

## ОТЗЫВ

на автореферат

диссертации Сдвиженского Петра Александровича  
**«Разработка методов решения задач нелокального переноса излучения и спектроскопической диагностики плазмы»**,  
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – Физика плазмы.

Диссертация П.А. Сдвиженского посвящена созданию новых расчетно-теоретических методов в задачах нелокального переноса излучения в плазме и спектроскопической диагностики горячей плазмы.

Первые две главы посвящены разработке новых методов в теории нелокального переноса излучения в плазме. Как для одного из пользователей результатами моделирования сложными кинетическими кодами (типа известного кода EIRENE для моделирования недиффузионного переноса нейтральных атомов и фотонов в пристеночной плазме токамаков, включая оптически плотную диверторную плазму), мне понятна актуальность такой работы потому, что пока не существует инструментов для должного независимого контроля точности таких кодов. Надеюсь, полученные точные аналитические решения для переноса излучения в слое пристеночной плазме будут использованы в ближайшем будущем применительно к базам данных соответствующих расчетов для международного проекта токамака ИТЭР.

Особый интерес для специалистов в области диагностики термоядерной плазмы представляют результаты главы 3 по спектроскопической диагностике горячей плазмы в токамаках. Эта работа была стимулирована ведущимися в ФТИ им. А.Ф.Иоффе работами по созданию активных (лазерных) спектроскопических диагностик для токамаков-реакторов ИТЭР и ДЕМО. Здесь диссертантом решены две задачи.

Первая задача вызвана необходимостью применения томсоновской диагностики, основанной на измерении спектра неколлективного рассеяния лазерного излучения электронами плазмы, к измерению температур и плотности электронов в установках с существенно большим, чем ранее,

диапазоном изменения температуры, вплоть до  $T_e \sim 40$  кэВ. Спектральная ширина и асимметрия спектра подсказали использование лазеров на разных длинах волн для охвата всего спектра. Кроме этого, в горячей плазме растет возможность немаксвелловости электронов. Поэтому оценка преимуществ соответствующей, «многоцветной» томсоновской диагностики в токамаках-реакторах потребовала создания нового метода расчета точности томсоновской диагностики, в котором одновременно учтены «многоцветность», типичная немаксвелловость и источники ошибок измерения, обусловленные системой сбора и регистрации рассеянного излучения. Решение обратной задачи восстановления искомым параметров функции распределения электронов по скоростям и их плотности сделано на должном физико-математическом уровне. Метод использован для доказательства преимуществ использования трех длин волн зондирующего излучения в планируемой томсоновской диагностике центральной плазмы в ИТЭР.

Вторая задача вызвана необходимостью оценки параметров высокоэнергичной части функции распределения электронов по скоростям в токамаках-реакторах. Поскольку возможностей томсоновской диагностики не хватает для решения такой задачи, в диссертации предложен новый алгоритм комплексной диагностики, объединяющий томсоновскую диагностику с измерением спектров электронного циклотронного (ЭЦ) излучения на немалых гармониках ЭЦ частоты. Оценки показали возможность повышения точности определения характерной энергии самой горячей фракции электронов.

Основные результаты этой главы опубликованы в журналах *Nuclear Fusion* и *Вопросы атомной науки и техники. Серия Термоядерный синтез (ВАНТ-ТС)* и доложены на конференциях МАГАТЭ и Европейского физического общества.

К недостаткам можно отнести незначительные опечатки. Так вместо «широта спектра» правильнее писать «ширина спектра». Для рисунка 4 автореферата выбран не самый показательный результат расчета параметров



электронной компоненты по томсоновским спектрам рассеяния на двух длинах волн зондирования 1064нм и 1320нм. Так, из рисунка следует, что для измерения температуры 40кэВ выгоднее использовать только одну длину волны зондирования - 1320нм. В диссертации приводится более показательный результат расчета для трех длин волн зондирования 946нм, 1064нм и 1320нм. Как следует из текста диссертации, выгода применения томсоновского рассеяния с зондированием на двух длинах волн 1064нм и 1320нм проявляется при рассмотрении разных температур, и при некоторых температурах, действительно, зондирование на одной из выбранных длин волн предпочтительнее.

Указанные недостатки, однако, не влияют на общий высокий уровень проведенных исследований. Автореферат диссертации П.А. Сдвиженского позволяет сделать вывод о том, что им выполнена завершенная научно-квалификационная работа на уровне, соответствующем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – “Физика плазмы”.

Старший научный сотрудник ФТИ им А.Ф. Иоффе канд. физ.-мат. наук

Е.Е. Мухин

Ученый секретарь ФТИ им А.Ф. Иоффе

д-р физ.-мат. наук, профессор

А.П. Шергин

