

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ТОКАМАКЕ Т-11М С ПОМОЩЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РЕФРАКТОМЕТРИИ В ЛИТИЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ <sup>\*)</sup>

<sup>1,3</sup>Петров В.Г., <sup>2</sup>Лазарев В.Б., <sup>2</sup>Агеев А.В., <sup>2</sup>Мурачев М.М., <sup>1,2</sup>Джурик А.С.,  
<sup>2</sup>Лешов Н.В.

<sup>1</sup>ЦУ "ИТЭР-центр", Москва, Россия, [vpetrov1952@yandex.ru](mailto:vpetrov1952@yandex.ru)

<sup>2</sup>ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Москва, Россия, [v\\_lazarev@triniti.ru](mailto:v_lazarev@triniti.ru)

<sup>3</sup>УТС-центр, Москва, Россия, [vpetrov1952@yandex.ru](mailto:vpetrov1952@yandex.ru)

В докладе представлена система измерения плотности, реализованная на токамаке Т-11 М на основе дифференциальных рефрактометров (ДР) с зондированием на обыкновенной волне, и описаны первые результаты, полученные с ее помощью в литиевых экспериментах [1] на токамаке Т-11М. В дополнение к существующему каналу рефрактометра, который измерял среднюю электронную плотность по центральной хорде -1 см, в последнее время были добавлены еще 2 канала, измеряющие линейную плотность по 2-м боковым хордам -9 см и +7 см. Дополнительные каналы также выполнены на основе дифференциального рефрактометра, с зондированием плазмы микроволнами в области частот около 140 ГГц. При этом положение боковых хорд зондирования можно менять от разряда к разряду, что позволяет, таким образом, в принципе проводить измерения профиля электронной плотности за несколько разрядов. Центральный канал используется при этом для контроля средней электронной плотности в течение разряда. Физические основы работы дифференциального рефрактометра, заключающиеся в измерении времени задержки микроволнового сигнала, прошедшего через плазму, были изложены ранее в работах [2, 3]. Время задержки сигнала в плазме при этом определяется по формуле:

$$\Delta t_{gr,0} = \frac{d\varphi(\omega,z)}{d\omega} \approx \frac{\Delta\varphi_1(\omega_1,z) - \Delta\varphi_2(\omega_2,z)}{\Delta\omega} = \frac{\Delta\varphi_{12}}{\Delta\omega}, \quad (1)$$

где  $\varphi(\omega, z)$  – фаза зондирующей волны,  $\omega$  – циклическая частота зондирующей волны, индексы 1 и 2 относятся соответственно к 1-й и 2-й волне дифференциального рефрактометра. В дифференциальном рефрактометре плазма зондируется двумя волнами с близкими частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , и измеряется набег фазы между двумя волнами при прохождении их через плазму. Формула (1) справедлива в приближении геометрической оптики, при зондировании плазмы микроволнами с частотами выше плазменной (в случае обыкновенной волны). В ДР разность частот выбирается таким образом, чтобы измеряемая разность фаз не превышала  $2\pi$ , таким образом обеспечивается однозначность измерений плотности.

Аналогичный принцип измерений, но с применением амплитудной модуляции (АМ) и с зондированием микроволнами на необыкновенной волне в области прозрачности плазмы ИТЭР, будет использоваться и на установке ИТЭР [4], на токамаке ТРТ возможно использование ДР схемы с разными зондирующими частотами [5].

Расчитаны калибровочные кривые рефрактометра (зависимости времени задержки (фазового набег) от среднехордовой плотности плазмы). Приведены первые результаты измерений средней плотности на токамаке Т-11 М в ходе литиевых экспериментов.

Работа проведена в рамках контракта с Госкорпорацией «Росатом» от 14.04.2022 № Н.4к.241.09.22.1061.

### Литература

- [1]. Я.А. Васина и др. ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2023, т. 46, вып. 3, с 65-73.
- [2]. Петров В.Г., и др. ПТЭ, №2, 2006. С. 99–104.
- [3]. Петров В.Г., и др. Физика плазмы, т. 32, №4, 2006. С. 346–351.
- [4]. Петров В.Г., и др. Расширение возможностей HFS-рефлектометра ИТЭР измерениями в режиме рефрактометра. <http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/E.html#Sekcija%20E>.
- [5]. В.А. Вершков и др. Измерения электронной плотности плазмы в рефрактометрии ТРТ. Физика плазмы, 2022, том 48, № 8, с. 731–746.

<sup>\*)</sup> DOI – тезисы на английском