

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.1.193.01 (Д 002.110.02), СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.04.2022г. протокол № 7

О присуждении Макарову Сергею Станиславовичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Изучение экстремальных гидродинамических явлений в лазерной плазме методом когерентной рентгеновской радиографии сверхвысокого разрешения» в виде рукописи по специальности 1.3.9— физика плазмы принята к защите 24.02.2022г., (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр.2, jiht.ru, (495) 485-8345), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Макаров Сергей Станиславович 1993 года рождения, в 2017 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

В 2021 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Работает в должности научного сотрудника лаборатории №1.1. – диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории №1.1. – диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией №1.1. – диагностики вещества в экстремальном состоянии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук Пикуз Сергей Алексеевич.

Официальные оппоненты:

- доктор химических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией методов синхротронного излучения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук» Толочко Борис Петрович;

- кандидат физико-математических наук, высококвалифицированный научный сотрудник лаборатории рентгеновской оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук» Попов Николай Леонидович дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук» в своем положительном

заключении, составленном ведущим научным сотрудником лаборатории физики взрыва, кандидатом физико-математических наук Теном Константином Алексеевичем и утвержденном директором ИГиЛ СО РАН д.ф.-м.н. Ерманюком Е.В., указала, что среди наиболее значимых научных результатов, имеющих как прикладную так и фундаментальную значимость, можно выделить следующие:

1. Впервые с высокой точностью получены экспериментальные данные по определению функций отклика и пространственного разрешения, а также радиационной устойчивости детектора LiF при воздействии пучков как традиционных синхротронных источников, так и рентгеновских лазеров на свободных электронах.
2. Впервые с субмикронной точностью экспериментально визуализировано и исследовано развитие неустойчивостей Рэлея—Тейлора в лазерно-индуцированной наносекундной плазме вплоть до турбулентной фазы. До сегодняшнего дня данная область не имела экспериментальных радиографических исследований с таким временным и пространственным разрешением.
3. Прямым методом впервые экспериментально зарегистрирована с микронной точностью и исследована динамика развития волновой структуры «упругий предвестник – пластическая ударная волна» в алмазе.
4. Развита методика фазово-контрастной когерентной рентгенографии сверхвысокого разрешения открывает новое направление по регистрации малоконтрастных объектов во многих веществах.

Также были отмечены следующие отличительные особенности диссертационной работы:

1. Данная работа имеет большое методическое значение. В ней задаются два новых экспериментальных направления: дальнейшая разработка рентгеновских детекторов с микронным разрешением и постановка

гидродинамических экспериментов с использованием рентгеновских лазеров фемтосекундным временным разрешением.

2. Автором развита и впервые применена методика фазово-контрастной рентгеновской радиографии сверхвысокого разрешения, которая была применена для исследования гидродинамических явлений в наносекундной лазерной плазме и твердом веществе.
3. Автором организована огромная кооперация научных сотрудников ведущих организаций (по источникам излучения и детекторам) в мире. При проведении экспериментов использовались самые передовые установки в мире на данное время. Такая кооперация предполагает большие способности к общению и работе в многонациональном коллективе.

Отмечено, что разработанные в работе методики и полученные результаты могут быть использованы в ряде организаций и научных центров, осуществляющих исследования по физике высокой плотности энергии, таких как ИГиЛ СО РАН, НИЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ – ВНИИТФ, ФГУП «ВНИИА», НИЯУ МИФИ, ОИВТ РАН и др. для рентгеновской радиографии и исследования гидродинамических явлений в плазме.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ рецензируемых научных журналах по теме диссертации. Основные результаты, изложенные в диссертации, докладывались лично автором и обсуждались на 14-ти всероссийских и международных конференциях.

