ЛЛЛ и по своему содержанию могут быть разделены на следующие группы.

1. Теоретические и экспериментальные исследования явлений, сопровождающих прохождение субнаносекундных световых импульсов через усилительные каскады мощных лазерных систем на неодимовом стекле; расчет и испытания мягких диафрагм и простран-

ственных фильтров для предотвращения самофокусировки лазерного пучка; подбор материалов для оптических элементов; усовершенствование дисковых усилителей в целях устранения паразитных осцилляций.

2. Обсуждение проектов строящихся в настоящее время в лабораториях США больших лазерных систем с энергией  $\sim 10$  кДж в коротком импульсе как на неодимовом стекле, так и на  $\text{CO}_2$ .

3. Сообщения о результатах последних экспериментов по демонстрации сжатия сферических стеклянных мишеней, заполненных дейтерий-тритиевой смесью, под воздействием лазерных импульсов с энергией в несколько десятков джоулей. Для достижения сферически симметричного подвода энергии к сжимаемой мишени при работе с одним или двумя лазерными пучками на поверхность стеклянного шарика наносится слой вещества с малым  $Z$  (аблятор).

4. Поиски новых газовых сред для получения мощных лазерных импульсов с излучением в области спектра  $0,3 - 0,6$  мкм. Американские специалисты считают, что именно такие лазеры могут быть применены в термоядерных электростанциях будущего.

Большой интерес вызвало выступление Э. Теллера перед началом работы секции по применению лазеров в термоядерных исследованиях. По мнению Э. Теллера, благодаря работам, выполненным фирмой KMS и лабораториями ЛАНЛ и ЛЛЛ, возможность осуществления управляемого термоядерного синтеза с лазерным поджигом, о котором впервые заговорили в 1972 г., в настоящее время стала реальной. По-видимому, в ближайшие три-четыре года будет продемонстрирована термоядерная реакция со сжатием и нагреванием дейтерий-тритиевых мишеней. Основанием для такого заключения является достаточно хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов. Создание же промышленных термоядерно-лазерных реакторов осложняется столь большими техническими трудностями, что ожидать получения энергии от таких систем следует лишь в XXI в. Однако можно надеяться, что в ближайшее десятилетие мощные лазеры с большим экономическим эффектом найдут широкое применение в разделении изотопов. Э. Теллер отметил, что в области применения лазеров русские не отстают от США.

Большая программа исследований была представлена сотрудниками ЛЛЛ. В лаборатории созданы и работают двухканальная установка «Янус» (энергия 20 Дж в каждом луче при длительности импульса 100 пс) и однолучевая установка «Циклоп» (энергия 270 Дж в импульсе длительностью 200 пс). Обе установки представляют собой лазерные системы на неодимовом стекле, в оконечных каскадах которых используются дисковые усилители со световыми диаметрами 35; 85; 200 мм. Цель экспериментов на «Янусе» — продемонстрировать эффект сжатия сферической мишени. Наряду со стандартными способами определения температуры плазмы по мягкому рентгеновскому излучению методом фильтров, рентгеновскими камерами-обскурами, спектроскопическими приборами, анализирующими рассеиваемое плазмой излучение, в стадии настройки непосредственно на камере взаимодействия находится рентгеновский ЭОП, позволяющий проводить съемку объекта в режиме целевой развертки с временным разрешением 10 нс. Разработан и с успехом используется рентге-

новский микроскоп. Несомненный интерес представляют измерения энергетических спектров  $\alpha$ -частиц, являющихся продуктами D — T-реакции синтеза. При сравнительно небольших ( $\sim 10^6$ ) нейтронных выходах в экспериментах по облучению мишеней мощными лазерными импульсами, которые наблюдаются в настоящее время, анализ энергетического спектра нейтронов провести крайне трудно, и предложенный метод оказывается весьма полезным и, по-видимому, дает возможность судить о термоядерной или нетермоядерной природе нейтронов.

На установке «Циклоп» ведутся работы по усовершенствованию оптических элементов лазерной системы, опробованию мягких диафрагм, пространственных фильтров и ячеек Фарадея. Исследуются различные способы борьбы с паразитными осцилляциями в дисковых усилителях. Фактически установка «Циклоп» является модулем последующих многолучевых лазерных систем. В ЛЛЛЛ начаты работы по созданию установки «Аргус», которая будет состоять из двух параллельно действующих установок «Циклоп».

Достаточно быстрыми темпами ведется создание 20-канальной системы «Шива» с энергией 10 кДж в коротком лазерном импульсе. По плану эксперименты предполагается начать в конце 1977 г. На этой установке американские специалисты в 1977—1979 гг. надеются получить значительное выделение термоядерной энергии (10—20% от энергии лазерного излучения, вкладываемой в мишень), а в последующие один-два года можно будет перейти к экспериментам, в которых выделяющаяся энергия окажется на уровне энергии лазерного импульса. Предусматривается возможность работы на второй и четвертой гармониках излучения неодимового лазера.

