расчет синтетического сигнала анализатора нейтральных частиц с помощью кода FIDASIM в сферических токамаках Глобус-М/М2 [[1]](#footnote-1)\*)

Киселев Е.О., Балаченков И.М., Бахарев Н.Н., Варфоломеев В.И., Гусев В.К., Жильцов Н.С., Курскиев Г.С., Мельник А.Д., Минаев В.Б., Мирошников И.В., Патров М. И., Петров Ю.В., Сахаров Н.В., Скрекель О.М., Тельнова А.Ю., Токарев В.А., Тюхменева Е.А., Хромов Н.А., Чернышев Ф.В., Щеголев П.Б.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Инжекция нейтральных частиц – важная часть будущего термоядерного источника нейтронов, которая позволяет плазме нагреться до высоких температур, невозможных при чисто омическом нагреве. При этом быстрые частицы, возникающие при дополнительном нагреве, могут инициировать неустойчивости, вызывающие высокие потери мощности дополнительного нагрева. По этой причине остро встает вопрос о валидации моделирования поведения быстрых частиц, используемом для определения поглощенной мощности нагрева при анализе переноса тепла. При наличии неустойчивостей расчет с классическим удержанием дает завышенные значения поглощённой мощности. Для учета влияния неустойчивостей на удержание быстрых частиц в уравнение, описывающее замедление ионов, может быть введен дополнительный коэффициент аномальной диффузии. В этом случае валидация расчетов может осуществляться через сравнение измерений анализатора атомов перезарядки (NPA) и синтетического сигнала, получаемого с помощью кодов FIDASIM [1] и NUBEAM [2].

Моделирование замедления быстрых частиц осуществляется с помощью Монте-Карло кода NUBEAM, работающего в приближении ведущих центров с поправкой на конечность ларморовского радиуса. В токамаке Глобус-M/M2 потери быстрых частиц велики в основном за счет потерь на первой орбите из-за относительно малой величины магнитного поля и расстояния между плазмой и стенкой. Большой вклад в потери также оказывает перезарядка быстрых частиц на нейтральных атомах.

Для получения синтетического сигнала анализатора атомов перезарядки используется код FIDASIM. Первый этап моделирования – расчет плотности нейтральных частиц, поступающих из инжектора, а также расчет атомов гало. Второй этап – вычисление потока на анализатор методом Монте-Карло. На основе заданной из NUBEAM функции распределения быстрых частиц генерируется ансамбль частиц, траектория которых попадает в NPA. При расчете результирующего потока учитывается как вероятность рождения рассматриваемых атомов, так и аттентюация потока по пути в NPA.

В работе представлены результаты расчетов кодами для четырех разрядов в токамаках Глобус-М/М2. Показано, что в разрядах без неустойчивостей, приводящих к дополнительным потерям быстрых частиц, модель классического удержания быстрых частиц достаточна для описания замедления быстрых ионов. При наличии неустойчивостей требуется введение эвристического коэффициента аномальной диффузии. В этом случае наблюдается совпадение формы синтетического сигнала с экспериментальным. При этом поглощенная мощность инжекции падает на 30-40%.

Литература

1. Benedikt Geiger et al 2020 Plasma Physics and Controlled Fusion 62
2. N.N. Bakharev et al 2015 Nucl. Fusion 55 043023 1421
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Mu/en/CE-Kiselev_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)