ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПЕКТРОВ МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОКАМАКЕ Т-15МД^{*)}

¹Левашова М.Г., ¹Рыжаков Д.В., ¹Асадулин Г.М., ¹Горшков А.В., ¹Демура А.В.,
¹Дрозд А.С., ^{1,2}Кукушкин А.Б., ^{1,3}Леонтьев Д.С., ¹Лисица В.С., ^{1,2}Минашин П.В.,
^{1,2}Панфилов Д.С., ¹Сарычев Д.В., ¹Сергеев Д.С., ¹Толпегина Ю.И., ^{1,2}Уласевич Д.Л.,
¹Шурыгин В.А.

¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Levashova_MG@nrcki.ru,

²НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия,

³МФТИ (НИУ), Москва, Россия.

Представлены результаты интерпретации измерений спектра мягкого рентгеновского излучения (МРИ) в токамаке Т-15МД в интервале энергий фотонов 2-10 кэВ, включая разряды в первой кампании [1] со стальной первой стенкой и графитовой диафрагмой и следующей кампанией с графитовой обкладкой большей части первой стенки.

Представлен алгоритм определения плотности основной тяжелой примеси (железа) по спектру МРИ при известных профилях температуры T_e и плотности электронов n_e на хорде наблюдения. Поскольку проекции (на полоидальную плоскость) хорд наблюдения МРИ и томсоновского рассеяния в Т-15МД очень близки, значения T_e и n_e брались такими же, как и на хорде наблюдения томсоновского рассеяния. Использованы также данные интерферометрии для определения n_e . Расчеты проводились для различных профилей плотности примеси. Распределения ионов примеси по степеням ионизации определялось квазистационарной кинетикой ионизации и рекомбинации с учетом каскадных процессов (использованы соответствующие эффективные скорости ионизации и рекомбинации из базы данных [2]). Учитывалось тормозное и рекомбинационное излучение на ионах примеси и тормозное излучение на водороде.

Кроме сравнения расчетного спектра с измеренным в эксперименте спектром МРИ проведена проверка точности известного способа оценки T_e в центре плазменного шнура по экспоненциальному наклону спектра в области МРИ. Также показано, что использование приближения эффективного заряда может дать существенную ошибку в расчете абсолютных значений интенсивности МРИ.

Проведены расчеты вклада МРИ в указанном спектральном интервале в интегральные по спектру болометрические измерения. Дана оценка вклада механизмов излучения в горячей термоядерной плазме с тяжелыми примесями в более мягком спектральном диапазоне: поляризованного излучения многоэлектронных ионов при их столкновениях с электронами [3], спектральных линий многоэлектронных ионов как квазиконтинуума [4], излучаемого вследствие эффекта динамической поляризуемости квантового плазменного ансамбля, описываемого в модели, близкой к томас-фермиевскому иону.

Литература

- [1]. Е.П. Велихов, М.В. Ковальчук, И.О. Анашкин, В.Ф. Андреев, Г.М. Асадулин и др. Первые экспериментальные результаты на токамаке Т-15МД. ВАНТ Сер. Термояд. синтез, 2024, т. 47, вып. 2, с. 5—14, http://vant.iterru.ru/vant_2024_2/1.pdf.
- [2]. OPEN-ADAS, ADF11, <https://open.adas.ac.uk/adf11>.
- [3]. V. Astapenko. Polarization Bremsstrahlung on Atoms, Plasmas, Nanostructures and Solids. *Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics (Том 72)*, 2013.
- [4]. А.В. Демура, Д.С. Леонтьев, В.С. Лисица, В.А. Шурыгин/ Статистическая модель квазиконтинуума тяжелых ионов в горячей плазме // Физика плазмы, 2020, 46, 195–205.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)