Состояние и перспективы ЭКСПЕРИМЕНТОВ на линейных ловушках для термоядерной плазмы

Беклемишев А.Д., Багрянский П.А., Бурдаков А.В., Иванов А.А.

Институт Ядерной Физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия, bekl@bk.ru

Линейные магнитные ловушки для термоядерной плазмы сильно отстают по достигнутым параметрам от тороидальных систем, что объясняется трудностью подавления продольных потерь плазмы вдоль открытых силовых линий. Однако относительная конструктивная простота линейных систем является существенным преимуществом с точки зрения возможных применений таких реакторов. Возрождение внимания и интереса в последнее время к экспериментам на линейных ловушках связано с двумя факторами: успешным созданием и быстрым развитием экспериментальных установок серии C-2 (типа FRC) коммерческой компанией Три Альфа Энерджи в США, а также с достижением электронной температуры порядка одного киловольта на газодинамической ловушке ГДЛ в Новосибирске.

На установках серии C-2 в магнитную систему с геометрией пробкотрона с двух сторон одновременно впрыскиваются два исходных FRC, слияние которых порождает мишенную конфигурацию для дальнейшего нагрева и поддержания с помощью атомарной инжекции. Продемонстрировано стационарное поддержание FRC в течение 8мс – всего времени атомарной инжекции. В настоящее время в Три Альфа работает установка модификации C-2W, основными задачами которой являются повышение электронной температуры за счёт новой конструкции дивертора, повышение энергосодержания плазмы в течение разряда за счёт увеличения мощности и качества инжекции, а также увеличение длительности стационарного удержания за счёт модификации магнитной системы и проводящего кожуха. На установке ГДЛ рекордной электронной температуры удалось достичь с помощью небольшого приосевого дополнительного ЭЦР-нагрева. При этом область электронно-горячей плазмы составляла лишь порядка четверти сечения и влияние этой зоны на быстрые ионы было невелико. Тем не менее, сам факт нагрева электронной компоненты имеет принципиальное значение для оценки перспектив ловушек типа ГДЛ. Во-первых, показано, что работа расширителя по электростатической термоизоляции плазмы по электронному каналу действительно эффективна, так что горячая плазма может сохраняться на открытой силовой линии всего в трёх метрах от плазмоприёмника. Во-вторых, поперечная электронная теплопроводность существенно ниже бомовской, а радиальный градиент температуры не хуже типичного для токамаков.

Успешные эксперименты на существующих установках стимулировали появление проектов и строительства новых установок. По образу ГДЛ будет построено две новых системы: в США, как прототипа нейтронного источника для трансмутации изотопов, и в Японии – как источника горячей плазмы для исследования диверторной физики. В Китае также создана новая линейная система, по-видимому, предназначенная для работы в режиме с FRC. В ИЯФ СО РАН кроме ГДЛ функционирует установка СМОЛА, на которой продемонстрировано винтовое удержание для подавления продольных потерь, и сооружаются установки САТ и ГОЛ-NB в поддержку проекта ловушки нового поколения – ГДМЛ.