ДИАГНОСТИКA FIDA ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЫСТРЫХ ИОНОВ ПРИ НЕЙТРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИИ НА ТОКАМАКЕ ТУМАН-3М [[1]](#footnote-1)\*)

Шувалова Л.К., Абдуллина Г.И., Аскинази Л.Г., Белокуров А.А., Жубр Н.А., Киселев Е.О., Корнев В.А., Лебедев С.В., Разуменко Д.В., Смирнов А.И., Тукачинский А.С.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, Россия, [shuvalova-lyuba@mail.ru](mailto:shuvalova-lyuba@mail.ru)

Диагностика быстрых ионов FIDA (Fast-ion D-alpha) состоит в измерении и анализе спектра излучения, возникающего в результате девозбуждения атомов дейтерия или водорода, образовавшихся при перезарядке быстрых ионов на атомах нагревного пучка. Анализ этих спектров, регистрируемых обычно в разных ракурсах по отношению к направлению инжекции и области локализации быстрых ионов, позволяет получить информацию о функции распределения последних. На токамаке ТУМАН-3М проведены первые эксперименты по измерению сигналов FIDA при инжекции атомов водорода, в некоторых из которых обнаружены искажения спектра излучения, связанные с наличием в плазме быстрых атомов и ионов. Однозначная интерпретация этих спектров, однако, затруднена вследствие слабости сигналов и влияния более сильного излучения, вызванного другими процессами, например свечением атомов самого нагревного пучка. Кроме того, требуется учет конкретной геометрии наблюдения в каждом эксперименте.

Для количественной интерпретации зарегистрированных спектров использовался код FIDASIM, реализующий метод Монте-Карло. Он позволяет получить функцию распределения быстрых ионов через моделирование спектров, регистрируемых по реальным линиям наблюдения, с дальнейшим достижением наилучшего совпадения с экспериментально наблюдаемыми спектрами путем подбора параметров функции распределения быстрых ионов и коэффициентов, описывающих их торможение и потери.

Для работы FIDASIM необходимы параметры плазмы и атомарного и ионного пучков, часть из которых доступна в эксперименте, а остальные получаются путем моделирования разряда совместно кодами ASTRA и NUBEAM. Требовательность FIDASIM к количеству входных данных и их виду привела к необходимости разработки специального интерфейса между этими кодами и FIDASIM. В первую очередь была установлена связь между транспортным кодом ASTRA и связанным с ним модулем NUBEAM посредством дополнительной утилиты обработки входных параметров на пространственную сетку NUBEAM, в их числе плазменные профили, карта магнитных поверхностей, геометрия нейтральной инжекции и информация о составе пучка. В результате взаимодействия двух кодов была получена функция распределения быстрых ионов. В дальнейшем была установлена связь между текущим набором данных с кодом FIDASIM через подпрограмму для считывания и преобразования на новую пространственную сетку параметров из созданных в процессе вывода из ASTRA и NUBEAM файлов. В качестве дополнения была добавлена реальная геометрия спектральной диагностики. После проведения полного описания требуемых входных параметров, а также поиска оптимальных настроек моделирования, таких как число пробных частиц для моделирования Монте-Карло, были получены синтетические спектры излучения FIDA и проведено сравнение их с зарегистрированными в эксперименте. Кроме того, было исследовано влияние электрических полей в плазме токамака на удержание быстрых ионов.

Обеспечение функционирования токамака ТУМАН-3М и работы стандартных диагностик осуществлялось при поддержке госконтракта ФТИ им. А.Ф. Иоффе 0040-2019-0023, создание комплекса диагностики FIDA и моделирование ее работы – при поддержке госконтракта ФТИ им. А.Ф. Иоффе 0034-2021-0001, исследование влияния электрических полей – при поддержке гранта РНФ № 22-12-00062.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Mu/en/AR-Shuvalova_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)