Основныеработы:

1. Rigon G., Albertazzi B., Pikuz T., Mabey P., Bouffetier V., Ozaki N., Vinci T., Barbato F., Falize E., Inubushi Y., Kamimura N., Katagiri K., Makarov S., Manuel M. J.-E., Miyanishi K., Pikuz S., Poujade O., Sueda K., Togashi T., Umeda Y., Yabashi M., Yabuuchi T., Gregori G., Kodama R., Casner A.,

- Koenig M. Micron-scale phenomena observed in a turbulent laser-produced plasma // *Nature communications*. — 2021.—V. 12.—2679.
2. Makarov S.S., Pikuz T.A., Buzmakov A.V., Chernyaev A.P., Mabey P., Vinci T., Rigon G., Albertazzi B., Casner A., Bouffetier V., Kodama R., Katagiri K., Kamimura N., Umeda Y., Ozaki N., Falize E., Poujade O., Togashi T., Yabashi M., Yabuuchi T., Inubushi Y., Miyanishi K., Sueda K., Manuel M., Gregori G., Koenig M., and Pikuz S.A. X-ray radiography based on the phase-contrast imaging with using LiF detector//*Journal of Physics: Conference Series*. — IOP Publishing, 2021.—V.1787.—012027.
 3. Filippov E.D., Makarov S.S., Burdonov K.F., Yao W., Revet G., Béard J., Bolaños S., Chen S.N., Guediche A., Hare J., Romanovsky D., Skobelev I.Yu., Starodubtsev M., Ciardi A., Pikuz S.A., and Fuchs J. Enhanced x-ray emission arising from laser-plasma confinement by a strong transverse magnetic field // *Scientific reports*. — 2021.—V. 11.—8180.
 4. Bonfigli F., Hartley N. J., Inubushi Y., Katagiri K., Koenig M., Matsuoka T., Makarov S., Montekali R. M., Nichelatti E., Ozaki N., Piccinini M., Pikuz S., Pikuz T., Sagae D., Vincenti M. A., Yabuuchi T. Photoluminescent radiation-induced color centers in lithium fluoride for detection of pulsed 10 keV XFEL beam // *IL NUOVO CIMENTO C*. — 2021.—V. 44.—146.
 5. Makarov S.S., Pikuz T.A., Buzmakov A.V., Hayashi Y., Fukuda Y., Kando M., Daido I., Kotaki H., Lu X., Jie F., Alkhimova M.A., Ryazantsev S.N., Skobelev I.Yu., and Pikuz S.A. Properties of laser beam passed through cluster plasma studied with diffraction pattern method // *Journal of Physics: Conference Series*.— IOP Publishing, 2020.—V.1556.—012007.
 6. Макаров С.С., Жвания И.А., Пикуз С.А., Пикуз Т.А., Скобелев И.Ю. Исследование параметров высокоинтенсивных тепловых и когерентных рентгеновских источников с помощью кристаллов фторида лития (обзор) // *Теплофизикавысоких температур*.— 2020. —Т. 58. — №. 4. — С. 670–688.

7. Makarov S., Pikuz S., Ryazantsev S., Pikuz T., Buzmakov A., Rose M., Lazarev S., Senkbeil T., von Gundlach A., Stuhr S., Rumancev Ch., Dzhigaev D., Skopintsev P., Zaluzhnyy I., Viefhaus J., Rosenhahn A., Kodama R., Vartanyants I. A. Soft x-ray diffraction patterns measured by a LiF detector with sub-micrometre resolution and an ultimate dynamic range // *Journal of Synchrotron Radiation*. — 2020. —V. 27.—P. 625-632.
8. Khair B., Revet G., Ciardi A., Burdonov K., Filippov E., Béard J., Cerchez M., Chen S. N., Gangolf T., S. S. Makarov, Ouillé M., Safronova M., Skobelev I. Yu., Soloviev A., Starodubtsev M., Willi O., Pikuz S., and Fuchs J. Laser-produced magnetic-rayleigh-taylor unstable plasma slabs in a 20 T magnetic field // *Physical Review Letters*.— 2019.— V. 123.— 205001.
9. Макаров С.С., Пикуз С.А., Черняев А.П. In-situ измерение профиля сфокусированного пучка синхротронного излучения флуоресцентным детектором с динамическим диапазоном 10^6 // Ученые записки физического факультета Московского Университета. — 2019. — №. 1.—1910401.
10. Mabey P., Albertazzi B., Michel Th., Rigon G., Makarov S., Ozaki N., Matsuoka T., Pikuz S., Pikuz T., Koenig M. Characterization of high spatial resolution lithium fluoride x-ray detectors // *Review of Scientific Instruments*.— 2019. — V. 90.— 063702.
11. Bonfigli F., Hartley N., Inubushi Yu., Koenig M., Matsuoka T., Makarov S., Montekali R. M., Nichelatti E., Ozaki N., Piccinini M., Pikuz S., Pikuz T. A., Sagae D., Vincenti M. A., Yabashi M., Yabuuchi T. Photoluminescence properties and characterization of lif-based imaging detector irradiated by 10 keVXFEL beam// *SPIE Proceedings*. — 2019. —V. 11035.—110350N.
12. Pikuz T., Faenov A., Ozaki N., Matsuoka T., Albertazzi B., Hartley N. J., Miyanishi K., Katagiri K., Matsuyama S., Yamauchi K., Habara H., Inubushi Y., Togashi T., Yumoto H., Ohashi H., Tange Y., Yabuuchi T., Yabashi M., Grum-Grzhimailo A.N., Casner A., Skobelev I. Yu., Makarov S., Pikuz S.,

