

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Макарова Сергея Станиславовича  
«Изучение экстремальных гидродинамических явлений в лазерной плазме методом когерентной рентгеновской радиографии сверхвысокого разрешения»,  
представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

Диссертация Макарова С.С. посвящена экспериментальному исследованию гидродинамических явлений в плазме, создаваемой при воздействии интенсивных наносекундных лазерных импульсов на твердотельные мишени. Актуальность работы, хорошо описанная в тексте автореферата, обуславливается заметной нехваткой экспериментальных данных по эволюции гидродинамических явлений в веществе, находящимся под воздействием высоких потоков энергии. Основным объектом исследования в диссертации являются неустойчивость Рэлея-Тейлора в расширяющихся потоках лазерной плазмы и лазерно-индуцированные ударные волны в твердых веществах. Детальное понимание эволюции этих процессов необходимо, с одной стороны, для решения фундаментальных астрофизических задач, а с другой – для развития технологий инерциального термоядерного синтеза.

В качестве основного метода исследования выбран подход когерентной рентгеновской радиографии, который развивается в рамках работы путем объединения возможностей зондирующих пучков рентгеновских лазеров на свободных электронах и флуоресцентных кристаллических детекторов для получения радиографических изображений субмикронного разрешения.

В результате развития этого метода, автору удалось впервые экспериментально исследовать турбулентную фазу развития неустойчивости Рэлея-Тейлора в лазерной плазме, а также зарегистрировать локальную немонотонность в пространственном спектре за пределами каскадного режима переноса энергии вихрей турбулентности, которая не предсказывается колмогоровской теорией. Полученные результаты могут быть использованы для развития гидродинамических теорий и компьютерных кодов, описывающих турбулентную фазу развития неустойчивости Рэлея-Тейлора.

В работе представлена апробация разработанной рентгенографической методики для задач исследования лазерно-ударного воздействия на твердотельные вещества. Описаны результаты эксперимента, в котором впервые прямым методом визуализирована парная волновая структура в виде упругого предвестника и распространяющейся за ним пластической ударной волны в алмазе. Представленное в работе сравнение экспериментальных рентгенографических картин с двумерными гидродинамическими расчетами позволили впервые прямым методом определить параметры наблюдаемых ударных волн и выполнить калибровку упругопластической модели нагрузки алмаза до давлений в несколько миллионов атмосфер.

Стоит отметить, что развитая в рамках работы методика контроля дозового распределения субмикронных пучков рентгеновских лазеров позволит проводить высокоточные исследования воздействия высоких потоков энергии на вещество и может быть использована в экспериментах по физике высокой плотности энергии на таких международных установках как Европейский РЛСЭ (Германия), Sacla XFEL (Япония), LCLS (США) и др.

В тексте автореферата Макарова С.С. представлены четкие формулировки цели работы, ее научной новизны и практической значимости. Положения, выносимые на защиту, хорошо изложены и обоснованы. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации, в том числе

используемые диагностические методы и широкий набор экспериментальных данных, которые сопровождаются обширным графическим материалом.

После прочтения текста автореферата можно сформулировать следующие замечание:

- не хватает обсуждения возможных причин проявления локальной немонотонности в наблюдаемом турбулентном пространственном спектре, представленном в Главе 3.
- не хватает описания в тексте явных выводов к рисунку 3, на котором представлен результат измерения каустики сфокусированного пучка рентгеновского лазера на свободных электронах с использованием детектора LiF.

Стоит отметить, что ответы на данные замечания находятся в тексте диссертации, но лучше было бы более подробно их осветить и в автореферате, поскольку они имеют важное значение для защищаемых положений.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. Публикации соискателя в ведущих научных журналах и их число по теме диссертации, а также неоднократные выступления на международных конференциях свидетельствуют о том, что полученные результаты являются достоверными.

На основании текста автореферата можно заключить, что диссертация «Изучение экстремальных гидродинамических явлений в лазерной плазме методом когерентной рентгеновской радиографии сверхвысокого разрешения» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9-11 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., ред.11.09.2021г. а ее автор, Макаров Сергей Станиславович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 - физика плазмы.

Отзыв составил

Заведующей лабораторией моделирования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН)

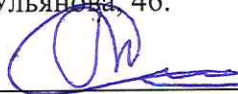
д.ф.-м.н. (1.3.9. – Физика плазмы)

**Стародубцев Михаил Викторович**

e-mail: [mstar@ipfran.ru](mailto:mstar@ipfran.ru)

телефон: +7 (831) 418-90-77

603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46.

  
14. 04 .2022

// Стародубцев М.В.

Подпись Стародубцева Михаила Викторовича заверяю:

Ученый секретарь ИПФ РАН,

к.ф.-м.н.

  
14. 04 .2022

// Корюкин И.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46  
Тел. +7 (831) 436-62-02; [www.ipfran.ru](http://www.ipfran.ru); [dir@ipfran.ru](mailto:dir@ipfran.ru);

ПОДПИСЬ Корюкина И.В.  
ДОСТОВЕРЯЮ

В ОТДЕЛЕ КАДРОВ

А.В. ГОРОДЕЦКАЯ

14.04.2022