

## Профессор ФизМех выступил на открытом научном семинаре ГК "Росатом"



Очередной открытый научный семинар госкорпорации «Росатом» по управляемому термоядерному синтезу и плазменным технологиям состоялся в Москве. Тема мероприятия — «Инжекция и рециркуляция топлива в токамаке». Презентации докладчиков можно найти по [REDACTED]. Представленные работы выполняются в рамках комплексной программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 г.».

Программа семинара состояла из двух обзорных докладов. От СПбПУ выступил профессор Физико-механического института, заведующий научно-исследовательской лаборатории управляемого термоядерного синтеза (НИЛ УТС) В. Ю. Сергеев с докладом по теме «Инжекция вещества для управления плазмой токамаков и её диагностики». Второй доклад на тему «Короткоцикловое отделение от He и рециркуляция D/T с помощью сверхпроницаемых мембран в установках УТС» представил профессор СПбГУТ А. И. Лифшиц.

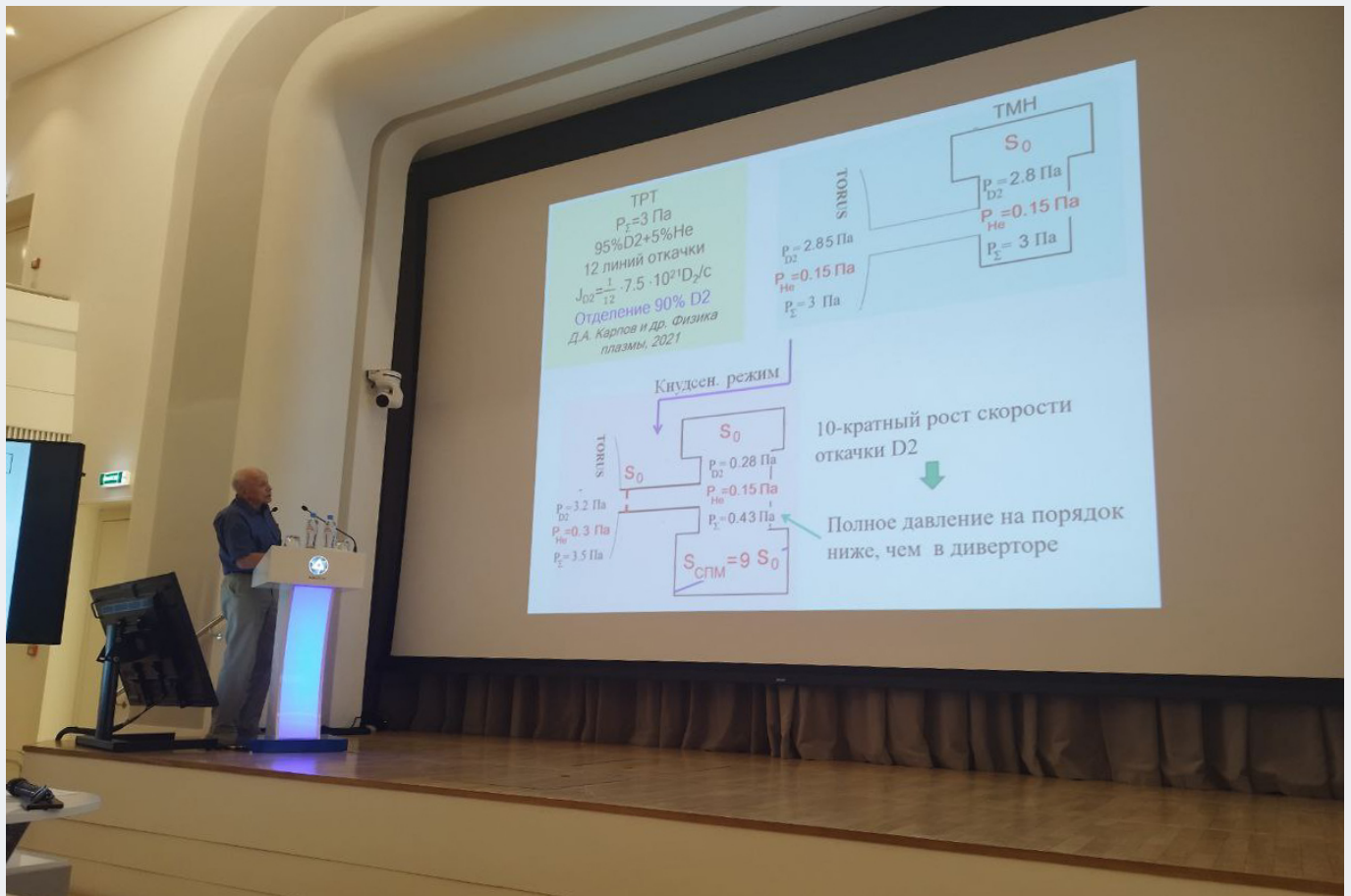
Инжекция вещества с различным зарядовым и изотопным составом в токамаки возможна во всех агрегатных состояниях. Она может условно быть разделена на две большие группы: управление состоянием плазмы и диагностика её параметров. Коллектив НИЛ УТС проводит исследования инъекции вещества в плазму на многих установках в мире, участвовал в разработке и практическом применении многих из приложений инъекции вещества в виде твёрдого тела и газа. В рамках комплексной программы мы активно работаем в настоящее время над способами ввода топлива и безаварийного выключения разряда токамака.



