

# Физика плазмы и плазменные технологии (тематический выпуск)

УДК 621

## XXIX Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу

*В. А. Иванов, М. Л. Нагасва*  
Институт общей физики РАН, Москва, Россия

*Представлены данные по статусу и научной значимости последней Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу и плазменным технологиям.*

Очередная ежегодная XXIX Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу (УТС) состоялась в г. Звенигороде с 25 февраля по 1 марта 2002 г. Для обсуждения было представлено 244 научных доклада из 35 российских и иностранных научных центров, ведущих исследования по физике плазмы, управляемому термоядерному синтезу и плазменным технологиям. Общее количество авторов докладов составило более 700 человек. На конференции были заслушаны доклады по четырём важнейшим направлениям физики плазмы:

1. Магнитное удержание высокотемпературной плазмы и термоядерный синтез в стационарных и квазистационарных магнитных ловушках.
2. Инерциальный термоядерный синтез.
3. Релятивистская СВЧ-электроника и плазменные процессы.
4. Физические основы плазменных технологий.

Этим направлениям исследований была посвящена работа соответствующих секций конференции, на которых обсуждались как устные, так и стендовые доклады. Помимо секционных заседаний, состоялись четыре пленарных заседания, на которых все участники конференции заслушали и обсудили 17 обзорных докладов с результатами исследований и достижениями, полученными за последние годы в мире по важнейшим направлениям физики и техники плазмы.

Отмечено, что продолжающееся сокращение государственного финансирования научных исследований в России за последние 12 лет привело к прекращению строительства новых крупных экспериментальных установок мирового значения и заметному отставанию в области получения высокотемпературной плазмы и управляемого термоядерного синтеза. Это отразилось на снижении качества и количества получаемых экспериментальных результатов в российских центрах науки. В результате ослаблено влияние ведущихся в России научных исследований на мировой научный процесс. Несмотря на общие неблагоприятные тенденции, в последние два года наблюдается некоторое оживление в отдельных направлениях исследований.

В области изучения фундаментальных процессов в плазме исследования ведутся в России при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и иностранных научных фондов. Сразу несколько групп российских ученых (ИОФ РАН, ФИ РАН, ОИВТ РАН, ИПМ РАН) достигли значительных результатов в области фундаментальных теоретических исследований по взаимодействию мощного электромагнитного излучения с плазмой и конденсированными средами.

В обзорном докладе академика В. Е. Фортова были представлены новые фундаментальные результаты экспериментальных исследований о физических свойствах материалов при высоких плотностях энергии в широкой области параметров мощных ударных волн и интенсивных адиабат расширения. Используемая диагностика высокого разрешения позволила измерять термодинамические, радиационные и механические свойства веществ при сверхвысоких давлениях — от сжатого твердого состояния до области газа низкой плотности, включая кривую испарения высокого давления для металлов вблизи критической точки, сильно неидеальную плазму, а также область перехода металл — изолятор.

В докладе академика В. Д. Шафранова “50 лет магнитному управляемому термоядерному синтезу (УТС)” дан общий обзор исследований, выполненных большими коллективами ученых, работающих в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза последние 25 лет. В докладе отмечено, что установка “Токамак” — выдающееся российское изобретение мирового уровня — позволила сделать прорыв мировой науки в термоядерных исследованиях. “Токамак” как принципиально новый подход магнитного удержания плазмы позволила в настоящее время подойти вплотную к созданию реального проекта экспериментального термоядерного реактора. “Токамак” как перспективная экспериментальная установка стала в то же время “ледоколом” для всей программы УТС как в России, так и в мире, прокладывая путь другим магнитным системам, в первую очередь, системам, не требующим для удержания плазмы сильного тороидального электрического тока. Речь идет, конечно, о винтовых тороидальных магнитных системах стеллараторного типа, которые последовательно развиваются в России, Германии, Японии, а теперь уже и в Испании. В настоящее время эти системы переживают своего рода возрождение. Работы по оптимизации формы граничной магнитной поверхности вместо оптимизации расположения винтовых проводников привели к открытию винтовых систем нового типа, в том числе компактных оптимизированных стеллараторов, вплоть до двухпериодных.

Доклад профессора Ю. Н. Смирнова “СССР: от сверхмощного термоядерного взрыва в 50 Мт к программе применения ядерных зарядов в мирных целях” носил исторически обзорный характер. В нем было показано, что проведение экспериментальных ядерных взрывов в мирных целях сформировало новое направление для разработчиков — создание специальных ядерных зарядов с особыми параметрами и свойствами.

Работам, проводимым в настоящее время в ведущих институтах Российской академии наук, были посвящены доклады:

д-ра физ.-мат. наук В. К. Гусева и д-ра физ.-мат. наук А. Д. Пилия — из Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе;

д-ра физ.-мат. наук В. С. Койдана и группы “ГОЛ-3” и д-ра физ.-мат. наук А. А. Иванова — из Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН.

канд. физ.-мат. наук В. Г. Зорина и д-ра физ.-мат. наук В. Е. Семенова — из Института прикладной физики РАН.

В докладе д-ра физ.-мат. наук С. Г. Гаранина (РФЯЦ ВНИИЭФ, г. Саров) сделан обзор работ, проводимых по программе лазерного термоядерного синтеза. Кратко изложены результаты расчетно-теоретического и экспериментального изучения сжатия стеклянных капсул с D-T-топливом, помещенных в сферический "хольраум", при использовании излучения лазера на парах иода в установке "Искра-5" (энергия лазерного импульса ~12 кДж, длительность импульса — 0,3 нс). В экспериментах продемонстрирована возможность сжатия мишеней при симметричном и асимметричном рентгеновском облучении, возникающем вследствие конверсии излучения лазера в рентген при взаимодействии со стенками "хольраума" — конвертера лазерного излучения в рентгеновское. Показана необходимость генерации однородного рентгеновского поля внутри конвертера. Детально разработана концепция построения нового многомодульного неодимового лазерного драйвера "Искра-6" с энергией ~300 кДж, представлены материалы о ходе строительства этой новой установки и дана информация о состоявшемся физическом запуске первого лазерного модуля "Луч" в начале 2002 г.

В докладе д-ра физ.-мат. наук В. Е. Грабовского (ТРИНИТИ) сообщалось о проводимых в последние годы в США и в России интенсивных исследованиях по сжатию многопроволочных цилиндрических лайнеров. Так, установки "Z" (Сандия, США) и "Ангара-5-1" (ТРИНИТИ) имеют перспективы достижения в ближайшее время эффективной генерации наносекундных импульсов мягкого рентгеновского излучения с энергией в импульсе около десятков мегаджоулей. Предложены схемы, в которых эти импульсы могут использоваться для равномерного облучения термоядерной мишени. Научные центры России ТРИНИТИ, НИИЭФА и Курчатовский институт разработали проект "Байкал", в котором сильноточный генератор, использующий энергию индуктивных накопителей, может генерировать электрический импульс с параметрами, необходимыми для оптимального сжатия лайнеров и получения рентгеновского импульса с энергией ~2 МДж. Отработка физических и технических решений проекта осуществляется на экспериментальной установке "МОЛ", созданной в ТРИНИТИ.

В докладе д-ра физ.-мат. наук С. Ф. Гаранина (РФЯЦ ВНИИЭФ, г. Саров) изложены результаты экспериментальных и теоретических работ в рамках концепции магнитного гидродинамического обжатия (МАГО). Этот подход предполагает использование предварительного нагрева дейтерий-тритиевой плазмы до температуры 0,2—0,4 кэВ и последующее адиабатическое сжатие плазмы лайнером, разгоняемым сжимающимся магнитным полем. Рассмотрены также возможности сжатия и получения режима зажигания термоядерной реакции в такой плазме при применении взрывного магнитного генератора.

