

Всероссийская конференция по физике низкотемпературной плазмы (с международным участием) ФНТП–2007 проходила с 24 по 28 июня 2007 г. на теплоходе «Александр Суворов», арендованном для этой цели Петрозаводским государственным университетом. Теплоход следовал по маршруту: С.–Петербург – о. Валаам – д. Верхние Мандроги – С.–Петербург.

Организаторы конференции:

- Российский фонд фундаментальных исследований
- Научный совет РАН по проблемам физики низкотемпературной плазмы
- ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»
- Институт теплофизики экстремальных состояний РАН
- Институт электрофизики и электроэнергетики РАН

Председатель программного комитета: академик РАН В. Е. Фортов.

Председатель организационного комитета: проф., д.ф–м.н. А. Д. Хахаев.

Согласно установившейся традиции на конференции были представлены работы по следующим научным направлениям:

1. Элементарные процессы в плазме.
2. Диагностика плазмы.
3. Кинетика низкотемпературной плазмы.
4. Теплофизические, оптические, транспортные свойства плазмы.
5. Приэлектродные процессы в плазме.
6. Газовый разряд.
7. Коллективные процессы в плазме.
8. Компьютерное моделирование низкотемпературной плазмы.
9. Приложения низкотемпературной плазмы (НТП).
10. Пылевая плазма и кластеры в плазме.

Впервые введена секция «Выставки и реклама промышленных приложений низкотемпературной плазмы».

В конференции приняло участие 12 представителей зарубежных стран (Белоруссии, Германии, Казахстана, Сербии, США и Эстонии).

Из России были представители 12 городов (из Петрозаводска, С.–Петербурга, Москвы и научных центров Московской области, Казани, Новосибирска, Томска и Самары); 14 научно–исследовательских институтов РАН, 11 университетов и Российское представительство фирмы National Instruments.

Всего зарегистрировано 179 участников конференции, представивших 125 докладов. С учетом соавторов на конференции были представлены работы 342 авторов.

Среди участников конференции из России было 16 докторов и 38 кандидатов наук.

Следует отметить активное участие молодежи в конференции – 25 участников было не старше 30 лет.

34 из представленных докладов поддержаны грантами РФФИ и 23 – грантами других организаций, в том числе РАН, АФГИР, региональных правительств и управления делами Президента России.

Работа конференции была организована в форме:

- пленарных заседаний, на которых было представлено 4 доклада;
- секционных заседаний, на которых было представлено 36 устных докладов;
- стендовых секций на которых было представлено 85 стендовых докладов.

К началу работы конференции была издана издательством ПетрГУ программа конференции и сборник представленных докладов в 2 томах, которые были вручены каждому участнику.

В пленарных докладах отражены основные современные тенденции развития фундаментальных исследований и приложений физики плазмы.

В докладе «Электродный СВЧ-разряд: эксперименты, моделирование, применение», представленном Ю. А. Лебедевым от имени группы соавторов из Института

нефтехимического синтеза РАН им. А. В. Топчиева (Москва) обсуждались свойства электродного микроволнового разряда и такие его уникальные особенности как возможность создания компактных плазменных структур в требуемой точке пространства плазмы в широком диапазоне давлений при экстремально низких мощностях разряда (1–2 Вт). Наиболее перспективным в настоящее время является использование электродного микроволнового разряда для осаждения алмазных покрытий, металлических и оксидных пленок и получения нанотрубчатых материалов.

Доклад А. А. Богомаза «Новые результаты исследований мощных импульсных разрядов в сверхплотных средах», представленный от имени группы соавторов из Института электрофизики и электроэнергетики Российской Академии наук (С.-Петербург), был посвящен изучению свойств разрядов в водороде и гелии при давлениях 5–30 МПа и амплитудах тока до 2 МА. Построена теоретическая модель разряда, представляющего из себя металлическую плазму многозарядных ионов, окруженную газом (водород или гелий) высокого давления, продемонстрировано удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. Эта модель важна для разработки приложений.

Развитие взглядов и представлений, важных как для фундаментальной физики, так и для приложений комплексной плазмы, освещено в докладе Л. М. Василяка «Параметрические воздействия на пылевые структуры в плазме», представленном от имени группы соавторов из Объединенного института высоких температур РАН (Москва). Авторами экспериментально и теоретически рассмотрена эволюция пылевых структур из частиц алюминия в стратифицированном тлеющем разряде и высокочастотном разряде. Показано, что при воздействии на тлеющий разряд наносекундными импульсами амплитудой в десятки киловольт в зависимости от частоты следования импульсов можно создавать новую ловушку для удержания частиц, стабилизировать имеющуюся структуру или вызывать возмущение в имеющихся структурах без их разрушения и раскачивать колебания во всей структуре. Используя низкочастотное параметрическое возбуждение плазмы ВЧ-разряда путем модуляции ВЧ-напряжения разряда, можно осуществить при малой глубине модуляции динамическую стабилизацию пылевых частиц, которая приводит к перестройке структуры, увеличению ее плотности и возникновению нового динамического равновесия. При глубине модуляции больше критической наблюдается параметрический резонанс в ограниченной полосе частот. Порог возбуждения при этом зависит от массы частиц.