Сотрудниками ЛЛЛЛ был также представлен доклад об импульсном  $\text{CO}_2$ -лазере (проект «Валькирия») с энергией 50 Дж в импульсе длительностью 1 нс. Усижительные каскады установки изготовлены фирмой «Максвелл». При воздействии на  $\text{CH}_2$ -фольгу толщиной 5 мкм около 6% излучения  $\text{CO}_2$ -лазера при плотности мощности  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> рассеивалось навстречу первичному лазерному пучку в телесный угол 0,4 стер. Активно ведутся работы по созданию импульсных  $\text{CO}_2$ -лазеров для термоядерных исследований в ЛАНЛ. Задающий генератор и система предусилителей формирует импульс

длительностью 1 нс, световой пучок делится на две части, расширяется и вводится в две камеры оконечного каскада, расположенные по обе стороны от катода, электронные пучки с которого возбуждают рабочую газовую смесь одновременно в обеих камерах. После усиления энергия в каждом из двух пучков диаметром 35 см достигает 1,25 кДж. Установка представляет собой один из четырех модулей проектируемой лазерной системы на 10 кДж.

Интересные результаты получены группой Мак-Кюла (ЛАНЛ), исследующей процессы, ответственные за anomalously низкую теплопроводность плазмы, которая образуется при облучении твердых сферических и плоских мишеней, в области надкритических плотностей. Эксперименты проводятся на двух установках. В одной из них используется двухлучевой неодимовый лазер с энергией 30 Дж в каждом пучке и длительностью импульса 150 нс, в другой — однолучевой  $\text{CO}_2$ -лазер с энергией 150 Дж в импульсе длительностью 1,5 нс.

Обращают на себя внимание также работы Шеперта (ЛАНЛ), в которых изучен ряд тонких эффектов, имеющих большое значение для работы  $\text{CO}_2$ -лазеров. Достигнута одновременная генерация на нескольких линиях при размещении внутри резонатора ячеек с разными газами (элегаз, бутан и др.). В режиме усиления импульсов малой длительности дисперсионные эффекты для различных вращательно-колебательных переходов могут не совпадать, поэтому суммарный импульс после усиления будет иметь большую длительность. Проанализирован временной ход вращательной температуры, теоретически оценен максимально возможный КПД  $\text{CO}_2$ -лазера, предложен метод и освоена техника измерения размеров фокального пятна и плотности энергии (с помощью дифракционной решетки).

Учеными ФРГ (Г. Бредерлоу и др., Гархинг) был представлен проект иодного лазера «Астерикс III» с энергией излучения 1 кДж в наносекундном импульсе на длине волны 1,315 мкм. Предполагается его использование для термоядерных исследований.

Следует отметить, что в США в широких масштабах ведутся работы по изучению новых активных газовых сред. В частности, большое внимание уделяется разработке химических лазеров, лазеров на парах металлов и лазеров на смесях инертных газов с кислородом.

БАРАНОВ В. Ю., КОВАЛЬСКИЙ Н. Г.

## Советско-американское рабочее совещание по проблемам открытых ловушек

С 15 по 21 сентября 1975 г. в Новосибирске в Академгородке проходило советско-американское рабочее совещание по проблемам удержания и устойчивости плазмы в открытых ловушках, организованное в рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между СССР и США.

В центре внимания было обсуждение результатов исследований столкновительной плазмы в ловушках с минимумом В: ПР-6, ПР-7 (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, Москва), 2X2, 2X2В (Ливерморская лаборатория им. Лоуренса, Калифорния). В ловушках ПР-6, ПР-7 исследуется плазма в диапазоне плотностей до  $3 \cdot 10^{12}$  см<sup>-3</sup> с температурой ионов около 0,5 кэВ. Наблюдения распада плазмы показали, что после некоторого периода устойчивости

в плазме развиваются колебания, вызывающие anomalously быстрые потери частиц через магнитные пробки. Ряд экспериментов, выполненных ранее, свидетельствует о том, что задержка развития неустойчивости связана со стабилизирующим действием холодной плазмы, находящейся вне области удержания горячей плазмы. Для выяснения этого вопроса в ПР-6 была установлена дополнительная импульсная обмотка, развивающая поток силовых линий между областью плазменного инжектора и ловушкой. Показано, что разрыв потока, устраняющий контакт холодной плазмы с горячей, действительно сопровождается развитием неустойчивости.

На установках серии «X» Ливерморской лаборатории наряду с задачей исследования физики удержа-