

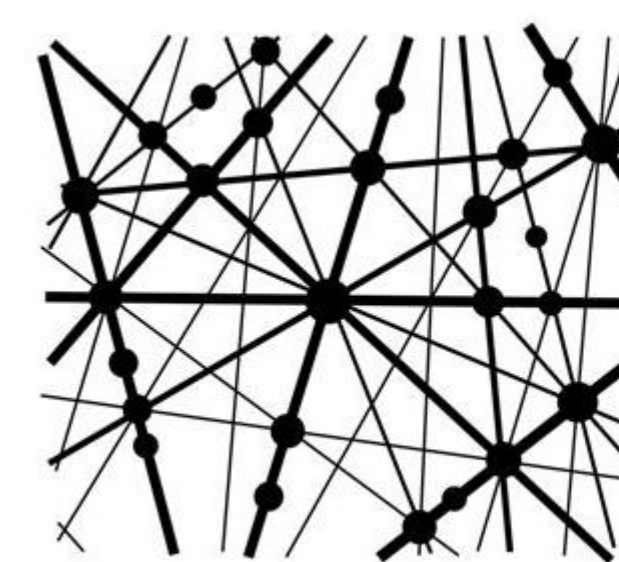
РАСПЫЛЕНИЕ ВОЛЬФРАМА АЛЬФА ЧАСТИЦАМИ МэВ ЭНЕРГИЙ

54-я Международная Тулиновская
конференция по Физике
Взаимодействия Заряженных
Частиц с Кристаллами



В.С. Михайлов, П.Ю. Бабенко, А.Н. Зиновьев
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: chiro@bk.ru



270 МГУ
1755 2025

Abstract

The dependences of the tungsten sputtering coefficients on the energy of incident alpha particles are obtained. The results are obtained by computer modeling using an original code. A distinctive feature of our calculations is the use of multiparticle potentials obtained using the density functional theory.

- В качестве материала первой стенки планируется использовать W.
- В современных токамаках наблюдается образование термоядерных альфа-частиц с энергией 3.5 МэВ.
- Экспериментальные данные о распылении вольфрама альфа-частицами в литературе отсутствуют.
- Имеются данные теоретических расчетов [1,2] вплоть до энергии 100 кэВ. Прямые расчеты для МэВ-энергий отсутствуют.