Значительный интерес участников конференции вызвал обзорный доклад профессора Б. А. Трубникова (Институт ядерного синтеза РНЦ "Курчатовский институт") о работах в области теории элементарных частиц, названный "Элементарная теория элементарных частиц" и посвященный столетию постоянной Планка.

В докладе "Скрытая масса в свете последних наблюдений" д-ра физ.-мат. наук В. А. Сироты (Физический институт им. П. Н. Лебедева) представлены новые фундаментальные астрофизические данные, существенно изменяющие представления о прошлой и будущей динамике вещества и излучения во Вселенной.

В докладе чл.-кор. РАН Б. Н. Четверушкина (Институт математического моделирования РАН) представлены новые разработки в области фундаментальных проблем создания и использования многопроцессорной вычислительной техники.

Исследования, направленные на решение технологических проблем, ведутся российскими учеными в основном при финансовой поддержке иностранных научных центров и компаний. Это обусловлено тем, что международное научное сообщество и ведущие мировые производители высокотехнологичной продукции находятся в постоянном поиске новых перспективных технологий и исследований в России. В то же время со стороны российских государственных структур, а также частных компаний не проявляется интерес к перспективным технологическим исследованиям, ведущимся в российских научных центрах. Это обуславливает слабые перспективы для России в преодолении технологического отставания от технологически развитых стран.

На секцию "Магнитное удержание" было представлено 76 докладов (из них 20 на устных заседаниях и 58 — на стендовых), выполненных сотрудниками 15 российских научных организаций, 14 докладов выполнены совместно с зарубежными научными центрами из Германии, Греции, Испании, Италии, США, Японии и Украины.

На конференции были представлены результаты экспериментов, выполненных на действующих термоядерных установках: токамаках Т-10 (ИЯС РНЦ "Курчатовский институт"), Т-11М (ТРИНИТИ), "Туман-3М", ФТ-2 и ФТ-1 (ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН), стеллараторе Л-2М (ИОФАН) и открытых ловушках "Амбал-М", ГДЛ и ГОЛ-3-И (ИЯФ им. Г. И. Будкера СО АН).

Среди наиболее интересных работ, представленных на секции, следует отметить доклад д-ра физ.-мат. наук С. В. Мирнова "Ключевые события большого срыва в круглых токамаках", в котором изложен обзор экспериментов по исследованию большого срыва в токамаках круглого сечения, таких как Т-11М и TFTR.

В докладе В. И. Ильгисониса предложена модель возникновения транспортно-барьера, трактующая это явление как бифуркацию равновесного состояния. На базе этой модели объяснена причина малости внутреннего барьера на токамаке Т-10.

Вызвал интерес доклад канд. физ.-мат. наук С. Е. Гребенщикова (ИОФ РАН) "Компактный торсатрон для физических исследований", в котором представлен проект установки стеллараторного типа — торсатрон и рассмотрены возможности, которые предоставляет исследователям "гибкий" (с точки зрения возможности изменения конфигурации магнитного поля) торсатрон с малым аспектным отношением ( $A = 3,5$ ). Отмечены преимущества данной установки — небольшой размер, возможность изменения в широких пределах неклассических потерь, подавление турбулентности с помощью магнитной ямы и др.

Не ослабевает интерес к исследованию процесса  $L-H$ -перехода ( $L$  — режим с низким энергосодержанием;  $H$  — режим с высоким энергосодержанием плазмы) в системах с магнитным удержанием плазмы и причин, вызывающих этот переход. Экспериментально  $L-H$ -переход исследуется в токамаках Т-10, "Туман-3М", ФТ-2. Так, в токамаке "Туман-2М" с помощью диагностического пучка тяжелых ионов измерено поведение потенциала плазмы при  $L-H$ -переходе. Обнаружено уменьшение потенциала на 150 В. Характерное время изменения потенциала 8—10 мс существенно превышает время  $L-H$ -перехода (2 мс). Это может явиться следствием генерации на периферии структуры, аналогичной структуре двойного слоя.

