Восстановление функции энергетического распределЕния быстрых ионов в плазме токамака методами гамма-спектрометрии

Ильясова М.В., Шевелев А.Е., Чугунов И.Н., Хилькевич Е.М., Дойников Д.Н., Найденов В.О.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, margaritavadimovna@gmail.com

Удержание быстрых ионов в плазме – один из ключевых вопросов в создании и поддержании управляемого термоядерного синтеза. Быстрые ионы в плазме токамака возникают за счет ион-циклотронного резонансного нагрева (ICRH), инжекции пучка нейтральных атомов (NBI), а также в результате протекания термоядерных реакций в плазме. Исследование функций энергетического распределения быстрых ионов представляется одним из наиболее эффективных способов изучения природы и поведения быстрых ионов в плазме во время разряда токамака, что представляет особую ценность для будущих проектов, таких как ИТЭР.

Методы гамма спектрометрии позволяют проводить такого рода исследования. Детекторы на основе быстрых сцинтилляторов в совокупности с использованием специально разработанных алгоритмов обработки сигнала обеспечивают измерения спектров гамма-излучения с достаточным временным разрешением и эффективное разрешение пиков при множественных наложениях импульсов в измерениях с большой загрузкой. На токамаке ИТЭР предполагается наличие нескольких гамма спектрометрических диагностик. Одна из таких систем разрабатывается в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Гамма спектрометр будет установлен в портовой ячейке экваториального порта №11 за системой анализаторов атомов перезарядки и будет иметь радиальное направление обзора плазмы. Спектрометр содержит два детектора: полупроводниковый HPGe детектор и сцинтилляционный детектор на основе кристалла LaBr3(Ce). Данная система детекторов позволит проводить исследования быстрых ионов в плазме в условиях высоких потоков нейтронного и гамма излучения из плазмы ИТЭР.

В ФТИ им. А.Ф. Иоффе разрабатываются методы восстановления энергетического распределения быстрых ионов в плазме токамака. Один из методов основан на анализе интенсивностей гамма-линий из ядерных реакций между исследуемыми ускоренными ионами и примесями (9Be и 12C) с использованием информации о сечениях ядерных реакций, протекающих в плазме.

Разрабатываемые методы тестировались в плазменных экспериментах на токамаке JET (Joint European Torus, Culham, Великобритания). В исследуемых разрядах D-H плазмы с примесью 3He токамака JET применялся как ион-циклотронный резонансный нагрев плазмы, так и инжекция пучка нейтральных атомов, что обеспечило достаточное количество высокоэнергичных ионов в плазме JET и интенсивных гамма-линий от ядерных реакций для восстановления энергетического распределения быстрых ионов 3He. В докладе представлены результаты восстановления энергетического распределения быстрых ионов в плазме токамака JET.

Работа частично финансировалась в рамках договоров № 17706413348180000850/18-18/01 от 26.04.2018 г. и № 17706413348180000850/19-18/01 от 26.04.2018 г. между Частным учреждением Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР», ФТИ им. А.Ф. Иоффе, и АО "Техноэксан".