В термоядерном реакторе происходит сгорание топлива (дейтерия и трития), которое нужно восполнять. Наиболее эффективным оказывается метод ввода топлива посредством инжекции макрочастиц или пеллетов. Пеллеты — это льдинки из изотопов водорода размером 2-5 мм формируются при температурах порядка 10-15 К вблизи абсолютного нуля. Затем макрочастицы ускоряются до скоростей 200-500 м/с и направляются в горячую зону плазмы, где испаряются.

При невынужденном выключении или срыве разряда токамака, который пока еще не удается избежать на 100%, могут возникать проблемы с окружающими плазму материальными поверхностями и проводящими элементами конструкции установки. Ученые научились предсказывать момент наступления такого срыва и сейчас актуальной является разработка системы выключения разряда для предотвращения последствий срыва. Система осуществляет массивный напуск примесного газа, например, аргона, для снижения тепловых и электромеханических нагрузок на элементы конструкции токамака. Стоит заметить, что первые 5 лет работы строящегося международного токамака-реактора ИТЭР планируются для отработки такой системы безаварийного выключения разряда.

Важной темой, затронутой в докладах и во время их обсуждения, было участие коллективов СПбПУ и СПбГУТ в проекте создания новой российской установки — токамака ТРТ (Токамак Реакторный Технологический). Установку планируется создать на площадке ТРИНИТИ в Троицке в Новой Москве на месте существующего токамака Т-11. Эта установка станет прототипом термоядерного источника нейтронов (ТИН), разрабатываемого в рамках российской программы по УТС. ТИН нужен как генератор нейтронов в гибридных установках синтез-деление и в стендах испытаний новых материалов для работы в больших потоках 14 МэВ нейтронов, образующихся при синтезе ядер дейтерия и трития.



Стоит также отметить, что ученые НИЛ УТС имеют инновационное предложение, возникшее на основе технологии, развитой для ввода топлива в токамак ОРМАК с помощью струйного инжектора, создающего эшелон криогенных водородных макрочастиц размером сотни микрон и частотой следования десятки кГц. Параметры такого эшелона макрочастиц соответствуют параметрам эшелона оловянных мишеней в нанолитографе глубокого ультрафиолетового диапазона (Extreme Ultra Violet) на 13.5 нм. Источником излучения в современном EUV нанолитографе является плазма, возникающая при испарении оловянной макрочастицы за счет излучения эксимерного лазера. Основной проблемой при работе такого нанолитографа является загрязнение первого зеркала продуктами испарения (оловом). Наша идея состоит в использовании пеллет из благородного газа ксенона вместо олова, что позволит существенно снизить загрязнение первого зеркала и получить излучение на длине волны 11 нм. В 2024 г. ученые НИЛ УТС получили патент на полезную модель «Устройство для управляемого формирования и подачи эшелона ксеноновых мишеней в камеру источника жесткого ультрафиолетового излучения». В настоящее время ведутся работы по экспериментальной проверке этой идеи.