Продолжаются исследования режимов с улучшенным удержанием в центральных областях разряда на токамаке ФТ-2 (проф. С. И. Лашкул и др. "Динамика формирования транспортного барьера в экспериментах на ФТ-2 при НГ-нагреве"). Здесь изменение радиального электрического поля инициируется дрейфовым потоком тороидально запертых ионов в условиях неоднородного продольного электрического поля, возникающего в момент быстрого подъема плазменного тока.

Ведутся работы по исследованию литиевой диафрагмы на токамаке Т-11М. В докладе д-ра физ.-мат. наук А. М. Белова "Динамика выделения энергии на Li-диафрагме токамака в ходе развития большого срыва и запертой моды" приведена мощность энерговыделения на диафрагму, причем уровень тепловой нагрузки на диафрагму был близок к значениям, предполагаемым для нагрузок на дивертор при режимах с ELM-процессами в установке ITER-FEAT.

На стеллараторе Л-2М были выполнены эксперименты по боронизации камеры (канд. физ.-мат. наук А. И. Мещеряков и др. "Первые эксперименты по боронизации в стеллараторе Л-2М"). Боронизация проводилась в тлеющем разряде в смеси газов He и карборана ( $C_2B_{10}H_{12}$ ). В результате боронизации удалось снизить мощность излучательных потерь в 3—4 раза. Интенсивность свечения линий ионов кислорода и углерода уменьшается в 4—5 раз. В результате получен режим, в котором излучательные потери из плазмы играют незначительную роль.

В Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера предложена программа модернизации установки ГДЛ, цель которой — повышение основных параметров плазмы в ГДЛ до уровня адекватного источника нейтронов (д-р физ.-мат. наук П. А. Багрянский "Планы модернизации установки ГДЛ"), имеющего плотность мощности нейтронного потока 0,2—0,4 МВт/м<sup>2</sup>.

Неизменный интерес у участников конференции вызывают доклады, посвященные первым экспериментам на сферическом токамаке "Глобус-М" ( $A = R/r < 1,5$ ). Эксперименты на сферических токамаках нацелены на создание компактных термоядерных реакторов, способных значительно сократить материальные затраты при изготовлении реактора.

На четырех секционных заседаниях по теме "Инерциальный термоядерный синтез" было представлено 16 устных и 35 стендовых докладов. Работы выполнены в ведущих научных центрах России: ФИ РАН, РФЯЦ ВНИИЭФ, ИЯС РНЦ "Курчатовский институт", ГНЦ РФ ТРИНИТИ и др.

В ряде докладов представлены результаты работ, проведенных с участием российских ученых в зарубежных лабораториях: Институте физики плазмы и лазерного микросинтеза (Варшава, Польша), Ливерморской национальной лаборатории и Лос-Аламосской национальной лаборатории (США), Лаборатории плазменных исследований Корнельского университета (США), Центре исследований в Сакле (Франция), Университете Бордо, Университете П. и М. Кюри в Париже (Франция), в ENEA и INFN (Италия).

Небольшое количество сообщений по сравнению с прошлой конференцией, посвященных взаимодействию лазерного излучения с веществом, можно объяснить проведением по данной тематике международной конференции "IV Харитоновские научные чтения" непосредственно перед Звенигородской конференцией. Тем не менее примерно половина всех докладов касалась исследований по лазерному термоядерному синтезу (наиболее продвинутого направления инерциального синтеза) и ряду сопутствующих приложений. Были представлены доклады, посвященные теоретической разработке перспективных термоядерных мишеней; изучению эффективности быстрого поджига

мишеней; анализу турбулентного перемешивания ускоряемой оболочки и топлива, а также развитию неустойчивостей в центральной части криогенных мишеней; изучению взаимодействия мощного лазерного излучения с мало-плотными пористыми средами; рентгеновским спектральным измерениям при взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов с твердотельными и кластерными мишенями; моделированию процессов, протекающих при распространении интенсивных ультракоротких лазерных импульсов в плазме, в частности, формированию и ускорению электронных сгустков в плазме; численному моделированию радиационных процессов в высокотемпературной плотной плазме, состоящей из многозарядных ионов; разработке технологий изготовления, аттестации и транспортировки мишеней (в частности, рассмотрен созданный в ФИ РАН экспериментальный комплекс для формирования лазерных криогенных мишеней). К сожалению, представленные доклады лишь фрагментарно отражают проблематику лазерного термоядерного синтеза и уровень работ, выполненных в России.

