

МОДЕЛИРОВАНИЕ АБСОЛЮТНЫХ СПЕКТРОВ ТОРМОЗНОГО И РЕКОМБИНАЦИОННОГО МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ В СРАВНЕНИИ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ТОКАМАКЕ ФТ-2 ^{*)}

Буц М.К., Кантор М.Ю., Алтухов А.Б., Баранов Ю.Ф., Есипов Л.А., Куприенко Д.В.

ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, m.buts@mail.ioffe.ru

Анализ спектров излучения плазмы в мягком рентгеновском диапазоне позволяет получить важную информацию о температуре, эффективном заряде и других параметрах высокотемпературной плазмы установок с магнитным удержанием. Спектр сплошного излучения плазмы состоит из тормозного и рекомбинационного континуума, последним из которых, как правило, пренебрегают [1,2], что ведет к ошибкам в интерпретации спектров излучения при низких температурах электронов. Для анализа и интерпретации спектров, измеряемых рентгеновским спектрометром XR100-SDD на основе кремниевого дрейфового детектора, установленного на малом токамаке ФТ-2 с относительно низкой электронной температурой ~300 эВ, было проведено моделирование абсолютных спектров тормозного и рекомбинационного излучения, попадающего на детектор, в сравнении с экспериментальными спектрами излучения плазмы.

Для определения спектра излучения, попадающего на детектор, необходимо знать спектр излучения плазмы в каждой её точке и телесный угол, в котором из этой точки виден детектор. Для моделирования излучения плазмы использовались базы данных CHIANTI [3], AtomDB [4], а также код Aurora [5], использующий для моделирования рекомбинационного излучения базу данных OPEN-ADAS [6]. Входными параметрами для расчета являются локальные значения температуры и плотности электронов, определенные диагностикой томсоновского рассеяния и многохордовым СВЧ интерферометром, а также элементный состав примесных ионов плазмы, подбираемый для соответствия экспериментальным спектрам. Использование нескольких баз данных позволяет верифицировать их результаты, что необходимо для правильной интерпретации экспериментальных результатов.

Для учета геометрии наблюдения и определения телесного угла детектора разработан программный код, моделирующий прохождение излучения через диафрагмы спектрометра. Плазменный шнур токамака разбивается на элементарные объемы, а детектор на элементарные площади. Для каждого элементарного объема плазмы вычисляется полный телесный угол видимой части детектора как сумма телесных углов элементарных площадей, находящихся в прямой видимости из этого элементарного объема. Спектр излучения, приходящего на детектор, вычисляется суммированием излучений каждого элементарного объема с учетом телесного угла видимости детектора.

Расчитанные спектры сравниваются с экспериментальными, измеренными по различным хордам наблюдения, что позволяет оценить распределение примеси по плазменному шнуру.

Рентгеновские измерения поддержаны ФТИ им. А.Ф.Иоффе Госконтракт FFUG-2022-0001. Анализ данных поддержан ФТИ им.А.Ф.Иоффе Госконтракт FFUG-2024-0028.

Литература

- [1]. Chen Y. et al., Rev. Sci. Instrum. 86, 023509 (2015)
- [2]. Rathgeber S.K. et al., Plasma Phys. Control. Fusion 52, 095008 (2010)
- [3]. Dere et al., 2019; ApJS, 241, 22
- [4]. Foster A.R., Heuer K., Atoms 2020, 8(3), 49
- [5]. Sciortino F. et al 2021 Plasma Phys. Control. Fusion 63 112001
- [6]. Summers H.P., O’Mullane M.G., AIP Conf. Proc. 1344, 179–187 (2011)

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)