Оживленную дискуссию вызвал пленарный доклад П. Воробьева (Университет Нью-Мексико, США) «Турбулентность и пространственная размерность». Осветив вековую историю развития понятия «турбулентность», автор показал, какое большое значение может иметь это понятие для физики плазмы.

Из секционных устных и стендовых докладов прежде всего следует выделить большую группу работ, посвященных приложениям НТП. Причем сюда относятся не только все доклады соответствующей секции, но и многие работы, представленные на других секциях, которые имели целью оптимизацию известных плазменных технологий или раскрывают новые возможности приложений НТП.

В частности, в докладе, представленном группой русских (Москва) и немецких (Мюнхен, Дармштадт, Франкфурт–на–Майне) ученых в секции «Элементарные процессы в плазме» описаны исследования, цель которых состояла в создании эффективных источников когерентного ультрафиолетового излучения (эксимерных лазеров) при взаимодействии плазмы с пучками тяжелых ионов и эффективных источников света при взаимодействии плазмы с пучками медленных электронов.

В той же секции в докладе «Исследование динамики радикалов в импульсно-периодическом СВЧ-разряде, поддерживаемом в газовой смеси  $H_2+CH_4$ », представленном А. М. Горбачевым с соавторами из Института прикладной физики РАН, спектроскопическая диагностика пространственно–временных распределений компонент

плазмы и актинометрическое определение концентрации водорода проведены с целью обоснования влияния частоты следования и скважности СВЧ- импульсов на морфологию и текстуру алмазных пленок, для выращивания которых и предназначены разряды такого типа.

Задаче оптимизации плазменной технологии нанесения алмазоподобных покрытий был также посвящен доклад «Электрофизические и оптико–спектроскопические исследования импульсного вакуумного дугового разряда с графитовым катодом», представленный группой ученых Национальной академии наук Беларуси.

Доклад Ф. Г. Бакшта и В. Ф. Лапшина «Двухтемпературная модель импульсно-периодического излучающего разряда высокого давления в парах цезия» представлен в секции «Кинетика низкотемпературной плазмы». В нем разрабатывается теоретическая модель импульсного разряда высокого давления в цезии и приводятся предварительные результаты исследования с целью оптимизации режимов при использовании такого разряда в качестве эффективного источника света.

В секции «Газовый разряд» доцент В. А. Гостев и студент А. С. Галлов из Петрозаводского университета представили доклад «Исследование проникающей плазмы разряда атмосферного давления», в котором приводятся результаты исследований разряда, который предлагается использовать в медицине для дезинфекции и лечения ран. Показано, что главными факторами, обеспечивающими дезинфекцию ран, а также влияющими на состояние живой ткани, являются активные элементы, генерирующиеся в плазме, а также ультрафиолетовое излучение.

Группа докладов, представленных в разных секциях, посвящена актуальной проблеме использования поверхностного разряда для снижения аэродинамического сопротивления элементов конструкции летательных аппаратов и их двигателей, а также для управления летательным аппаратом. Например, доклад коллектива исследователей из Самарского государственного аэрокосмического университета имени С. П. Королева «Аэродинамические исследования обтекания цилиндра с частотным поверхностным разрядом на образующей» и доклад, представленный С. А. Губиным от имени соавторов из МИФИ и ИТЭС ОИВТ РАН (Москва) «Устойчивость периодического скользящего разряда, инициируемого с заданной частотой в высокоскоростном потоке воздуха»

Собственно в секции «Приложения низкотемпературной плазмы» был представлен 21 доклад.

К традиционным направлениям приложений НТП относятся разработка плазменных технологий для нанесения пленок и травления материалов, в частности, и для изделий микро- и наноэлектроники. В докладе, представленном сотрудниками Института молекулярной и атомной физики НАН Беларуси «Спектроэнергетические характеристики гетерогенной плазмы высокочастотного емкостного разряда низкого давления», показана возможность осаждения на поверхности диэлектрических материалов тонких композиционных покрытий, содержащих кристаллиты фуллеритов  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , из гетерогенной плазмы такого разряда. Задача получения однородного покрытия на большой поверхности подложки решена в работе, выполненной в Петрозаводском университете, «Плоский индукционный разряд с однородной плазмой большого диаметра».

