

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Михайлова Владислава Сергеевича «Моделирование распыления и рассеяния при ионном облучении бериллия и вольфрама – перспективных материалов первой стенки токамака-реактора» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 — Физическая электроника.

На сегодняшний день в области управляемого термоядерного синтеза (УТС) важной является проблема взаимодействия высокотемпературной плазмы с поверхностью обращенных к ней материалов реактора. Воздействие высокоэнергетических потоков частиц плазмы с дивертором и первой стенкой токамака приводит к примесям в плазме, проникновение которых в центр горячей плазмы является крайне нежелательным для эффективной работы токамака, так как это приводит к большим радиационными потерям и может сделать достижение термоядерной реакции с положительным выходом невозможным. Основными кандидатами на роль материала первой стенки будущих реакторов УТС являются бериллий и вольфрам. Выбор этих материалов обусловлен малым коэффициентом распыления, высокой температурой плавления и рядом других факторов. В работе подробно исследован процесс распыления этих материалов изотопами водорода, а также набором характерных для токамаков элементов примесей. Диссертация посвящена разработке методов моделирования взаимодействия ионных пучков с твердым телом, в котором учитываются особенности строения мишени, современные представления о потенциалах взаимодействия, ядерных и электронных тормозных способностях. Разработанные методы позволяют получать всю необходимую информацию о процессах распыления и рассеяния при облучении твердого тела ионным пучком. Отдельное внимание в диссертации уделено определению угловых и энергетических спектров распыленных частиц, что позволит более точно оценить их проникновение в

глубину реактора и, следовательно, их дальнейшее влияние на характеристики разряда в целом.

Диссертация содержит введение, три главы и заключение. В первой главе описаны все основные физические процессы, которые следует учитывать при моделировании распыления и рассеяния при ионном облучении, а также представлен обзор современного состояния исследований. Глава 2 содержит описание метода моделирования, где в полной мере изложен используемый алгоритм программы. Глава 3 посвящена основным результатам исследований диссертационной работы.

Защищаемые научные положения содержат признаки научной новизны и являются научно и практически значимыми. Повышение точности расчета коэффициентов распыления вольфрама и бериллия, перспективных материалов первой стенки токамака-реактора, основано на учете современных представлений о потенциалах взаимодействия и современных данных о ядерных и электронных тормозных способностях. Полученные угловые и энергетические зависимости коэффициентов распыления, а также угловые и энергетические характеристики распыленных частиц представляют особый интерес для моделирования динамики примесных частиц в реакторах типа токамак.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается многочисленными сравнениями с экспериментальными данными, а также с результатами моделирования других научных коллективов.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы.

1. В тексте диссертации в разделе 2.2. описано, как в программе учитываются тепловые колебания атомов мишени. Однако в дальнейшем никакой зависимости от температуры мишени не исследуется.

2. В работе в основном рассматриваются аморфные мишени. В некоторых отдельных местах проведено моделирование взаимодействия

ионного пучка с кристаллической структурой. Возможно ли рассмотрение в программе поликристаллической мишени? И будут ли какие-то принципиальные отличия в результатах?

3. В разделе 3.5 приведены оценки образования распылённых частиц. Показано, что число распылённых частиц весьма велико. Наблюдались ли на установках подобные порядки образовавшихся частиц примеси? Проводилось ли сравнение?

4. На рисунках 3.1 и 3.13 представлены одни из основных результатов диссертации: рассчитанные коэффициенты распыления вольфрама и бериллия в зависимости от энергии налетающих изотопов водорода. Почему при сравнении с имеющимися экспериментальными данными не указана ошибка эксперимента? Это бы помогло дать более точную оценку полученных в работе результатов.

Отмеченные недостатки не снижают ценности данной работы. Диссертационная работа представляет собой законченное исследование, достоверность, научная новизна и значимость результатов которого не вызывает сомнения. Основные результаты и положения работы достаточно полно отражены в 8 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых Web of Science, апробированы в ряде международных конференций. Основные положения диссертации соответствуют специальности 1.3.5 — Физическая электроника. Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в автореферате.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Михайлова В.С. "Моделирование распыления и рассеяния при ионном облучении бериллия и вольфрама — перспективных материалов первой стенки токамака-реактора" отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 — Физическая

электроника согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Михайлов В.С. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры 1203 Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

29 мая 2024 г. _____ / Борисов Анатолий Михайлович/

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.08 — Физика плазмы, 01.04.01 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Адрес места работы: 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3. Тел.: 8 (499) 158 92 09. Адрес электронной почты: anatoly_borisov@mail.ru