- Rigon G., Koenig M., Tanaka K. A., Ishikawa T., Kodama R. Development of new diagnostics based on lif detector for pump-probe experiments//Matter and Radiation at Extremes.— 2018.— V. 3.—P.197–206.
- 13.Faenov A.Y., Pikuz T.A., Mabey P., Albertazzi B., Michel Th., Rigon G., Pikuz S.A., Buzmakov A., Makarov S., Ozaki N., Matsuoka T., Katagiri K., Miyanishi K., Takahashi K., Tanaka K.A., Inubushi Y., Togashi T., Yabuuchi T., Yabashi M., Casner A., Kodama R.,Koenig M. Advanced high resolution x-ray diagnostic for HEDP experiments // Scientific reports.— 2018. — V. 8.— 16407.
- 14.Макаров С.С., Пикуз С.А., Пикуз Т.А., Бuzмаков А.В. Выбор геометрии эксперимента при определении волновых свойств излучения рентгеновского лазера дифракционным методом// Вестник Объединенного института высоких температур.— 2018. — Т. 1. — С. 136–139.
- 15.Ivanov K.A., Gozhev D.A., Rodichkina S.P., Makarov S.V., Makarov S.S., Dubatkov M.A., Pikuz S.A., Presnov D.E., Paskhalov A.A., Eremin N.V., Brantov A.V., Bychenkov V.Yu, VolkovR.V., TimoshenkoV.Yu., Kudryashov S.I., and Savel'ev A.B. Nano structured plasmas for enhanced gamma emission at relativistic laser interaction with solids// Applied Physics B: Lasers and Optics.— 2017.—V. 123.— 252.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»(заведующий лабораторией моделирования плазменных явлений в экстремальных астрофизических объектах, д.ф.-м.н. Стародубцев М.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- 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.

2. ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (с.н.с. научно-теоретического отделения №1, к.ф.-м.н. Говрас Е.А.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- на странице 4 говорится о «пикосекундных установках мегаджоульного уровня». Скорее всего, здесь содержится опечатка, так как установки такого класса имеют наносекундную длительность импульса.
- при описании экспериментальных работ по неустойчивости Релея-Тейлора не приведены данные по геометрии расположения источника просветки, объекта и детектора. Вопрос правильного выбора геометрии и увеличения критически важен, особенно когда речь идет об объектах столь малых размеров. По этой причине данную информацию следовало привести в тексте.
- из анализа рисунка 5 следует, что при непосредственном участии автора была получена многокадровая съемка гидродинамического течения с шагом между кадрами до 10 нс. Вообще говоря, это является достаточно впечатляющим результатом. Но при этом совсем не обсуждаются вопросы времени высвечивания использованного кристалла LiFi снятия изображений с такой высокой частотой.
- на стр. 13 сказано, что развитая методика диагностики пучков рентгеновских лазеров с использованием детекторов LiF была апробирована на Европейском Рентгеновском Лазере на Свободных Электронах, однако не упомянуты полученные результаты, а дана лишь ссылка на рисунок 3 (б,в). Стоило отразить в тексте автореферата основные выводы по данному вопросу.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (директор Института лазерных и плазменных технологий, профессор, д.ф.-м.н. Кузнецов А.П.) - отзыв положительный, с замечаниями:

- Текст написан доступным научным языком и легко воспринимается, однако, все же встречаются ошибки и опечатки.