В докладе, представленном А. Б. Гильман с соавторами (Москва) описан процесс получения в плазме тлеющего разряда пленок полианилина, который как органический полупроводник может широко применяться в различных электронных и оптоэлектронных приборах. Показано, что по сравнению с предложенной ранее технологией получения пленок в ВЧ разряде, применение разряда постоянного тока позволяет получить пленки со значительной проводимостью и более совершенной структурой. Весьма широкое применение может найти предложенная сотрудниками Казанского государственного технологического университета плазменная технология нанесения высокоотражающих электропроводящих покрытий (в частности, для обогреваемых зеркал в автомобилях).

Развитие традиционных приложений НТП: плазмохимия, переработка отходов и металлургия – представлено в целом ряде докладов. Наибольшее впечатляющим в этой области бал доклад представителей Национальной академии наук Беларуси А. Л. Моссэ, В. В. Савчина «Плазмотроны, плазменные реакторы и плазменные печи», в котором описаны промышленно выпускаемые и реально работающие на промышленных предприятиях плазмохимические установки и модули, по всем параметрам отвечающие мировым стандартам. Ряд других докладов на той же секции был посвящен совершенствованию техники и технологий для плазмохимических процессов, в частности, выработке синтетического газа из древесных отходов (Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН).

Источник электронов для струйных плазмохимических технологий получения кремния для солнечной энергетики описан в докладе, представленном сотрудниками Института теплофизики СО РАН

Актуальной проблеме минимизация вредных выбросов при плазмохимической переработке органических веществ посвящена работа В. И. Бородина и В. А. Трухачевой из Петрозаводского университета

Еще одно традиционное приложение НТП – источники излучения. Кроме уже упомянутых работ в этом направлении представлен ряд докладов, в которых описаны результаты исследования и применения различных методов повышения эффективности и увеличения срока службы источников ультрафиолетового излучения, предназначенных для обеззараживания воды и воздуха. (Московский физико–технический институт, ЗАО НПО «Лаборатория импульсной техники», Петрозаводский университет, Институт теплофизики СО РАН)

Оригинальный способ получения непрерывного во времени стимулированного – излучения в области вакуумного ультрафиолета предложен и экспериментально реализован в работе, представленной совместно Государственным оптическим институтом им. С. И. Вавилова» (С.–Петербург) и Физическим факультетом университета г. Упсала (Швеция). Оптимизации конструкции, состава газовой среды и режима работы криогенного щелевого СО-лазера с накачкой импульсно периодическим ВЧ-разрядом было целью работы, представленной Физическим институтом им П. Н. Лебедева РАН. В результате реально осуществлен отпаянный режим работы криогенного щелевого СО-лазера. Спектр излучения этого лазера перекрывает спектральные диапазоны, где располагаются линии поглощения не только обычных веществ ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ , ацетона, бензина, метанола и т. д.), но и сильных загрязнителей, токсинов, взрывчатых и наркотических веществ, надежное детектирование которых представляет сегодня весьма актуальную проблему.

Оригинальное применение плазмы предложено в работе В. С. Перегудова из Института теплофизики СО РАН. Вместо газа и мазута, применяемых ныне для растопки котлов на угольных теплоэлектростанциях, предлагается использовать плазменное воспламенение углей, что ведет к повышению надежности процесса и снижению энергозатрат.

Помимо приложений большое внимание на конференции было уделено фундаментальным проблемам физики и диагностики плазмы.

Ряд работ был посвящен космической плазме. В частности, в работе, представленной С.–Петербургским государственным горным институтом, предложен и экспериментально апробирован новый метод исследования анизотропных свойств астрофизической плазмы. В лабораторных условиях измерены функция распределения электронов, сечение выстраивания полных угловых моментов атомов гелия, возбужденных электронным ударом, и степень анизотропии электронного давления. Таким образом, установлена связь между результатами спектроскопических наблюдений и кинетикой электронов, что позволяет авторам интерпретировать процессы возбуждения и поляризации излучения в удаленных плазменных объектах.

Метод и результаты диагностики параметров солнечной плазмы по радиоизлучению в миллиметровом диапазоне длин волн доложены А. М. Зиминим от имени группы соавторов из Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

В докладе, представленном «Институтом теоретической и экспериментальной физики (Москва) и Московским государственным институтом электронной техники, рассматривается механизм образования позитрония в космической плазме и показано, что основной механизм этого процесса – взаимодействие позитрона с пылевыми частицами.

Остальные доклады секции «Пылевая плазма и кластеры в плазме» посвящены лабораторной комплексной плазме, существующей в земных условиях, за исключением совместного доклада представителей Объединенного института высоких температур РАН (Москва) и Института внеземной физики общества М. Планка (Германия), в котором исследовалось воздействие низкочастотного электрического поля на пылевые структуры в условиях микрогравитации.