В других секционных докладах рассматривались альтернативные (не применяющие лазерный драйвер) подходы к инерциальному термоядерному синтезу. Здесь были представлены результаты экспериментального и теоретического исследований процессов, протекающих в Z-пинчах и пинчах с многопроволочными лайнерами (ГНЦ РФ ТРИНИТИ, РНЦ "Курчатовский институт"), в системе МАГО (РФЯЦ-ВНИИЭФ), установках типа плазменный фокус (РНЦ "Курчатовский институт", ФИ РАН, Институт физики плазмы и лазерного микросинтеза в Варшаве).

В ряде работ проведено численное моделирование исследуемых процессов, экспериментальные данные сравниваются с расчетными данными, причем компьютерные расчеты используют развитые коды (и в этой связи отметим активность ИММ РАН, ФИ РАН, РНЦ "Курчатовский институт"). На конференции не обойдено вниманием и развитие диагностических методов в исследованиях по инерциальному синтезу.

Отметим ряд интересных докладов, рассматривающих применение X-пинча в качестве точечного источника мягкого рентгеновского излучения для радиографии плотной плазмы и других объектов (ФИ РАН, ГНЦ РФ ТРИНИТИ), рентгеновские измерения с высоким спектральным, пространственным и временным разрешением (ГНЦ РФ ВНИИФТРИ, ФИ РАН), спектрально-временной анализ рассеянного лазерной плазмой излучения, измерения азимутальных магнитных полей на установке "Ангара-5-1", нейтронные измерения на установках типа плазменный фокус, создание системы многокадрового теневого зондирования для ускорителя С-300, использование фото-нейтронных реакций для измерений высокого напряжения в вакуумном диоде сильноточного генератора.

Многие работы, представленные в докладах, были выполнены на хорошем научном уровне и вызвали интерес у аудитории. Отметим прогресс, достигнутый в разработке технологии изготовления криогенных сферических мишеней. Несмотря на резкое сокращение в России числа действующих установок, получен ряд интересных экспериментальных результатов, существенных для решения проблемы лазерного термоядерного синтеза. Необходимо отметить активизацию теоретического и экспериментального исследований сжатия лайнеров (для генерации мощных потоков рентгеновского излучения) и процессов, протекающих в сильноточных Z-пинчах.

На секции "Релятивистская СВЧ-электроника и плазменные процессы" проведены три устных заседания с общим числом докладов 18. На двух стендовых заседаниях было представлено 29 работ. Доклады были посвящены

следующим темам: динамика плотной плазмы, релятивистская СВЧ-электроника, методы ускорения заряженных частиц, разряд в газе.

Образование токовых слоев в трехмерной конфигурации магнитного поля обсуждалось в докладе д-ра физ.-мат. наук А. Г. Франка и др. (ИОФ РАН). Исследуемая в эксперименте конфигурация магнитного поля имеет место в плазме Солнца. Этим объясняется важность наблюдения токовых слоев в этом модельном эксперименте. Попыткам создания плотной горячей плазмы в лазерной протяженной искре малого диаметра при высокой мощности излучения (~ 6 ГВт) был посвящен доклад проф. Л. Н. Пятницкого (ИВТ РАН, Москва). При постановке экспериментов ожидалось, что получится однородная искра с длиной, намного превосходящей ее диаметр. Оказалось, что длинная искра содержит неоднородности с размером порядка ее диаметра. Исследовались причины наблюдаемых сложных структур. Эти работы, а также работы д-ра физ.-мат. наук В. П. Гавриленко и др. (Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности, Москва) выделяются применением прекрасных оптических методик.

