

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук Лобановой Лидии Григорьевны «Электронная
спектроскопия и спектроскопия рассеяния легких ионов низких энергий в
задачах выбора материалов, обращенных к плазме» по специальности
1.3.5. Физическая электроника**

Диссертационная работа Лобановой Л.Г., посвященная теории и методикам электронной спектроскопии и спектроскопии рассеяния легких ионов низких энергий материалами, безусловно, находится в русле актуальных фундаментальных и прикладных проблем выбора материалов, обращенных к плазме. Исследования рассеяния налетающих частиц твердыми мишенями имеют большое теоретическое и прикладное значение. При энергиях частиц 100 кэВ – 2 МэВ они широко используются при анализе поверхностного слоя глубиной ~1 мкм методом спектроскопии резерфордовского рассеяния ионов. При энергиях частиц ~1 кэВ метод спектроскопии медленных рассеянных ионов позволяет с высокой чувствительностью исследовать состав поверхностного монослоя. Атомные и молекулярные физические процессы играют существенную роль в нагреве, охлаждении, потерях, диагностике и моделировании высокотемпературной плазмы. Распыление, обратное рассеяние и имплантация оказывают решающее воздействие на стенки термоядерных устройств и плазменных установок. В последние годы исследования столкновений атомных частиц с твердым телом интенсивно развиваются в России и в мире.

Содержание диссертации из 5 глав в полной мере отражает и обосновывает положения, выносимые на защиту. В первой главе на основе обзора литературных данных показано, что существующие теории не в полной мере учитывают специфику атомных столкновений при низких энергиях ионов, что приводит к проблемам практического применения спектроскопии рассеяния легких ионов низких энергий материалами.

Во второй главе обосновывается теоретическая модель отражения легких ионов от твердых тел, базирующаяся на решении граничной задачи для уравнения упругого переноса методом инвариантного погружения и с высокой точностью описывающая дифференциальные и интегральные характеристики рассеяния легких ионов с энергией в от сотен до нескольких тысяч эВ.

В главе 3 обосновывается количественный метод расшифровки сигнала спектроскопии пиков упруго отраженных электронов, построенный на решении граничной задачи для уравнения упругого переноса электронов методом инвариантного погружения с учетом вклада процесса многократного упругого рассеяния, который позволяет определять послойные профили изотопов водорода с содержанием в исследуемой мишени на уровне 10 %.

Методики расшифровки энергетических спектров отраженных электронов, построенные на основе решения граничной задачи для уравнения упругого переноса с применением оригинальной методики аналитического продолжения, которые позволяют количественно описывать результаты спектроскопии отраженных электронов как для однородных, так и слоисто-неоднородных мишеней, рассматриваются и обосновываются в главе 4. Методика расшифровки области потерь энергии фотоэлектронов в спектрах рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, позволяющая восстанавливать дифференциальное сечение неупругих потерь энергии электронов и определять аллотропную форму исследуемого материала, представлена в главе 5. Показано, что в результате воздействия стационарной гелиевой плазмы на плазменной линейной установке образующиеся наноструктуры вольфрамовый «пух» имеют идентичную электронную структуру, что и исходный вольфрам, а поверхность графита марки МПГ-8 переходит в структуру пиролитического графита, под действием дейтериевой плазмы токамака EAST на графите марки АТJ образуются алмазоподобные покрытия.

В целом, представленная к защите диссертация Лобановой Л.Г., содержит подробное описание различных подходов к решению поставленных задач, отличается высоким уровнем **обоснованности выводов** и наличием **практической значимости**.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, являются **обоснованными и достоверными**. Их доказательная база построена на комплексном применении современных методов теоретического исследования и компьютерного моделирования. Достоверность расчетов обеспечивается, прежде всего, их подтверждением имеющимися экспериментальными данными и результатами компьютерного моделирования, полученными другими авторами. Таким образом, научные

положения и выводы работы подкреплены результатами многочисленных компьютерных расчетов, их воспроизводимостью и корректной обработкой. Основные выводы диссертации отражены в ведущих российских и международных научных журналах. Все это позволяет считать представленные результаты обоснованными, достоверными и отвечающими современному мировому уровню научных исследований.

Замечания по диссертационной работе:

1. В проблеме взаимодействия термоядерной плазмы с твердым телом наибольший интерес представляют энергии легких ионов порядка сотни эВ. При этих энергиях упругие потери энергии превышают неупругие. Сечение упругих потерь энергии перестает быть «сильно вытянутым». В таком случае условие, позволяющее проводить процедуру линеаризации, не выполняется. В работе эти ситуации подробно не обсуждаются.
2. В работе указывается, что образование на графите алмазоподобного покрытия снимает «третью проблему» в силу отсутствия химического распыления. Однако, в работе не отмечены эксперименты по исследованию процесса химического распыления алмазоподобных покрытий.
3. В работе предложен замечательный метод определения послонных профилей изотопов водорода на основе спектроскопии пиков упруго отраженных электронов. Однако приведено очень малое количество экспериментальных данных.
4. РФЭС спектры вольфрамового пуха и вольфрама практически совпадают. В то же время в ряде экспериментов наблюдается сильное различие в сигналах частиц, отраженных от вольфрама и вольфрама, покрытого пухом.

Сделанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация написана в четком и ясном стиле, имеет оптимальную структуру и объем глав, содержание автореферата соответствует тексту диссертации. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.5. Физическая электроника (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о

присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Считаю, что соискатель Лобанова Лидия Григорьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. Физическая электроника.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, профессор кафедры 1203 «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Борисов Анатолий Михайлович 06.04.2026

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: _____

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.08 – Физика плазмы, 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики (физ.-мат. науки).

Адрес места работы: 125993, Россия, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Тел.: +7-499-158-43-33; e-mail: mai@mai.ru

*Подпись Борисова А.М. заверено
зам. нач. отдела кадров МАИ*