Большая часть работ, представленных в секции, – теоретические и посвящены проблеме расчета заряда пылевых частиц в различных условиях с применением соответствующих моделей. В частности, в работах, представленных совместно Объединенным институтом высоких температур РАН (Москва) и Институтом внеземной физики общества М. Планка (Германия) рассматриваются различные модели формирования заряда частиц, в том числе и с учетом возможности электронной эмиссии с поверхности частицы.

Влиянию сложной структуры функции распределения электронов по скоростям на распределение зарядов частиц в неравновесной плазме стратифицированного тлеющего разряда посвящен доклад представителей Института теплофизики СО РАН и Новосибирского университета. Еще более сложная модель зарядки частиц в трехтемпературной плазме, которая существует в импульсном электронно-циклотронном разряде, рассмотрена в докладе, представленном Троицким институтом инновационных и термоядерных исследований и Институтом теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН. Показано, что заряд частиц микронного размера в этих условиях может достигать сверхвысоких значений до  $10^6$  зарядов электрона.

Механизм установления межчастичных расстояний в пылевых структурах и зависимость потенциала и заряда пылевой частицы от межчастичного расстояния в плазме низкого давления рассмотрены в теоретических докладах, представленных Петрозаводским университетом.

Из экспериментальных работ на этой секции следует отметить традиционных лидеров в исследовании пылевых частиц в ядерно-возбуждаемой плазме: Институт теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН (Москва) и ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского (Обнинск), представивших новые результаты по исследованию влияния пылевых частиц в плазме пучка протонов на эмиссию оптического излучения УФ-диапазона и поведению пылевых структур в трековой плазме.

В докладе «Исследование структуры плазменно-пылевых образований», представленном Петрозаводским университетом, показано, что пространственный Фурье-образ изображения структуры позволяет более четко выявить наличие в ней «скрытой» упорядоченности, отличить значения периодов в структуре по различным направлениям или указать на отсутствие определенной ориентации упорядоченных фрагментов.

Доклады секции «Компьютерное моделирование низкотемпературной плазмы» продемонстрировали не только последние достижения фундаментальной теории НТП, но и фантастические возможности современных технических и программных средств. Например, в докладе «Квазистатическое моделирование электродного СВЧ-разряда в кислороде», представленном Институтом нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, учтено 59 различных реакций с участием атомов и молекул кислорода, молекул

озона, атомарных и молекулярных ионов и получены радиальные распределения напряженности поля и концентраций компонент плазмы в зависимости от мощности, вкладываемой в разряд.

Выполненное представителями НИИ ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва) моделирование диффузионного и контрагированного разрядов постоянного тока в инертных газах позволило шире и глубже объяснить явление «гистерезиса» при переходе разряда из диффузионного состояния в контрагированное и наоборот.

Наиболее глубокое проникновение в недра фундаментальной физики продемонстрировал представитель Государственного оптического института им. С. И. Вавилова» (С.–Петербург) Г. Н. Герасимов, который предложил и реализовал метод экспериментального определения времени квантового перехода между двумя энергетическими уровнями в простой атомной системе и получил результат, согласующийся с принципом неопределенности, что свидетельствует о высоком уровне эксперимента.

Конференция ФНТП–2007 была одним из мероприятий аккредитованных программой «У.М.Н.И.К.» (Участник молодежного научно–инновационного конкурса), объявленной Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно–технической сфере при поддержке Федерального агентства по науке и инновациям. На конкурс было представлено 6 работ молодых ученых, работы оценивались компетентным жюри по десятибалльной системе. Наивысшую оценку (10 баллов) получили работы:

- «Использование беспроводных сетей датчиков в задачах диагностики плазмы» А. Е. Гоголева. (Петрозаводский университет);
- «Скоростная визуализация поверхности вольфрамового катода сильноточной электрической дуги» С. В. Горячева (Объединенный институт высоких температур РАН).

Работа А. А. Тихомирова и В. С. Игнахина (Петрозаводский университет) «Микроплазматрон с жидкометаллическим анодом» оценена в 9 баллов.

Эти 3 работы рекомендованы для поддержки программой У.М.Н.И.К.

На заключительном пленарном заседании участники конференции отметили высокий уровень содержания материалов всех представленных докладов, а также высокое качество их презентации и большую практическую пользу конференции для развития научно–производственного и научно–образовательного процесса в организациях – участниках конференции. Было отмечено, что публикация материалов уже к началу конференции способствовала их плодотворному обсуждению.

Участники отметили хорошую организацию труда, быта и культурной программы и единодушно предложили конференцию ФНТП-2010 снова организовать и провести в Петрозаводском государственном университете в 2010 году.