

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.12.2022 г. № 35

О присуждении Морозову Игорю Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Столкновительные и релаксационные процессы в неидеальной электрон-ионной плазме» по специальности 1.3.9 – физика плазмы принята к защите 28.09.2022 г., (протокол заседания № 19) экспертной комиссией Диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 86/нк от 26.01.2022 г.

Соискатель Морозов Игорь Владимирович, 1978 года рождения, в 2001 году окончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет. В 2004 году досрочно окончил очную аспирантуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Столкновения и плазменные волны в неидеальной плазме» по специальности 01.04.08 – «физика плазмы» защитил

25 февраля 2004 г. в диссертационном совете Д 002.110.02, созданном на базе Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Работает в должности заведующего лабораторией № 1.6 – теплофизических баз данных (Термоцентр им. В.П. Глушко) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 1.6 – теплофизических баз данных (Термоцентр им. В.П. Глушко) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник сектора теоретической астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук Потехин Александр Юрьевич,

доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник сектора лазерно-плазменной физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук Брантов Андрей Владимирович,

доктор физико-математических наук, профессор Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» Бриллиантов Николай Васильевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» в своем положительном заключении, составленном главным научным сотрудником теоретического отдела, д.ф.-м.н. А.М. Игнатовым и и.о. заведующего теоретическим отделом, председателем Ученого совета теоретического

отдела, д.ф.-м.н. Н.Г. Гусейн-Заде (утвержденном 08.12.2022 г. директором чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. С.В. Гарновым) указала, что научная значимость работы определяется необходимостью тем, что неидеальная электрон-ионная плазма интенсивно исследуется во всем мире как экспериментально, так и теоретически, такое состояние вещества встречается в астрофизических объектах, а также в лабораторных условиях, например, при воздействии на твердотельные мишени коротких лазерных импульсов или потоков заряженных частиц, в прикатодной области электрических разрядов в вакууме и в плотном газе, на фронте мощных ударных волн в газовых и конденсированных средах, при электровзрыве проводников.

Отмечается, что в диссертационной работе предложен ряд новых методов для исследования неидеальной электрон-ионной плазмы, а также получены оригинальные результаты, среди которых можно отметить следующие: разработана методика расчета продольной и поперечной проводимости неидеальной плазмы с помощью классической молекулярной динамики при использовании специального типа граничных условий; систематически исследовано влияние периодических и отражающих граничных условий на расчет уравнения состояний неидеальной плазмы и эффективной частоты столкновений; получены новые данные по статической и динамической проводимости равновесной плазмы при различных температурах и плотностях, показана область применимости различных вариантов молекулярно-динамического (МД) моделирования; исследованы релаксационные процессы в неравновесной плазме вблизи поверхности металла в условиях формирования униполярной вакуумной дуги, в треке одиночного многозарядного иона, в кластерной наноплазме; предложена оригинальная методика исследования колебаний электронов в кластерной наноплазме, получены новые данные о сдвиге частоты поверхностных плазмонов в красную область спектра для кластеров малого размера, для которых предложена оригинальная теоретическая модель; предложено несколько модификаций метода молекулярной

динамики с волновыми пакетами (МДВП), позволяющих решить проблему неограниченного расплывания волнового пакета для свободного электрона, повышения точности описания связанных состояний электронов и ионов, учета обменно-корреляционных эффектов; получены новые результаты для уравнения состояния водородной плазмы, ударной адиабаты дейтерия, изоэнтропы дейтерия и гелия, показавшие применимость предложенного метода молекулярной динамики волновых пакетов с использованием функционала плотности (МДВП-ФП) для моделирования плазмы с концентрацией электронов до 10^{25} см^{-3} .

Соискатель имеет 63 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 27 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 27 работ. Список основных публикаций соискателя:

1. Reinholz H., Morozov I., Röpke G., Millat Th. Internal versus external conductivity of a dense plasma: Many-particle theory and simulations // *Phys. Rev. E*. 2004. V. 69. P. 066412.
2. Morozov I., Reinholz H., Röpke G., Wierling A., Zwicknagel G. Molecular dynamics simulations of optical conductivity of dense plasmas // *Phys. Rev. E*. 2005. V. 71. P. 066408.
3. Morozov I.V., Valuev I.A. Localization constraints in Gaussian wave packet molecular dynamics of nonideal plasmas // *J. Phys. A*. 2009. V. 42. P. 214044.
4. Raitza T., Reinholz H., Röpke G., Morozov I.V. Collision frequency of electrons in laser excited small clusters // *J. Phys. A*. 2009. V. 42. P. 214048.
5. Faenov A.Ya., Lankin A.V., Morozov I.V., Norman G.E., Pikuz S.A. Jr, Skobelev I.Yu. Nonequilibrium nonideal nanoplasma generated by a fast single ion in condensed matter // *Plasma Phys. Control. Fusion*. 2009. V. 51. P. 124025.
6. Морозов И.В. Моделирование кластерной наноплазмы методом молекулярной динамики // *Наноструктуры. Математическая физика и моделирование*. 2011. Т. 5, № 1/2. С. 39-56.
7. Raitza T., Röpke G., Reinholz H., Morozov I. Spatially resolved dynamic