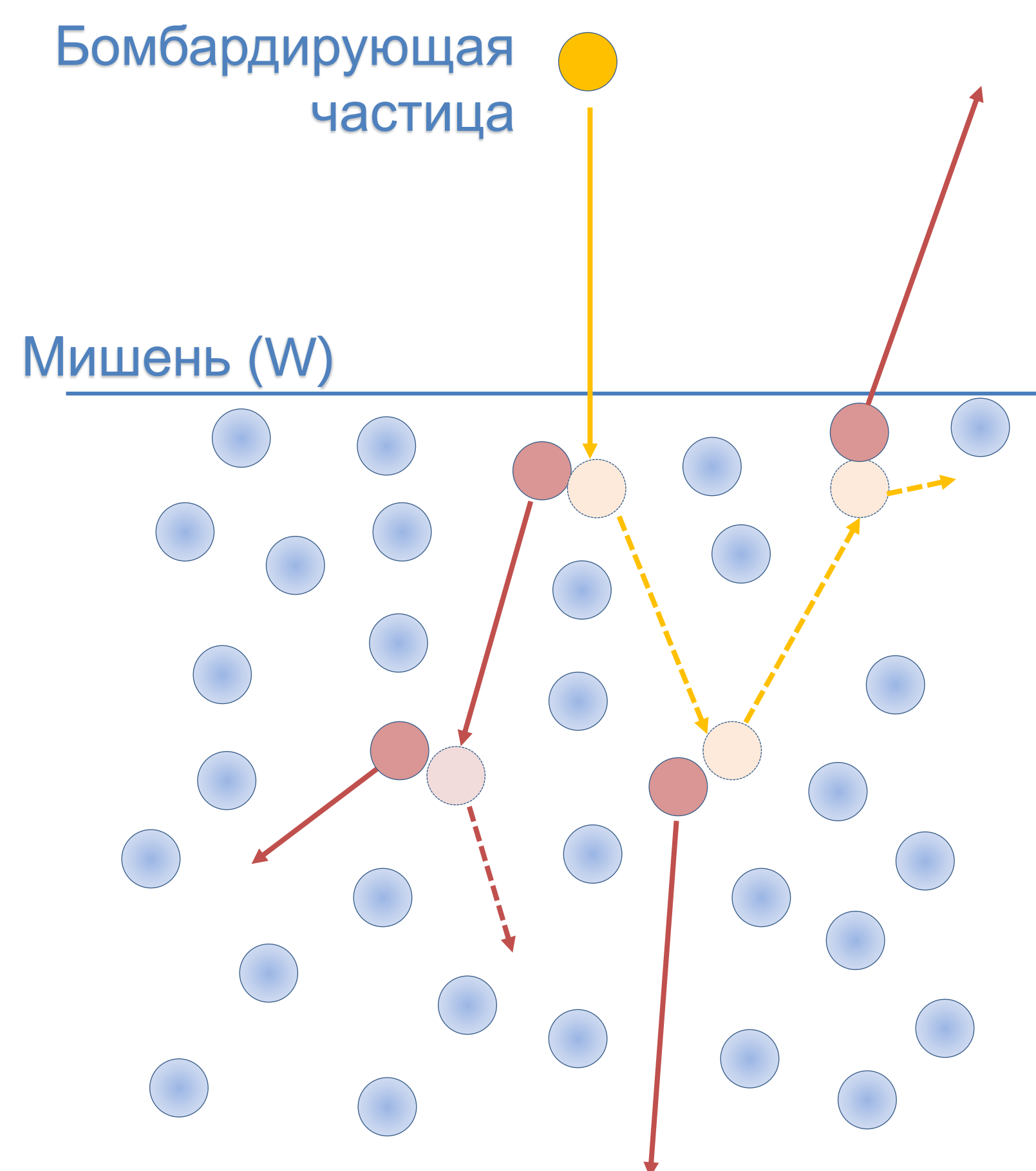


Рис. 1. Визуализация схемы моделирования в приближении парных столкновений

Особенности кода:

- Метод Монте-Карло
- Приближение парных столкновений (BCA)

Наша программа учитывает:

- Современные представления о потенциалах взаимодействия
- Современные данные о ядерных и электронных тормозных способностях
- Каскадные эффекты
- Тепловые колебания

Для более точного моделирования разряда в токамаке необходимо знать коэффициенты распыления вольфрама альфа частицами

Для описания столкновений альфа-частиц в твердом теле мы использовали DFT потенциал [3]. Для расчета движения выбитых атомов мишени использовались многочастичные потенциалы [4].

