Последние результаты и ТЕНДЕНЦИИ развитиЯ термоядерных исследований в Европе

Дж. Онгена

Лаборатория физики плазмы, Брюссель, Бельгия

С целью моделирования рабочих режимов ИТЭР, в 2011 году на JET была установлена первая стенка и дивертор (ПСД), в которых были использованы те же материалы что и в ИТЭРе, а именно Ве и вольфрам. Оказалось, что эксплуатация JET в этих условиях имеет свои особенности. (i) Использование новых материалов ПСД привело к уменьшению излучения на периферии и в диверторе, и в результате нагрузка на ПСД значительно увеличилась, как в стационарной фазе разряда, так и в во время переходных процессов. А это требует рассмотрения радиационных сценариев. (ii) В противоположность углероду, который подвергается сублимации при тепловой перегрузке, металлические компоненты ПСД расплавляются. (iii) ПСД с металлическим и углеродным покрытием по-разному удерживают водород. (iv) Перенос вольфрама за счет столкновений проходит совершенно иначе, чем столкновительный перенос ионов Ве и С с низким Z, что ведет к накоплению вольфрама в центре плазмы. Положительным результатом использования Be является очень низкий эффективный заряд плазмы Z (содержание С и О уменьшилось, по крайней мере в 10 раз), что позволяет проводить эксперименты на JET в течение одного года без дополнительной подготовки поверхности камеры.

В JET с углеродной стенкой (JET- C) , в плазме без напуска газа в основном H-режиме (q95 = 3-3,6 и βN ~ 1,2-1,6) достигается хорошее удержание с нормализованным H98 ≈ 1. В плазме с напуском газа в режимах с низкой треугольностью удержание деградирует из-за охлаждения пьедестала. В тоже время, в плазме с большой треугольностью плотность может быть доведена до предела Гринвальда без снижения H98. Теперь в JET с металлической стеной (JET-М), требуется напуск газа, чтобы избежать загрязнения плазмы вольфрамом. Хорошее удержание, как в JET-C, с плазмой с большой треугольностью не может быть получено в экспериментах на JET-М при высоком уровне напуска газа; 20-30% снижение удержания наблюдалось и на пьедестале, и в центре плазмы. Наблюдаемая потеря удержания в режимах с железной стенкой, по-видимому, вызвана снижением концентрации C на периферии: температура периферии в плазме с большой треугольностью может быть увеличена путем напуска азота, который, по-видимому, принимает на себя функции углерода. Однако этот эффект не был воспроизведен в экспериментах на JET-М в режимах с низкой треугольностью плазмы, потому что он, вероятно, зависит от формы плазмы.

Стелларатор W7-X (малый и большой радиусы а = 0,55 м и R0 = 5,5 м, среднее магнитное поле на оси 2.5 T) со сверхпроводящими катушками, будет первым "полностью оптимизированным" стелларатором. В настоящее время он строится в Грайфсвальде и станет крупнейшей в мире установкой этого класса. Цель проекта заключается в демонстрации потенциала оптимизированных стеллараторов как реакторов. Чтобы продемонстрировать, что реактор с этими параметрами плазмы может работать в стационарном режиме, эксперимент W7- X предназначен для получения плазменных 30 минутных разрядов с 10 МВт нагревом. Для этого будет использован электронно-циклотронный резонансный нагрев (ЭЦР) на частоте 140 ГГц в качестве основной системы нагрева. Также будут использоваться нейтральная инжекция и ионно-циклотронный резонансный нагрев (ИЦР) в течение коротких промежутков (до 10 секунд). Главной целью экспериментов на W7-X является продемонстрировать хорошее удержание быстрых ионов в термоядерных условиях с β ~ 4% . Чтобы имитировать поведение альфа-частиц в будущем стеллараторе-реакторе, нужен источник достаточно энергичных ионов с энергиями в диапазоне от 50 - 100 кэВ. Установка ИЦР нагрева обеспечит создание таких ионов. В течение последних 5 лет проект W7 -X идет по графику: ввод в эксплуатацию начнется в 2014 году с первой плазмой в 2015 году.

В сотрудничестве с Японией в рамках специального соглашения (Broader Approach), предпринимаются усилия, чтобы создать установку для облучения материалов необходимых для термоядерного синтеза (IFMIF) . В настоящее время идет первая стадия инженерной работы по решению основных технологических проблем ускорителя: мишень; полномасштабный прототип ускорителя дейтронов при 125 мА и 9 МэВ; три разные литиевые петли (Brasimone (ВДНХ, Италия), Oarai (ЯААЭ, Япония) и университет Осаки, Япония); модуль тестирования инжектора и прототип Не-охлаждения в KIT (Карлсруэ, Германия). Промежуточный IFMIF Отчет по Инженерному проектированию подготовлен, что позволяет провести строительство IFMIF по графику в течение менее чем одного десятилетия.