

Р.И. ХУСНУТДИНОВ<sup>1,2</sup>, А.Г. АЛЕКСЕЕВ<sup>1</sup>, Е.Н. АНДРЕЕНКО<sup>1</sup>, К.Ю. ВУКОЛОВ<sup>1,3</sup>, А.В. ГОРШКОВ<sup>1</sup>,  
А.Б. КУКУШКИН<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

## ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА ПЕРВОЙ СТЕНКОЙ ПРИ ТРЕХМЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРОФИЛЯ СВЕТИМОСТИ НА ОЦЕНКУ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА БОРА В ПЛАЗМУ ТОКАМАКА ИТЭР

На основе проведенных расчетов томографии трехмерного профиля светимости бора рассчитана плотность потока атомов бора с первой стенки в плазму токамака. Оценено влияние изменения характеристик отражения света первой стенкой на восстановление плотности потока атомов бора.

R.I. KHUSNUTDINOV<sup>1,2</sup>, A.G. ALEKSEEV<sup>1</sup>, E.N. ANDREENKO<sup>1</sup>, K.Y. VUKOLOV<sup>1,3</sup>,  
A.V. GORSHKOV<sup>1</sup>, A.B. KUKUSHKIN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia

<sup>2</sup> National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

<sup>3</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

## INFLUENCE OF FIRST WALL LIGHT REFLECTION IN 3D EMISSION PROFILE TOMOGRAPHY ON THE ESTIMATION OF BORON FLUX DENSITY INTO THE ITER TOKAMAK PLASMA

Based on the tomography calculations of the three-dimensional boron emission profile, the flux density of boron atoms from the first wall into the tokamak plasma was calculated. The effect of changes in the light reflection properties of the first wall on the reconstruction of the boron atom flux density was assessed.

Новая концепция первой стенки ИТЭР с заменой основного материала первой стенки с бериллия на вольфрам и перспектива использования процедуры боронизации их поверхности поставило перед диагностикой «Спектроскопия водородных линий и примесей» (СВЛ) задачу оценки возможности измерения плотности потока бора с первой стенки в плазму по линиям излучения этой примеси в пристеночной плазме в видимом свете. Расчеты эрозии бора были проведены кодом WallDYN3D [1], что позволило рассчитать трехмерное пространственное распределение светимости плазмы (плотность мощности излучения) в интересующих спектральных линиях бора (рассматриваются линии 563, 703 и 412 нм атомов и ионов) и затем оценить сигналы диагностики (интенсивность излучения на указанных линиях в полях обзора каналов диагностики СВЛ). Расчет интенсивности проводится с учетом отражения от первой стенки излучения атомов и ионов бора в пристеночной плазме и диверторе, используя библиотеку Raysect [2] для трассировки лучей в вакуумной камере с заданными характеристиками отражения от поверхности первой стенки, включая зеркальную и диффузную компоненты отражения в модели Кука-Торренса. Расчет сигналов является первым шагом в синтетической диагностике, в которой восстановленный профиль светимости сравнивается с «истинным», использованным для расчета искусственного экспериментального (т.н. синтетического) сигнала.

Далее была показана возможность томографического восстановления [3] трехмерного распределения светимости атомов и ионов бора с использованием подхода матриц переноса лучей [4] для учета отражения света от первой стенки вакуумной камеры. Основной проблемой обычно является неопределенность знания параметров отражения света первой стенкой. Кроме того, чем меньше шероховатость, тем меньше вклад полезного сигнала в полный и тем сложнее восстановить трехмерный пространственный профиль светимости. В текущей работе по этим профилям с помощью метода SXB [5, 6] рассчитана плотность потока атомов бора со стенки в плазму, аналогично выполненному ранее анализу для бериллиевой первой стенки [7].

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № Н.4а.241.09.25.1016 от 21.03.2025 «Разработка, опытное изготовление, испытание и подготовка к поставке специального оборудования в обеспечение выполнения российских обязательств по проекту ИТЭР в 2025 году».

Авторы благодарят Клауса Шмидта (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching) за предоставленные данные распределений бора в пристеночной плазме.

### Список литературы

1. Schmid K. *Nuclear Materials and Energy* 2022, 33, p. 101230
2. Meakins A., Carr M. (2020, November 7). raysect/source: v0.7.0 Release (Version v0.7.0). Zenodo, <http://raysect.org>
3. Хуснугдинов Р.И., Алексеев А.Г., Андреев Е.Н., Вуколов К.Ю., Горшков А.В., Кукушкин А.Б. 2025 *Материалы XXI конференции «Диагностика высокотемпературной плазмы» (Сочи, 29 сентября - 3 октября 2025г.)* стр. 175-177
4. Kajita S., Veshchev E., Barnsley R. and Walsh M. *Contrib. Plasma Phys.* 2016, 56 (9), 837
5. K.H. Behringer, *J. Nucl. Mater.* 1987, 145–147, 145-153.
6. A. Pospieszczyk, et al., *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 2010, 43, 144017.
7. V.S. Neverov, R.A. Pitts, R.I. Khusnutdinov et al. 2024 *Plasma Phys. Control. Fusion* 66 025010