Численный расчет динамики плазмы при обжатии ее взрывом и при воздействии мощного СВЧ-излучения был представлен в докладах д-ра физ.-мат. наук С. Ф. Гаранина и др. (ВНИИЭФ, г. Саров) и проф. В. Б. Гильденбурга (ИПФ РАН, Н.-Новгород).

Сообщение об уникальном эксперименте по генерации мощного (сотни мегаватт) излучения на длине волны 4 мм было доложено д-ром физ.-мат. наук А. В. Аржанниковым и др. (ИЯФ СО РАН, Новосибирск). Важно, что в этих экспериментах по вакуумной релятивистской СВЧ-электронике большую роль играют плазменные процессы. Применение плазмы для генерации мощного СВЧ-излучения обсуждалось в докладе канд. физ.-мат. наук О. Т. Лозы и др. (ИОФ РАН, Москва). Показано, что излучение релятивистского плазменного СВЧ-генератора может быть узкополосным, а средняя частота может перестраиваться в 1,5 раза (от 1,6 до 2,5 ГГц при частотной ширине излучения 40 МГц) за счет изменения плотности плазмы.

Два доклада по виркаторам (релятивистским СВЧ-приборам, основанным на плазменных колебаниях электронного пучка) были представлены д-ром физ.-мат. наук Р. К. Нургалиевым и д-ром физ.-мат. наук А. В. Царевым (ВНИИЭФ, г. Саров). В этих экспериментах была измерена полная энергия излучения. Оказалось, что КПД этих устройств мал (менее 1 %). Исследовались возможности сужения ширины спектра излучения виркатора.

Физике газового разряда были посвящены два доклада — проф. В. И. Карася и др. (ХФТИ, Харьков) и д-ра физ.-мат. наук Л. В. Симончика и др. (Институт молекулярной и атомной физики, Минск). Эти исследования важны для прикладных задач. Проблемы ускорения частиц в сильных электромагнитных полях рассматривались в докладе д-ра физ.-мат. наук В. П. Милантьева и др. (Российский университет дружбы народов, Москва) и проф. В. И. Карася и др. (ХФТИ, г. Харьков). Эффекты ускорения частиц исследовались аналитически и методом численного моделирования, к сожалению, экспериментальные исследования не проводились.

На секцию "Физические основы плазменных технологий" было представлено 38 докладов, из них 7 докладов были заслушаны как устные, остальные — стендовые. Тематика этих докладов была, как и в прошлые годы, достаточно широкой: от собственно основ плазменных технологий до новых подходов в программе УТС (например, сообщение В. Ю. Великодного и В. А. Битюркина (ИпрМ РАН, ИВТ РАН) "Кластерный синтез легких ядер D+D"). Большинство докладов относилось к следующим проблемам. Это исследование про-

следующим темам: динамика плотной плазмы, релятивистская СВЧ-электроника, методы ускорения заряженных частиц, разряд в газе.

Образование токовых слоев в трехмерной конфигурации магнитного поля обсуждалось в докладе д-ра физ.-мат. наук А. Г. Франка и др. (ИОФ РАН). Исследуемая в эксперименте конфигурация магнитного поля имеет место в плазме Солнца. Этим объясняется важность наблюдения токовых слоев в этом модельном эксперименте. Попыткам создания плотной горячей плазмы в лазерной протяженной искре малого диаметра при высокой мощности излучения (~ 6 ГВт) был посвящен доклад проф. Л. Н. Пятницкого (ИВТ РАН, Москва). При постановке экспериментов ожидалось, что получится однородная искра с длиной, намного превосходящей ее диаметр. Оказалось, что длинная искра содержит неоднородности с размером порядка ее диаметра. Исследовались причины наблюдаемых сложных структур. Эти работы, а также работы д-ра физ.-мат. наук В. П. Гавриленко и др. (Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности, Москва) выделяются применением прекрасных оптических методик.

