Численное моделирование энергетических спектров атомов перезарядки для анализаторов на ITER с учетом инжекции нейтральных пучков

П.Р. Гончаров, В.И. Афанасьев1, М.И. Миронов1, В.Г. Несеневич1, М.П. Петров1, В.Ю. Сергеев, В.В. Толмачева, C.Я. Петров1

ФГАОУ ВО «СПбПУ», Санкт-Петербург, Россия, p.goncharov@spbstu.ru
1ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, vnesenevich@npd.ioffe.ru

Численное моделирование потоков вылетающих из плазмы быстрых атомов перезарядки необходимо как при проектировании корпускулярных диагностик, так и при разработке методов анализа данных для физической интерпретации результатов измерений.

Разрабатываемая в ФТИ им. А.Ф. Иоффе диагностика атомов перезарядки для установки ITER, описанная в [1], включает два энергоанализатора: LENPA (Low Energy Neutral Particle Analyzer) для диапазона 20 – 200 кэВ и HENPA (High Energy Neutral Particle Analyzer) для диапазона 0.2 – 2 МэВ. Величина L*(E)* [эрг-1с-1], измеряемая пассивной диагностикой, то есть распределение потока вылетающих из плазмы атомов по энергии , вычисляется как

 , (1)

где переменная интегрирования *l* – расстояние вдоль луча зрения L,  – телесный угол обзора анализатора, *Sa* – площадь действующей апертуры, *g(E,l)*[эрг-1см-3с-1] – локальная функция источника атомов с кинетической энергией *E*. Ослабление потока атомов в слое плазмы между локальным источником и точкой наблюдения описывается Пуассоновским экспоненциальным множителем в подынтегральном выражении, где – локальная длина свободного пробега атома H0 по отношению ко всем реакциям потери электрона H0→ H+.

В свою очередь, локальная функция источника

  (2)

выражается через анизотропную в пространстве скоростей ионную функцию распределения  и сумму частот захвата электрона по всем мишеням ** для реакций H+ → H0.

Моделирование ионной функции распределения основано на работе [2]. Величина  – локальное значение угла между скоростью частицы и магнитным полем, соответствующее направлению луча зрения анализатора. Вследствие конечной толщины и расходимости инжектируемых пучков функция источника быстрых ионов в плазме имеет вид [3]

 , (3)

где *u-u0* обозначает дельта-функцию, *u0 = v0/vc* – обезразмеренная согласно [2] скорость инжекции, *Z()* – нормированное на единицу локальное угловое распределение источника,  – косинус питч-угла, *S0* [см–3с–1] – интенсивность источника.

Работа выполнена при частичном финансировании ЧУ “Проектный центр ИТЭР” в рамках договоров № 02/14-01, 03/14-01.

Литература

1. V.I. Afanasyev et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, 2010, vol. 621, pp. 456–467
2. P.R. Goncharov et al., Phys. Plasmas, 2010, vol. 17, 112313
3. P.R. Goncharov, 6-й Всероссийский семинар с участием иностранных ученых «Физ. и техн. аспекты объемного источника нейтронов» VNS-6, Звенигород, 2014