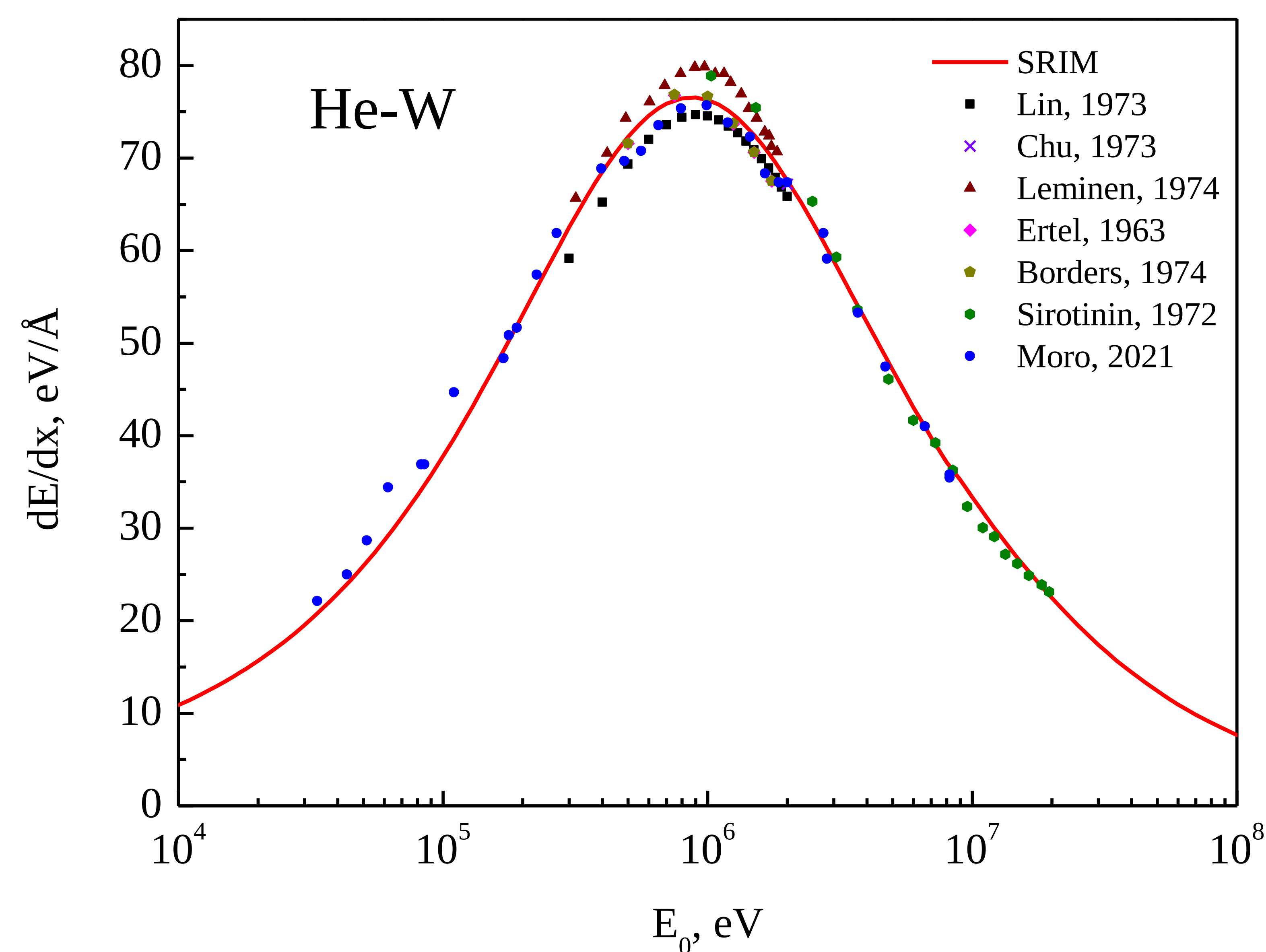


Рис. 2. Зависимость электронных тормозных способностей от энергии бомбардирующих частиц.

При торможении частиц МэВ-энергий доминируют электронные тормозные потери. На рис. 2 представлены данные из базы данных NDS [5]. Как видно из рис. 1, данные значения dE/dx достаточно надежны.