Выбор официальных оппонентов обосновывается:

- д.х.н. Толочко Б.П. является специалистом в разработке аппаратуры и методов синхротронного излучения и их использования для исследований быстропротекающих физических и химических процессов:

1. Kudashkin D.V., Arakcheev A.S., Aulchenko V.M., Zhulanov V.V., Tolochko B.P., Shekhtman L.I., Detectors to Study Fast-Floating Processes on the SR Beam // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques volume.— 2021. — V.15. — P. 371–377.
2. Arakcheev A.S., Aulchenko V.M., Balash I.I., Burdakov A.V., Chernyakin A.D., Dokutovich V.A., Evdokov O.V., Kasatov A.A., Kazantsev S.R., Kosov A.V., Popov V.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Shoshin A.A., Tolochko B.P., Vasilyev A.A., Vyacheslavov L.N., Vaigel L.A., Zhulanov V.V., Dynamic observation of X-ray Laue diffraction on single-crystal tungsten during pulsed heat load // Journal of Synchrotron Radiation. — 2019. — V.26.— P. 1644-1649.
3. Loginova M., Sobachkin A., Sitnikov A., Yakovlev V., Filimonov V., Myasnikov A., Sharafutdinov M., Tolochko B., Gradoboev A., Synchrotron in situ studies of mechanical activation treatment and γ -radiation impact on structural-phase transitions and high-temperature synthesis parameters during the formation of γ -(TiAl) compound // Journal of Synchrotron Radiation.— 2019. — V.26.— P. 1671-1678.

- к.ф.-м.н.Попов Н.Л. является специалистом в области разработки и применения различных рентгенооптических систем, а также разработки методов расчёта и моделирования распространения когерентных и некогерентных волн с учётом особенностей рентгеновского диапазона:

1. Schelokov I.A., Popov N.L., Vinogradov A.V., Analytical Approach to the Theory of X-Ray Observation of Pores in Bulk Materials //Journal of Russian Laser Research.— 2021.—V. 42.—№.1.—P. 32-44.
2. Popov N.L., Artyukov I.A., Vinogradov A.V., Protopopov V.V., Wave packet in the phase problem in optics and ptychography // Physics-Uspekhi.— 2020.—V. 63. —№ 8.—P. 766-774.
3. Vinogradov A.V., D'yachkov N.V., Polunina A.V., Popov N.L., Shvedunov V.I., Laser-electron generators: the sources of narrow-band X-ray radiation for low-invasive coronary angiography // Quantum Electronics.— 2018. —V. 48. — №. 6.—P. 565-572.

- Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук в качестве ведущей организации обусловлен тем, что данная организация является одной из ведущих организаций по экспериментальным и теоретическим исследованиям гидродинамических явлений:

1. Volchkov Yu. M., Bogulskii I.O., Numerical Study of Wave Propagation in Nonlinear Dissipative Material // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics.— 2021. — V. 62.—P. 801–805.
2. Gilev S.D., Nonequilibrium Physical State of Copper under Shock Compression // Combustion, Explosion, and Shock Waves. — 2021. — V. 57.P. 378–384.

3. Даржаин А.Э., Бойко А.В., Кулик В.М., Чупахин А.П., Параметрическое исследование гидродинамической устойчивости пограничного слоя плоской пластины над двухслойными податливыми покрытиями // Теплофизика и аэромеханика.— 2020. —Т.27.— №. 2.—С. 189-200.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Предложена и апробирована методика регистрации фазово-контрастных рентгеновских изображений малоконтрастных гидродинамических явлений лазерной плазмы с субмикронным разрешением. Данная методика уже используется на рентгеновском лазере на свободных электронах (РСЛЭ) SACLA (Япония) для обеспечения экспериментов по физике высокой плотности энергии.

- Впервые с субмикронной точностью экспериментально визуализировано развитие неустойчивостей Рэля—Тейлора в лазерно-индуцированной наносекундной плазме вплоть до турбулентной фазы. Произведено сравнение с результатами гидродинамического моделирования для линейной фазы развития неустойчивости, в результате чего определены физические параметры лазерно-плазменной системы (ионизация, вязкость, число Рейнольдса, инерционная длина ионов и электронов и др.).

- Прямым методом впервые экспериментально зарегистрирована с микронной точностью динамика развития и исследована морфология лазерно-индуцированной парной волновой структуры «упругий предвестник – пластическая ударная волна» в алмазе. Получены основные параметры образовавшихся ударных волн от момента появления упругого предвестника до затухания пластической ударной волны (скорость, плотность, давление, ширина фронта, времена появления предвестника и размытия пластической ударной волны). Выполнена калибровка и валидация упругопластической модели, описывающий данный процесс в двумерной геометрии.

