

## 2D-4D МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ЦЕНТР ПЛАЗМЕННОГО ШНУРА В СТЕЛЛАТОРЕ Л-2М. ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОДА ASTRA<sup>\*)</sup>

<sup>1</sup>Мещеряков А.И., <sup>1</sup>Гришина И.А., <sup>2</sup>Касьянова Н.В.

<sup>1</sup>Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия,  
[meshch@fpl.gpi.ru](mailto:meshch@fpl.gpi.ru)

<sup>2</sup>НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

В работе [1] выполнено 2D и 3D моделирование проникновения нейтральных частиц в плазму с помощью программы, учитывающей экспериментальные условия в режиме омического нагрева на стеллараторе Л-2М. Получены радиальные распределения нейтралов и модельные энергетические спектры потока нейтралов, вылетающих из плазмы. При проведении 2D моделирования использовалась плоско-слоистая модель плазмы с одномерной функцией распределения нейтралов в пространстве скоростей. 3D моделирование предполагало цилиндрическую модель плазмы и двумерное распределение нейтралов по скоростям.

Для верификации работы программы было проведено контрольное моделирование с использованием широко известного кода ASTRA. В коде ASTRA при расчете проникновения нейтралов со стенки также используется плоско-слоистая модель плазмы с одномерной функцией распределения в пространстве скоростей [2]. При этом в кинетическое уравнение в двух местах введен коэффициент  $\sqrt{3}$ , чтобы приблизить результаты расчета с одномерной функцией распределения в пространстве скоростей к результатам расчета с трехмерной функцией распределения в пространстве скоростей:

$$v \frac{\partial f_N}{\partial x} + (s_{ion}^{(e)} n_e + s_{ion}^{(i)} n_i + s_{cx} n_i) f_N = \frac{\sqrt{3}}{2} n_i (s_{cx} N + s_{rec} n_e) \delta \left( v \pm \frac{v_{Ti}}{\sqrt{3}} \right),$$

где  $v$  и  $v_{Ti}$  – скорость нейтралов и тепловая скорость ионов,  $N$  – плотность нейтралов,  $n_e$  и  $n_i$  – плотности электронов и ионов,  $f_N$  – функция распределения нейтралов по скоростям,  $s_{ion}$  – скорости ионизации электронным и ионным ударом,  $s_{cx}$  – скорость перезарядки,  $s_{rec}$  – скорость рекомбинации.

С использованием обеих программ проведены вычисления проникновения нейтралов со стенки в центр плазменного шнура при одинаковых параметрах плазмы. По результатам верификации получено систематическое расхождение расчетов с использованием вышеуказанных программ: расчеты по коду ASTRA дают большую концентрацию нейтралов в центральных областях плазмы. Расхождение можно устранить, если в программе, написанной для стелларатора Л-2М, аналогичным образом добавить коэффициент  $\sqrt{3}$  в правой части уравнения (1). Это показывает корректность работы программы, написанной для Л-2М.

Было также проведено моделирование проникновения нейтральных частиц с использованием плоско-слоистой модели плазмы и двумерной и трехмерной функцией распределения нейтралов по скоростям (3D и 4D моделирование). Моделирование показало, что при использовании двумерной функции распределения нейтралов по скоростям, проникновение нейтралов в центральные области плазмы совпадает с результатами расчетов с одномерной функцией распределения нейтралов по скоростям, если тепловую скорость нейтралов уменьшить в  $\sqrt{3}$  раз. Другими словами, введение коэффициента  $\sqrt{3}$  позволяет приблизить результаты одномерных по скоростям расчетов к двумерным (но не трехмерным).

### Литература

- [1]. А.И. Мещеряков, И.Ю. Вафин, С.Е. Гребенщиков, И.А. Гришина, Физика плазмы (2023), т. 49, стр. 1070.  
[2]. Pereverzev G.V., Yushmanov P.N, Preprint IPP 5/98.Garching, Germany, 2002.

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском