

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Зарубиной Елены Юрьевны

на тему: «**Диагностика параметров криогенной мишени для лазерного термоядерного синтеза**»

по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики

Диссертационная работа Зарубиной Е.Ю. посвящена одной из **актуальных** проблем лазерного термоядерного синтеза – диагностике параметров криогенной мишени перед ее постановкой в эксперимент по зажиганию на лазерной установке мегаджоульного уровня энергии. Для достижения зажигания криогенная мишень должна удовлетворять очень высоким требованиям, которые предъявляются в первую очередь к ее поверхностям, поскольку при имплозии мишени на неоднородностях поверхностей развиваются гидродинамические неустойчивости, в результате чего зажигания достичь не удастся.

В настоящее время в «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в г. Саров создается лазерная установка мегаджоульного уровня энергии. Параллельно отрабатываются технологии получения криогенной мишени непрямого сжатия, неотъемлемой частью которых является диагностика параметров мишени. Зарубиной Е.Ю. проведена объемная экспериментальная и теоретическая работа, по результатам которой реализован комплекс неразрушающих методов диагностики.

Во **Введении** отражена актуальность проблемы, указаны научная новизна и практическая значимость работы; сформулированы цель и основные задачи работы, личный вклад автора; приведены основные положения, выносимые на защиту, и информация об апробации результатов работы.

Глава 1 диссертации посвящена обзору существующих методов диагностики параметров капсулы и твердого слоя топлива. Проведен анализ и обоснован выбор используемых в работе методов.

Глава 2 содержит описание созданной Зарубиной Е.Ю. экспериментальной базы и разработанных методов диагностики параметров капсулы и мишенного узла. Реализованный стенд измерений параметров капсулы с применением метода конфокальной микроскопии обеспечивает сканирование ее полных поверхностей и определение толщины стенки, а разработанные программы – автоматизацию сбора и обработки экспериментальных данных. Метод позволяет определять ключевые характеристики капсулы: толщину и разнотолщинность стенки капсулы, спектры пространственных мод возмущений поверхностей.

Реализованный стенд измерений параметров капсул с применением рентгеновского фазоконтрастного метода обеспечивает измерение толщины стенки оптически непрозрачных капсул. Выполнено численное моделирование распространения РИ через капсулу и объяснен механизм формирования рентгеновского фазоконтрастного изображения капсулы, решена обратная задача для определения толщины стенки капсулы по характерным особенностям на изображении. Автоматизирована обработка экспериментальных результатов.

Глава 3 посвящена методам диагностики параметров топлива в капсуле. Зарубиной Е.Ю. создана экспериментальная база оптической теневой и рентгеновской фазоконтрастной диагностики параметров топлива, зарегистрированы два ноу-хау. Для оптического теневого и рентгеновского фазоконтрастного методов проведено численное моделирование распространения излучения через капсулу с топливом, объяснены механизмы формирования изображений, выявлены характеристические группы лучей, решены обратные задачи для получения взаимосвязей положения внутренней поверхности топлива с характерными особенностями на изображениях.

Выявлено, что для оптического теневого метода возмущения внутренней поверхности твердого слоя топлива вносят ошибки при диагностике. Предложен метод учета влияния возмущений на формирование характеристических особенностей, который проверен на моделях с заведомо известной поверхностью. Для получения твердого слоя топлива предложен метод дозирования жидкого топлива по характеристическому бледному кольцу на оптическом теневом изображении. Разработаны программы автоматической обработки экспериментальных оптических теневых и рентгеновских фазоконтрастных изображений криогенной мишени, в том числе возмущенной внутренней поверхностью твердого слоя топлива, с вычислением неконцентричности и несферичности, спектров спектры пространственных мод возмущений внутренней поверхности твердого слоя топлива, толщины и разнотолщинности слоя топлива.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна исследования проявляется в ряде ключевых достижений:

- продемонстрировано использование метода конфокальной микроскопии для неразрушающего контроля оптически прозрачных капсул;
- получены уравнения для определения параметров поверхностей криогенных мишеней и полых капсул по их оптическим теневым и рентгеновским фазоконтрастным изображениям;
- предложен метод дозирования жидкого топлива; продемонстрировано использование результатов диагностики параметров слоя топлива для анализа результатов эксперимента по формированию твердого слоя топлива и выявления недостатков мишенного узла и постановки эксперимента.

Положения, выносимые на защиту, четко сформулированы и обоснованы результатами численного моделирования, экспериментальными результатами и их согласованностью.

Достоверность обеспечивается использованием комплекса современных экспериментальных методов исследования, согласованием результатов, полученных разными методами, а также подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах.

Практическая ценность работы заключается в применении полученных результатов не только для диагностики параметров криогенной мишени для ЛТС, но и ряда различных мишеней для проведения экспериментов по лазерному нагружению материалов на действующих моделирующих лазерных установках.

Тем не менее, хотелось бы отметить следующие замечания:

1. Не указано, на каких капсулах – оптически прозрачных или непрозрачных – будут в итоге проводиться эксперименты по сжатию/зажиганию криогенной мишени на лазерной установке мегаджоульного уровня энергии. Известно, что на установке NIF все успешные эксперименты с положительным выходом энергии были проведены на капсулах из высокоплотного углерода, которые являются непрозрачными в оптическом диапазоне. Соответственно, непонятно, нужен ли будет в принципе оптический теневой метод для диагностики параметров слоя топлива в криогенной мишени для лазерного эксперимента, поскольку на NIF в лазерном эксперименте используется только рентгеновская диагностика.
2. При сканировании полной поверхности капсулы методом конфокальной микроскопии с одной капсулы собирается большой объем данных. Не отмечено, сколько времени занимает диагностика параметров одной капсулы, начиная от сбора данных и заканчивая их обработкой и анализом.
3. В диссертации автором упоминается большое количество разработанных программ для моделирования и обработки экспериментальных данных, но не приведены ссылки на свидетельства о их регистрации как

результата интеллектуальной деятельности. Если этого еще не было сделано, планируется ли автором данная работа?

4. На стр. 61 приводится утверждение «глубина пикселя в режиме высокой скорости - 12 бит, в режиме высокой точности - 16 бит» по-видимому автор имел ввиду динамический диапазон, определяемый количеством разрядов аналого-цифрового преобразования камеры.

5. На стр.73 указано, что «капилляр из боросиликатного стекла с золотым напылением диаметром от 10 до 20 мкм и длиной 3 мм, подбирается индивидуально в соответствии с диаметром отверстия под капилляр в капсуле». В действительности определяющим критерием является непосредственно диаметр капилляра, так как он служит одним из основных источников развития гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания. Поэтому его диаметр стремятся минимизировать, так, например, на установке NIF диаметр капилляра криогенной капсулы составляет 2 мкм.

6. Диссертация перегружена большим количеством сокращений, что даже при наличии глоссария затрудняет чтение текста.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики (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. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Зарубина Елена Юрьевна за разработку методов диагностики параметров криогенной мишени для лазерного термоядерного синтеза заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент
проректор, главный научный сотрудник Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»

КУЗНЕЦОВ Андрей Петрович

25.08.2026

Контактные данные:

тел.: _____, e-mail: apkuznetsov@mephi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.21. Лазерная физика, 01.04.08. Физика плазмы

Адрес места работы:

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31,

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Тел.: +7 (495) 788-5699; e-mail: apkuznetsov@mephi.ru