- Разработана и апробирована методика прямого прецизионного измерения каустики и распределения интенсивности в пучке рентгеновского лазера на свободных электронах, сфокусированного вплоть до нескольких сотен нанометров, с субмикронной точностью при применении флуоресцентного детектора LiF. Данная методика уже используется на станции HEDEвропейского РЛСЭ (Германия).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

-Измеренный с микронным разрешением пространственный спектр развития турбулентности в наносекундной лазерной плазме, а также найденная в нем особенность в виде локальной немонотонности могут использоваться для развития и валидации теорий турбулентности на стадии диссипации энергии. Полученные параметры плазменных потоков при развитии неустойчивости Рэля—Тейлора могут быть использованы и масштабированы для развития технологий инерциального синтеза в схемах непрямого обжатия капсулы мишени, а также для фундаментальных задач астрофизики.

- Данные по прямой регистрации развития ударных волн в алмазе открывают новые возможности для построения и проверки уравнений состояния вещества при сверхвысоких давлениях (в несколько миллионов атмосфер).

- Результаты работы по определению метрологических свойств детектора LiF могут быть использованы для верификации и развития теоретических описаний образования и эволюции центров окраски в данном кристалле. Определенное значение порога абляции детектора LiF под воздействием сверхинтенсивных импульсов РЛСЭ может быть использовано при планировании радиографических экспериментов по физике высокой плотности энергии.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

- Развитая методика фазово-контрастной когерентной рентгенографии сверхвысокого разрешения открывает новые возможности для валидации и развития теоретических моделей, описывающих малококонтрастные явления в лазерной плазме, где требуется субмикронная точность измерений. Методика уже успешно используется на РЛСЭ SACLA (Япония) для решения широкого круга задач по физике высокой плотности энергии. Также планируется в скором времени её применение на Европейском РЛСЭ (Германия).

- Развитая методика визуализации и измерения профиля интенсивности и накопленной дозы по фокальному пятну рентгеновского пучка может использоваться для определения параметров РЛСЭ. В частности, детектор LiF уже применялся для диагностики пучка на Европейском РЛСЭ в течение нескольких пользовательских экспериментов. Точное определение размера и формы фокального пятна на субмикронном уровне имеет важное значение для ряда исследований, требующих либо точечного источника подсветки (метод рентгенографии), либо экстремальной интенсивности рентгеновского нагрева вещества.

Результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для использования в ОИВТ РАН, ИГиЛ СО РАН, НИЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ – ВНИИТФ, Институте Лазерных и Плазменных технологий НИЯУ МИФИ, ИОФ РАН им. А.М. Прохорова, ИПФ РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева, ФГБУН НЦЧ РАН.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- идея диссертационной работы базируется на анализе научной литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп и лабораторий;

- экспериментальные данные, представленные в работе, были получены в ведущих научных центрах с использованием современных синхротронных

источников, обеспечивающих высокую когерентность и монохроматичность рентгеновского пучка;

-для контроля параметров, необходимых в экспериментах, использовалось современное измерительное оборудование, обеспечивающее высокое пространственное, временное и спектральное разрешение;

-достоверность результатов анализа обеспечивается взаимной согласованностью экспериментальных данных, получаемых при помощи различных диагностических методик, их воспроизводимостью, а также согласованностью с моделированием.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задач. Все результаты, представленные в диссертационном исследовании, получены автором лично или при его непосредственном участии. Автор принимал участие в подготовке и проведении экспериментов, а также анализе полученных данных на уникальных пользовательских установках в ведущих научных центрах: синхротронный источник DESY (Германия), синхротронный источник Soleil (Франция), Европейский РЛСЭ (Германия), РЛСЭ SACLA (Япония). Автором развита методика фазово-контрастной рентгеновской радиографии сверхвысокого разрешения, которая была применена для исследования гидродинамических явлений в наносекундной лазерной плазме. Автором выполнялось численное моделирование для интерпретации зарегистрированных в экспериментах фазово-контрастных изображений.

Апробация результатов исследования проводилась на 14-ти российских и международных конференциях и симпозиумах, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе в большинстве своем подготовлены лично автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Макаров Сергей Станиславович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании от 27.04.2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Макарову Сергею Станиславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 22 человек, из них очно: 5 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 3 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 6 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. председателя диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор

Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.

27.04.2022 г.

