Проверка метода интерпретации бальмер-альфа спектроскопии для пристеночной плазмы токамака с учетом рассеянного диверторного света на данных предсказательного моделирования ИТЭР

В.С. Неверов1, А.Б. Кукушкин1,2, А.Г. Алексеев1

1НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, vs-never@hotmail.com
2НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

Разработка Н-альфа спектроскопии высокого разрешения (СВР) для пристеночной плазмы в основной вакуумной камере (scrape-off layer, СОЛ) в ИТЭР столкнулась с серьезной проблемой, связанной с рассеянным диверторным светом (РДС), порождаемым диффузным и/или многократным зеркальным отражением интенсивного света, излученного в диверторе. Результаты проверки ряда существенных свойств теоретической модели, предложенной для Н-альфа диагностики в ИТЭР, на недавних экспериментах в токамаке JET с итеро-подобной стенкой (JET-ILW) представлены в [1]. Модель направлена на восстановление плотности нейтрального водорода в СОЛ и его изотопного отношения путем решения многопараметрической обратной задачи с учетом: (i) сильного РДС на хордах наблюдения внутри основной камеры, (ii) существенного отклонения функции распределения по скоростям нейтральных атомов в СОЛ от максвелловской, (iii) данных прямого наблюдения дивертора.

В настоящей работе, в развитие [2], проведена оценка точности модели [1] в рамках т.н. синтетической диагностики, создающей «фантомные» экспериментальные данные, используя результаты предсказательного численного моделирования основных параметров плазмы и соответствующих им измеряемых величин. Синтетическая диагностика позволяет сравнение «истинных» значений искомых величин с восстановленными из «фантомных» экспериментальных данных. Проверка проведена на примере данных моделирования квазистационарной стадии индуктивного разряда (с параметром Q=10) в ИТЭР с помощью кода B2-EIRENE (SOLPS4.3) [3-5] (с учетом модификации [6]).

Проведены расчеты точности: (i) воспроизведения контуров линии бальмер-альфа изотопов водорода в СОЛ в случае их существенной асимметрии вследствие того, что для быстрых атомов доминирует поток в направлении от стенки (использована модель [7]); (ii) воспроизведения спектра РДС путем анализа данных СВР с ограниченного числа (порядка десяти) хорд прямого наблюдения дивертора, равномерно (по координате большого радиуса в полоидальном сечении) покрывающих область дивертора; (iii) разделения (в регистрируемом по хордам наблюдения СОЛ спектральном сигнале) вкладов внутреннего и внешнего излучающих участков СОЛ и РДС; (iv) разделения вкладов дейтерия и трития в спектральную интенсивность сигнала, наблюдаемого на хорде наблюдения плазмы СОЛ. Получены оценки предельной доли РДС в сигнале, при которой еще возможно восстановление параметров нейтральных атомов изотопов водорода в СОЛ по спектрам линий бальмер-альфа.

Литература

1. Kukushkin A.B., Neverov V.S., Stamp M.F., et al. Proc. 25th IAEA Fusion Energy Conf., St. Petersburg, 2014, EX/P5-20.
2. Неверов В.С. и др. Физика плазмы, 2015, 41 (2), (в печати).
3. Kukushkin A.S., et al. Nucl. Fusion, 2009, 49, 075008.
4. Braams B.J. PhD thesis. Utrecht: Rijksuniversitet, 1986.
5. Reiter D., Baelmans M., Börner P. Fusion Sci. Tech., 2005, 47, 172.
6. Lisgo S.W., Börner P., et al. J. Nucl. Mater. 2011, 415, S965.
7. Kukushkin A.B., et al. Proc. 22 Int. Conf. Spectral Line Shapes, Tullahoma, USA, 2014.