

Н.Е. ЕФИМОВ¹, Р.И. ХУСНУТДИНОВ^{1,2}, Ю.М. ГАСПАРЯН¹, А.Б. КУКУШКИН^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ БЕРИЛЛИЕВОЙ И ВОЛЬФРАМОВОЙ ПЕРВОЙ СТЕНКИ ТОКАМАКА ИТЭР АТОМАМИ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА

Проведены расчеты отражения атомов изотопов водорода от первой стенки и распыления бериллия и вольфрама кодом SDTrimSP и расчеты кинетики нейтральных атомов и молекул изотопов водорода в пристеночной плазме баллистической моделью BM1D2V. Получены оценки распыления бериллия и вольфрама с первой стенки вакуумной камеры токамака ИТЭР.

N.E. EFIMOV¹, R.I. KHUSNUTDINOV^{1,2}, Y.M. GASPARYAN¹, A.B. KUKUSHKIN^{1,2}

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

ASSESSMENT OF ITER TOKAMAK BERYLLIUM AND TUNGSTEN FIRST WALL SPUTTERING BY HYDROGEN ISOTOPE ATOMS

Calculations of the reflection of hydrogen isotope atoms from the first wall and the sputtering of beryllium and tungsten using the SDTrimSP code and calculations of the kinetics of neutral atoms and molecules of hydrogen isotopes in the wall plasma using the BM1D2V ballistic model are carried out. Estimates of the sputtering of beryllium and tungsten from the first wall of the vacuum chamber of the ITER tokamak are obtained.

Задача оценки эрозии первой стенки является критической при управлении термоядерной установкой. Для прогнозирования процессов эрозии важно создание быстрого кода расчета рециклинга изотопов водорода в пристеночной плазме, который был бы протестирован путем сравнения со сложными численными кодами, наиболее успешным примером такого рода является код EIRENE [1]. В настоящей работе приведены результаты использования такого быстрого численного кода BM1D2V [2], основанного на полуаналитической баллистической модели [3, 4] и соответствующем быстром коде BM1D1V [5]. Баллистическая модель была разработана как простая, вычислительно эффективная модель, позволяющая рассчитывать функцию распределения по скоростям (ФРС) атомов и молекул изотопов водорода в пристеночной плазме токамака путем итеративного решения кинетического уравнения для ФРС атомов и упрощенного решения кинетического уравнения для ФРС молекул. Код BM1D2V был дополнен модулем [6], позволяющим оценить распыление материала первой стенки атомами водорода в пристеночной плазме. Данное дополнение позволило сравнить распыление бериллия и вольфрама при одинаковых параметрах пристеночной плазмы.

Для оценки распыления материала первой стенки с помощью кода SDTrimSP [7] были рассчитаны коэффициенты отражения атомов изотопов водорода от первой стенки и коэффициенты распыления бериллия и вольфрама. Коэффициенты распыления использованы в расчетах модифицированным кодом BM1D2V [6].

В настоящей работе представлены результаты расчетов модифицированным кодом BM1D2V для задачи эрозии бериллия и вольфрама как материалов первой стенки токамака. Расчет рециклинга водорода в пристеночной плазме и распыления бериллия производился в двух сценариях, с высокой и низкой плотностью плазмы в пристеночном слое на стороне сильного магнитного поля в токамаке ИТЭР. Профили параметров плазмы (температура и плотность ионов и электронов) были взяты, как и в [5], из расчета кодом SOLPS4.3 [8] сценария №2252 работы дивертора ИТЭР. Оценки показали, что плотность потока бериллия в данных сценариях составила $\sim 10^{18}$ Ве/м²с, в то время как плотность потока вольфрама на четыре порядка ниже, около $\sim 10^{14}$ W/м²с. Порядок величины эрозии бериллия совпадает с потоками, рассчитанными кодом ERO2.0 в сценариях 7 и 8 в [9].

Список литературы

1. Reiter D., Baelmans M. and Börner P. 2005 *Fusion Sci. Tech.* **47** 172 (<https://doi.org/10.13182/FST47-172>), www.eirene.de
2. Р.И. Хуснутдинов, А.Б. Кукушкин, В.С. Неверов. 2021 *Материалы XXIV конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью»* (Москва, 4-5 января 2021г.) стр. 14-17
3. Kadomtsev M.B., Kotov V., Lisitsa V.S. and Shurygin V.A. 2012 *Proc. 39th EPS Conf. 16th Int. Congress on Plasma Physics (Stockholm, Sweden, 2–6 July 2012)* p P4.093 (<http://ocs.ciemat.es/epsicpp2012pap/pdf/P4.093.pdf>)
4. Lisitsa V.S., Kadomtsev M.B., Kotov V., Neverov V.S. and Shurygin V.A. 2014 *Atoms* **2** 195
5. Kukushkin A.B., Kukushkin A.S., Lisitsa V.S., Neverov V.S., Pshenov A.A., Shurygin V.A. *Plasma Phys. Contr. Fusion* **2021**
6. Р.И. Хуснутдинов, Н.Е. Ефимов, Ю.М. Гаспарян, А.Б. Кукушкин. 2024 *Материалы XXVII конференции «Взаимодействие плазмы с поверхностью»* (Москва, 24-25 января 2024г.) стр. 53-56
7. A. Mutzke, R. Schneider, W. Eckstein, R. Dohmen, K. Schmid, U. von Toussaint, G. Badelow. (2019). *SDTrimSP Version 6.00* (IPP 2019-02). Garching: Max-Planck-Institut für Plasmaphysik. (<https://doi.org/10.17617/2.3026474>)
8. Kukushkin A.S., Pacher H.D., Kotov V., Pacher G.W. and Reiter D. 2011 *Fusion Eng. Des.* **86** 2865
9. J. Romazanov et al 2022 *Nucl. Fusion* **62** 036011 (<https://doi.org/10.1088/1741-4326/ac4776>)