Численный расчет динамики плазмы при обжати и взрыве и при воздействии мощного СВЧ-излучения был представлен в докладах д-ра физ.-мат. наук С. Ф. Гаранина и др. (ВНИИЭФ, г. Саров) и проф. В. Б. Гильденбурга (ИПФ РАН, Н.-Новгород).

Сообщение об уникальном эксперименте по генерации мощного (сотни мегаватт) излучения на длине волны 4 мм было доложено д-ром физ.-мат. наук А. В. Аржанниковым и др. (ИЯФ СО РАН, Новосибирск). Важно, что в этих экспериментах по вакуумной релятивистской СВЧ-электронике большую роль играют плазменные процессы. Применение плазмы для генерации мощного СВЧ-излучения обсуждалось в докладе канд. физ.-мат. наук О. Т. Лозы и др. (ИОФ РАН, Москва). Показано, что излучение релятивистского плазменного СВЧ-генератора может быть узкополосным, а средняя частота может перестраиваться в 1,5 раза (от 1,6 до 2,5 ГГц при частотной ширине излучения 40 МГц) за счет изменения плотности плазмы.

Два доклада по виркаторам (релятивистским СВЧ-приборам, основанным на плазменных колебаниях электронного пучка) были представлены д-ром физ.-мат. наук Р. К. Нурғалиевым и д-ром физ.-мат. наук А. В. Царевым (ВНИИЭФ, г. Саров). В этих экспериментах была измерена полная энергия излучения. Оказалось, что КПД этих устройств мал (менее 1 %). Исследовались возможности сужения ширины спектра излучения виркатора.

Физике газового разряда были посвящены два доклада — проф. В. И. Карася и др. (ХФТИ, Харьков) и д-ра физ.-мат. наук Л. В. Симончика и др. (Институт молекулярной и атомной физики, Минск). Эти исследования важны для прикладных задач. Проблемы ускорения частиц в сильных электромагнитных полях рассматривались в докладе д-ра физ.-мат. наук В. П. Милантьева и др. (Российский университет дружбы народов, Москва) и проф. В. И. Карася и др. (ХФТИ, г. Харьков). Эффекты ускорения частиц исследовались аналитически и методом численного моделирования, к сожалению, экспериментальные исследования не проводились.

На секцию "Физические основы плазменных технологий" было представлено 38 докладов, из них 7 докладов были заслушаны как устные, остальные — стендовые. Тематика этих докладов была, как и в прошлые годы, достаточно широкой: от собственно основ плазменных технологий до новых подходов в программе УТС (например, сообщение В. Ю. Великодного и В. А. Битюрина (ИпрМ РАН, ИВТ РАН) "Кластерный синтез легких ядер D+D"). Большинство докладов относилось к следующим проблемам. Это исследование про-

цессов при взаимодействии плазмы и излучения (корпускулярного и лазерного) с поверхностью твердых тел как в различных газоразрядных устройствах, так и в различных технологических процессах модификации свойств поверхности: ее очистки (И. И. Морозов из ИЯФ СО РАН), нанесения покрытий (А. Н. Кузнецов, Н. В. Прахов из МГТУ им. Баумана), обработки биологических тканей (канд. физ.-мат. наук В. М. Фадеев и др.), в технологии микроэлектроники, электрографии и др. Большое внимание уделено изучению процессов в плазменных технологических реакторах, предназначенных для очистки газов, в том числе воздуха (А. В. Козырев, А. Г. Ситников из ИСЭ СО РАН), разделения многокомпонентных смесей газов (проф. А. Ф. Александров и др. из МГУ), производства озона (А. М. Анпилов и др. из ИОФ РАН), плазменных установках для разделения изотопов методом ИЦР-нагрева (д-р физ.-мат. наук В. И. Волосов и др. из ИЯФ СО РАН), а также изучению физики газовых разрядов различного типа: поверхностных СВЧ-разрядов и их взаимодействия со сверхзвуковыми потоками газа (проф. А. Ф. Александров и др. из МГУ), электрических дуг, коронно-стримерных разрядов (А. В. Козырев, А. Г. Ситников из ИСЭ СО РАН), несамостоятельных газовых разрядов (Н. В. Арделян и др. из МГУ), индукционных ВЧ-разрядах низкого давления (А. М. Быстров и др. из ИПФ РАН).

Ряд работ был посвящен созданию на основе электрических разрядов в газе источников УФ-излучения и размыкателей тока (д-р физ.-мат. наук Э. А. Азизов и др. из ТРИНИТИ, Г. И. Долгачев и др. — из РНЦ “Курчатовский институт”, д-р физ.-мат. наук В. М. Борисов и др. — из ТРИНИТИ).

Большое внимание было уделено физике разрядов в газах сложного состава и при наличии капельных, пылевых, органических полимерных и других примесей (канд. физ.-мат. наук А. Б. Кукушкин и др. — из РНЦ “Курчатовский институт”; д-р физ.-мат. наук Г. И. Змиевская и др. — из ИПМ РАН; д-р физ.-мат. наук А. В. Бычков и проф. И. Б. Тимофеев — из МГУ; М. П. Луковникова и др. — из Иркутского государственного университета). В ряде работ рассматривались различные аспекты диагностики плазмы.

Тезисы докладов, представленные на конференцию, были опубликованы в сборнике “Тезисы докладов ХХІХ Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС”, а также на странице в Интернет [www.fpl.gpi.ru](http://www.fpl.gpi.ru).

Часть полных текстов докладов представлена для опубликования в журналах “Физика плазмы” и “Прикладная физика”.

Следует отметить, что ХХІХ Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу является важным событием, оказавшим влияние на развитие научных исследований и их координацию в ведущих российских научных центрах.

Финансовую поддержку конференции оказали Российский фонд фундаментальных исследований, Российская академия наук, Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Министерство промышленности, науки и технологий России, Федеральная целевая программа “Интеграция”.

Постоянными организаторами конференции являются Научный совет по физике плазмы Российской академии наук, Институт общей физики РАН, Научно-технологический центр ПЛАЗМАИОФАН, Объединенный учебно-научный центр “Фундаментальные основы высоких технологий и современных методов исследований в физике”.

Подводя итоги конференции, следует отметить следующее.

1. Звенигородская конференция является единственным форумом ученых России, работающих в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза в нашей стране. Она проходит ежегодно (в 2002 г. — 29-й раз) и

собирает на свои заседания значительное количество участников из различных научных центров, которые имеют возможность обмениваться информацией по актуальным проблемам науки о плазме. Проведение конференции целесообразно и в дальнейшем.

2. Наблюдается снижение числа экспериментальных работ в области как магнитного удержания, так и инерциального УТС, что отражает сокращение экспериментальной базы, физическое и моральное старение установок и диагностического оборудования, отсутствие роста научных коллективов.

3. Заметен некоторый рост интереса к научным исследованиям среди молодежи, принявшей активное участие в работе конференции.

4. Наблюдается увеличение числа работ, посвященных прикладным исследованиям.

В данном выпуске журнала "Прикладная физика" представлены некоторые доклады, которые были заслушаны на секциях "Физические основы плазменных технологий" и "Релятивистская СВЧ-электроника и плазменные процессы" XXIX Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС.

Сотрудничество редакционной коллегии журнала "Прикладная физика" и организационного комитета Звенигородской конференции в публикации наиболее значимых материалов конференции является полезным и важным для продвижения достижений и результатов фундаментальной и прикладной российской науки на национальном и мировом научно-технологическом рынках.

## **XXIX Zvenigorod conference on plasma physics and controllable thermonuclear fusion**

*V. A. Ivanov, M. L. Nagaeva*

General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*The data on the status and the scientific significance of the last Zvenigorod conference on plasma physics and controllable thermonuclear fusion are submitted in the paper.*