

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Векшиной Елены Оскаровны «Моделирование пристеночной плазмы токамака Глобус-М», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика плазмы

Диссертационная работа Векшиной Е.О. посвящена исследованию физических механизмов, определяющих перенос вещества и энергии в пристеночной плазме токамака Глобус-М, с использованием кода SOLPS. Тематика исследования является, безусловно, актуальной. Работа направлена на формирование полной картины физических процессов, определяющих режимы работы токамака, за счёт выявления основных механизмов, определяющих радиальный и продольный переносы вещества, энергии и электрического заряда на периферии установки. Подобные исследования актуальны не только для токамака Глобус-М, но и для всей программы термоядерных исследований на токамаках, позволяя расширить базы данных и уточнить существующие скейлинги параметров работы установок.

Диссертационная работа, помимо введения, заключения и приложения, содержит четыре главы, каждая из которых посвящена решению самостоятельной задачи в области анализа процессов переноса вещества и энергии в пристеночной области токамака. В первой главе представлены результаты моделирования пяти различных разрядов, характеризующихся различными значениями тока в плазме. Автором определены распределения энергетических потерь из плазмы на пластины дивертора, связанные с несколькими механизмами передачи энергии. Определена зависимость ширины скрэп-слоя от тока плазмы, согласующаяся с эвристическим скейлингом Роба Голдстона. Во второй главе работы исследовано влияние неоклассического механизма переноса на формирование ширины скрэп-слоя. Показано, что в условиях токамака Глобус-М неоклассический перенос плазмы вносит существенный вклад в значение ширины обдирочного слоя. Определены вклады различных физических механизмов в величину радиального тока ионов. В третьей главе диссертации проведено сравнение величин тепловых потоков и электрических токов, приходящих на приемные пластины дивертора в двух различных конфигурациях магнитного поля установки, и определена эффективная ширина скрэп-слоя. В заключительной главе проанализирована роль неоклассического радиального тока в замыкании токов на периферии токамака и установлении потоков заряженных частиц на приёмные пластины дивертора установки.

Полученные в работе результаты обладают научной новизной, позволяя лучше понять физику процессов переноса плазмы в пристеночной области токамака Глобус-М и режимы работы установки. В контексте исследований физики удержания плазмы в токамаках, полученные соискательницей результаты представляют интерес для исследователей, занимающихся анализом процессов, протекающих на периферии термоядерных установок. В частности, они могут быть востребованы при изучении процессов, определяющих формирование обдирочного слоя в таких токамаках, как MAST-U, NSTX-U, ST40, МИФИСТ.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается согласием между расчётными данными и данными экспериментальных наблюдений на токамаке Глобус-М. Для моделирования разрядов использован код SOLPS-ITER, являющийся в настоящее время одним из наиболее верифицированных и валидированных кодов, активно используемых для анализа параметров пристеночной плазмы токамаков.

Несмотря на полноту изложения основных результатов работы, по тексту автореферата может быть сделан ряд замечаний:

1. Скейлинг толщины обдирочного слоя Роба Голдстона получен в предположении о заранее известных фиксированных коэффициентах аномального переноса плазмы. В коде SOLPS ано-

мальные коэффициенты переноса также задаются в виде констант. В то же время в установке параметры аномального переноса самосогласованно связаны с параметрами плазмы, в частности током разряда. Варьировалась ли величина аномальных коэффициентов переноса при численном анализе скейлинга? Можно ли указать, насколько чувствительны значения ширины скрэп-слоя к изменениям в величине турбулентных коэффициентов переноса? Иными словами, каков доверительный интервал определения параметра  $\beta$  в скейлинге  $\lambda = \alpha I_{plasma}^\beta$  в выбранном диапазоне токов?

2. В разделе «Научная новизна» приводится следующая фраза: «впервые предсказан тип токов (Plates Closing Currents – PCC), замыкающих поперечные токи в объёме плазмы через диверторные пластины». При обсуждении результатов главы 4, однако, эти токи почти не упоминаются. Остаётся неясным, как они направлены, какова их величина, как они должны описываться (SOLPS рассчитывает перенос заряда в объёме плазмы, для границы плазмы принят набор граничных условий), наконец, как они могут влиять на режим взаимодействия плазмы со стенкой (формирование слоя, эрозия материалов стенки).
3. Текст автореферата местами небрежно оформлен: обозначения физических величин приведены на английском языке (cm, mm, kA и др.), подписи на картинках и в таблицах также не переведены.

Указанные замечания не умаляют значимости и достоверности полученных соискательницей результатов и не снижают высокий научный уровень выполненной диссертационной работы.

Рассмотрение представленных материалов позволяет сделать вывод, что диссертационная работа Векшиной Е.О. «Моделирование пристеночной плазмы токамака Глобус-М» является законченной научно - квалификационной работой, отвечающей всем требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 ред. 01.10.2018 № 1168, а её автор, Векшина Елена Оскаровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика плазмы — за решение важной научной задачи определения физических механизмов переноса плазмы на периферии токамака Глобус-М.

#### ОТЗЫВ СОСТАВИЛ

Кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.08 «Физика плазмы», доцент Института ЛаПлаз НИЯУ МИФИ

Степаненко Александр Александрович

8 декабря 2021 г.

Почтовый адрес: кафедра физики плазмы, Институт ЛаПлаз, НИЯУ МИФИ, Каширское ш., д. 31, г. Москва, Россия, 115409

Контактный телефон: +7 (495) 788-56-99, доб. 8994

Адрес электронной почты: aastepanenko@mephi.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

Почтовый адрес: Каширское ш., д. 31, г. Москва, Россия, 115409

Контактный телефон: +7 (495) 788-56-99

Адрес электронной почты: info@mephi.ru

