комплексная диагностика распределения электронов по скоростям по томсоновскому рассеянию и электронному циклотронному излучению в токамаках-реакторах

П.А. Сдвиженский, А.Б. Кукушкин, \*Е.Е. Мухин

ИФТ НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия, e-mail: sdvinpt@gmail.com
\*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, Россия

Усиление дополнительного нагрева плазмы и повышение нейтронной нагрузки в токамаках-реакторах следующего за ИТЭР поколения (ДЕМО) требуют более компактной – и по ряду аспектов более детальной – диагностики плазмы [1]. Для диагностики функции распределения (ФР) электронов по скоростям в условиях ожидаемого существенного отклонения электронов от равновесного (максвелловского) распределения нами предложен новый алгоритм в рамках общей модели томсоновского рассеяния в ДЕМО [2]. Он основан на комплексной диагностике распределения электронов по скоростям по томсоновскому рассеянию и электронному циклотронному (ЭЦ) излучению.

В рамках предлагаемого алгоритма экспериментальный спектр томсоновского рассеяния (данные многоканального измерения спектра в данной точке пространства) аппроксимируется теоретическим спектром. Обратная задача восстановления ФР электронов, с учетом всех погрешностей, решается посредством математической оптимизации.

В области низких энергий ФР берется максвелловской с температурой в качестве свободного параметра. В области средних энергий, сами границы которой также подлежат определению, отклонение от равновесного распределения предполагается не столь значительным. Здесь предполагается анизотропная квази-максвелловская ФР со свободной эффективной температурой Te(θ), являющейся функцией питч-угла. Такой выбор подсказан известными результатами численного моделирования ФР в условиях ЭЦ нагрева и ЭЦ поддержания тока (см., напр., интерпретацию [3] экспериментов на токамаке TCV с использованием численного кода CQL3D [4], показавшую возможность диагностики отклонения от максвелловской ФР с помощью томсоновского рассеяния).

В остальной области – области высоких энергий, где ожидается наиболее существенное отклонение от равновесия и в то же время понижается надежность данных томсоновской диагностики – оптимизации подлежит произвольная ФР по продольной и поперечной (к магнитному полю) компонентам скорости, а в формулировку полной обратной задачи включается интерпретация экспериментальных данных для спектров ЭЦ излучения на высоких гармониках.

Литература

1. A.J.H. Donne, A.E. Costley, A.W. Morris, Diagnostics for plasma control on DEMO: challenges of implementation, Nuclear Fusion, 2012, 52, 074015.
2. E.E. Mukhin, G.S. Kurskiev, S.Yu. Tolstyakov, A.B. Kukushkin, P. Andrew, I.M. Bukreev, P.V. Chernakov, M.M. Kochergin, A.N. Koval, A.E. Litvinov, S.V. Masyukevich, A.G. Razdobarin, V.V. Semenov, P.A. Sdvizhenskii, Proc. Int. Conf. “Fusion Reactor Diagnostics”, Varenna, Italy, 2013, AIP Conf. Proceedings (to be published).
3. G. Zhuang, R. Behn, I. Klimanov, P. Nikkola, O. Sauter, Inﬂuence of non-Maxwellian velocity distributions during ECRH and ECCD on electron temperature measurements by Thomson scattering, Plasma Physics Control. Fusion, 2005, 47, 1539–1558
4. R.W. Harvey, M.G. McCoy. In: Proc. of the IAEA Technical Committee Meeting on Advances in Simulation and Modeling of Thermonuclear Plasmas. Montreal, Canada, 1992.