ЛИФ диагностика диверторной плазмы на токамаке Глобус-М

А.В. Горбунов1, Г.С. Курскиев2, С.Ю. Толстяков2, Е.Б. Берик3, А.Н. Баженов2, Е.Е. Мухин2, К.Ю. Вуколов1, А.П. Чернаков2, Я.Е. Берик3, В.А. Соловей2

1Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва,  
 Россия, [alexeygor@mail.ru](mailto:alexeygor@mail.ru)  
2Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
 г. Санкт-Петербург, Россия, [gleb.kurskiev@gmail.com](mailto:gleb.kurskiev@gmail.com)  
3Estla Ltd., Тарту, Эстония, [estla@estla.com](mailto:estla@estla.com)

Изучение физики термоядерных установок основано на получении информации о составе, концентрации, температуре, энергии и других характеристик компонентного состава плазмы: атомов, ионов, электронов, молекул и др. Данная информация поступает от широкого ансамбля используемых на современных установках диагностик. Диагностика на основе лазерной индуцированной флуоресценции (ЛИФ), применительно к токамакам, может использоваться для локальных измерений концентрации и температуры примесей плазмы в пристеночной либо диверторной области, скоростей движения макроскопических образований, проекции магнитного поля. ЛИФ диагностика на сферическом токамаке Глобус-М будет в значительной степени совмещена с диагностикой томсоновского рассеяния (ТР) дивертора, базируясь на общих системах транспортировки лазерного пучка и сбора/передачи рассеянного излучения. Совмещение ЛИФ и ТР оборудования на Глобус-М позволит отработать принципы интеграции диагностик для ИТЭРа.

Основным и наиболее ответственным элементом комплекса ЛИФ диагностики является зондирующий лазер. Для токамака была разработана и изготовлена двухканальная лазерная система, включающая узкополосный канал (5 – 50 пм) для измерения спектральных форм линий и широкополосный (30 – 200 пм) — для возбуждения всей линии. Система позволит проводить измерения температуры и концентрации атомов/ионов, а также магнитного поля. Каждый канал состоит из перестраиваемого лазера на красителях с регулируемыми ширинами линий излучения и лазера накачки — II (532 нм) и III (355 нм) гармоники импульсного Nd:YAG лазера. Каждый из перестраиваемых лазеров дополнительно снабжён спектроанализатором высокого разрешения для регистрации точной длины волны генерируемого излучения и её спектральной формы. Оба канала генерации могут работать как по отдельности, так и совместно с регулируемой задержкой между импульсами зондирования в диапазоне от 0 до 1000 нс. Данная схема предназначена для учёта локальных флуктуаций плотности частиц в диверторе токамака. Наблюдение сигналов флуоресценции будет идти в 9 пространственных точках одновременно на нескольких спектральных линиях. Для регистрации будут использоваться модули ФЭУ совместно с цифровым регистратором CAEN DT5742 (16 каналов, 12 бит, 5/2,5/1 ГГц частота дискретизации, 1024 точки длина страницы записи), либо другим с аналогичными характеристиками.

На газоразрядной лампе были проведены измерения флуоресценции атома гелия для отработки методики и проверки характеристик лазерной системы. Лазерное возбуждение на триплетном переходе 1s2p 3P → 1s3d 3D (587,56 нм) узкополосным лазером с пошаговой перестройкой длины волны позволило получить спектральную форму линии с хорошо различимой тонкой структурой. Проведённые измерения позволили отработать схему совместного функционирования элементов диагностики: двух каналов лазерной системы и регистрирующей аппаратуры.

ЛИФ диагностика на токамаке Глобус-М позволит получать дополнительную информацию о распределении примесей в диверторе и скорости их диффузии со стенки в основную плазму. Кроме того, макетирование диагностики на токамаке станет важным этапом в разработке ЛИФ диагностики для ИТЭР.

Работа выполнена при частичной поддержке государственной корпорации «Росатом» в рамках государственного контракта № Н.4к.529Б.15.1032 от 24.09.2015.