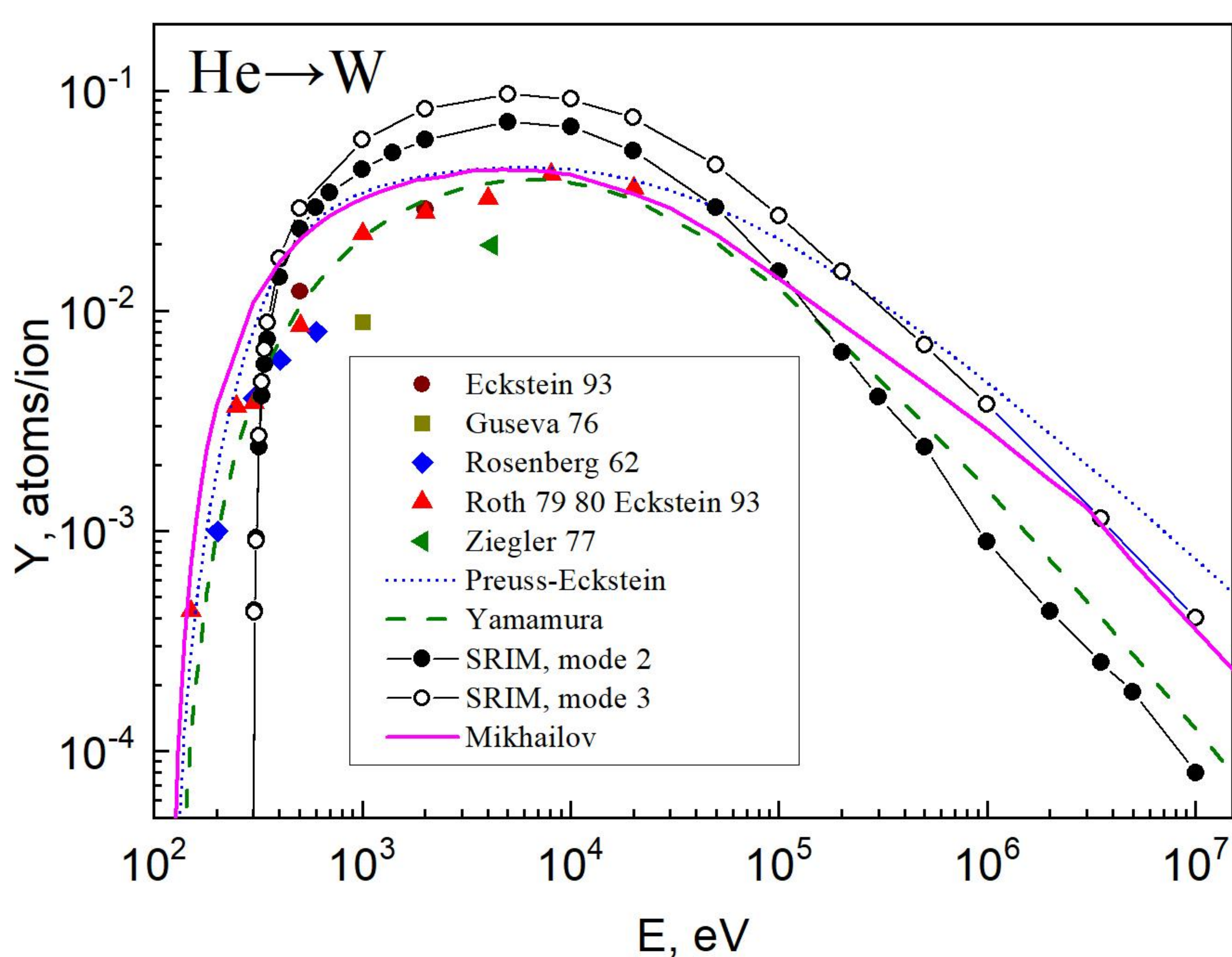


Рис. 3. Коэффициенты распыления для случая He-W для различных энергий. Точки – эксперимент [1]. Сплошная линия – результаты нашего расчета. Пунктирная линия – работа Экштайна [1], Штриховая линия – работа Ямамуры [2]. Линия с точками – SRIM-2013 [7] и SDTrimSP [8]

Как видно из рис. 2, коэффициент распыления сильно падает с ростом энергии и для проведения расчетов требуется статистика $\sim 10^7$ падающих частиц. Расчет находится в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными.

ВЫВОДЫ

Результаты получены путем компьютерного моделирования с использованием оригинального кода. Полученные зависимости коэффициентов распыления вольфрама от энергии падающих альфа-частиц имеют удовлетворительное согласие с экспериментальными данными в области низких энергий, что позволяет использовать код в области МэВ энергий. Полученные данные позволяют более детально рассматривать процесс взаимодействия альфа-частиц с первой стенкой реактора ITER.

References

- [1] W. Eckstein, Vacuum, 82 (2008) 930.
- [2] Y. Yamamura, H. Tawara, At. Data Nucl. Data Tables, 62 (1996) 149.
- [3] В.С. Михайлов, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев, ЖЭТФ, 164 (2023) 478.
- [4] F. Granberg, J. Byggmästar, K. Nordlund // Journal of Nuclear Materials, 2021, Vol. 556, 153-158
- [5] NDS database, <https://www-nds.iaea.org/stopping>
- [6] J.F. Ziegler, J.P. Biersack SRIM. <http://www.srim.org>.
- [7] A. Mutzke, R. Schneider, W. Eckstein, R. Dohmen, K. Schmid, U. von Toussaint, G.A. Bandelow, SDTrimSP Version 6.00. IPP 2019-02 (Garching: IPP, 2019)