- structure factor of finite systems from molecular dynamics simulations // Phys. Rev. E. 2011. V. 84. P. 036406.
8. Morozov I.V., Norman G.E., Insepov Z., Norem J. Sheath parameters for non-Debye plasmas: Simulations and arc damage // Phys. Rev. ST Accel. Beams. 2012. V. 15. P. 053501.
9. Morozov I.V., Valuev I.A. Improvement of Wave Packet Molecular Dynamics using Packet Splitting // Contrib. Plasma. Phys. 2012. V. 52. P. 140-144.
10. Lavrinenko Ya.S., Levashov P.R., Minakov D.V., Morozov I.V., Valuev I.A. Equilibrium properties of warm dense deuterium calculated by the wave packet molecular dynamics and density functional theory method // Phys. Rev. E. 2021. V. 104. P. 045304.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от следующих организаций:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (гл.н.с., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН В.Б. Минцев) – отзыв положительный, с замечаниями:

– На рисунке 1 приведена зависимость безразмерной электропроводности от параметра неидеальности. При этом экспериментальные данные взяты из теоретической работы [7] 1979 года. Хотя эксперименты по измерению электропроводности неидеальной плазмы проводились и гораздо позже, а их обсуждение приведено, например, в работах Mintsev V.B., Fortov V.E. Laser and Particle Beams, 33, № 1, p. 41-50 (2015) и Adams J.R., et al. Physics of Plasmas, 14, 062303 (2007).

– Мне кажется, что полнота работы несколько теряется отсутствием расчетов отражательной способности неидеальной плазмы, хотя разработанный автором подход позволяет это сделать.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии

наук (гл.н.с. лаборатории нелинейной динамики, д.ф.-м.н. Н.Б. Волков) – отзыв положительный, без замечаний.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. В.П. Крайнов) – отзыв положительный, с замечанием:

– В четвертой главе описаны исследования динамики электронов в кластерной наноплазме, образующейся в результате облучения наноразмерных кластеров фемтосекундным лазерным импульсом. На стр. 19 автореферата приведена формула (6) для внешней ионизации кластера фемтосекундным лазерным импульсом. Согласно этой формуле заряд кластерного иона пропорционален радиусу кластера. Однако согласно нашей работе: V.P. Krainov, M.B. Smirnov, «Cluster beams in the super-intense femtosecond laser pulse», *Physics Reports*, 370 (2002), pp. 237 - 331, зависимость заряда кластера от его радиуса при внешней ионизации лазерным импульсом носит более сложный характер.

4. Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (гл.н.с., д.ф.-м.н. Н.В. Змитренко) – отзыв положительный, без замечаний.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет (Профессор кафедры общей физики и волновых процессов, д.ф.-м.н. А.Б. Савельев-Трофимов) – отзыв положительный, без замечаний.

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (Начальник отдела моделирования физических процессов и прикладных технологий, д.ф.-м.н. Ю.Ю. Клосс) – отзыв положительный, без замечаний.

7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (гл.н.с. и.о. зав. лабораторией «Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов», д.ф.-м.н. Ю.А. Лебедев) – отзыв положительный, без замечаний.

8. Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, физико-технический факультет (Профессор кафедры физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики, д.ф.-м.н. Т.С. Рамазанов) – отзыв положительный, с замечаниями:

– Используемый в работе псевдопотенциал имеет кулоновскую асимптотику на больших расстояниях, вследствие чего для расчета энергии системы желательно применять процедуру Эвальда, а метод ближайшего образа требует дополнительного обоснования.

– Во второй главе в уравнение движения добавлена сила со стороны некоторого среднего поля для компенсации зарядов, хотя данную функцию успешно могут решать периодические граничные условия, которые также присутствуют в схеме моделирования.

– Интересные результаты по динамике наноплазмы (глава 4) получены в рамках классической механики, которая, по-видимому, не является достаточной для описания такой системы, в частности, для учета связанных электронов.

9. Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (гл.н.с., д.ф.-м.н. Б.А. Надыкто) – отзыв положительный, с замечанием:

– Известно, что на поведение ударных адиабат существенное влияние оказывает диссоциация и ионизация материалов. Классическим примером этого является ударная адиабата водорода. Из текста реферата не ясно, каким образом учитывается это влияние.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

– д.ф.-м.н., с.н.с. Потехин Александр Юрьевич является ведущим ученым в области термодинамических и кинетических свойств неидеальной плазмы и разогретого плотного вещества в применении к задачам исследования астрофизических объектов. С применением химической модели им получено уравнение состояния неидеальной плазмы, определен параметр неидеальности, при котором происходит кристаллизация ионов в однокомпонентной плазме, исследованы оптические свойства неидеальной плазмы в сильном магнитном поле. Основные публикации Потехина А.Ю.:

1. Kozhberov A.A., Potekhin A.Y. Electrostatic energy of Coulomb crystals with polarized electron background // Phys. Rev. E. – 2021. – V. 103, No. 4. – P. 043205.
2. Potekhin A.Y., Chabrier, G., Lai, D. et al. Nonideal strongly magnetized plasmas of neutron stars and their electromagnetic radiation // J. Phys. A. – 2006. – V. 39, No. 17. – P. 4453.
3. Chabrier G., Potekhin A.Y. Equation of state of fully ionized electron-ion plasmas // Phys. Rev. E. – 1998. – V. 58, No. 4. – P. 4941.

– д.ф.-м.н. Брантов Андрей Владимирович является признанным специалистом в области взаимодействия мощных лазерных импульсов с веществом, включая лазерную абляцию, генерацию потоков заряженных частиц с помощью лазерной плазмы, воздействие лазерных импульсов наноструктурированные и кластерные мишени, исследование колебаний и неустойчивостей в плазме. Основные публикации Брантова А.В.:

1. Ракитина М.А., Брантов А.В. О раскачке ионно-звуковой неустойчивости в плазме с двумя сортами ионов // Физика плазмы. – 2021. – Т. 47, № 10. – С. 921.
2. Lobok M.G., Brantov A.V., Gozhev D.A., Bychenkov V.Y. Optimization of electron acceleration by short laser pulses from low-density targets // Plasma Physics and Controlled Fusion. – 2018. – V. 60, No. 8. – P. 084010.

3. Новиков В.Н., Брантов А.В., Быченков В.Ю., Ковалев В.Ф. Кулоновский взрыв нагретого кластера // Физика плазмы. – 2008. – Т. 34. – №. 11. – С. 997-1000.

– д.ф.-м.н., профессор Бриллиантов Николай Васильевич специализируется в области теоретической физики и компьютерного моделирования систем заряженных частиц (неидеальной плазмы, ионных жидкостей, заряженных растворов коллоидных частиц и др.). Им были исследованы уравнения состояния, фазовые переходы и другие явления в указанных средах, с том числе с применением методов Монте-Карло и молекулярной динамики. Основные публикации Бриллиантова Н.В.:

1. Feng G., Chen M., Bi S., Goodwin Z.A., Postnikov E.B., Brilliantov N. et al. Free and bound states of ions in ionic liquids, conductivity, and underscreening paradox // Physical Review X. – 2019. – V. 9, No. 2. – P. 021024.

2. Budkov Y.A., Frolov A.I., Kiselev M.G., Brilliantov N.V. Surface-induced liquid-gas transition in salt-free solutions of model charged colloids // The Journal of Chemical Physics. – 2013. – V. 139, No. 19. – P. 194901.

3. Brilliantov N.V. Accurate «First Principle» Equation of State for the One Component Plasma // Contributions to Plasma Physics. – 1998. – V. 38, No. 4. – P. 489.

– Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН) является профильной организацией, специализирующейся на экспериментальных и теоретических исследованиях лазерной плазмы, плазмы разрядов высокого давления, униполярных вакуумных дуг, прикатодных областей и других видов плазменных сред. В теоретической отделе ИОФ РАН ведутся работы по исследованию неидеальной пылевой, электронно-позитронной и электронно-ионной плазмы, в том числе с применением молекулярно-динамического моделирования. Основные публикации:

1. Barenholtz S.A., Frolova V.P., Nikolaev A.G. Cathode and plasma phenomena

in vacuum-arc sources of hydrogen isotope ions. II. Ionization processes in the arc plasma // Plasma Sources Science and Technology. – 2020. – V. 29, No. 3. – P. 035004.

2. Kodanova S.K., Issanova M.K., Ramazanov T.S., Khikmetov A.K., Maiorov S.A. Simulation of positronium plasma by the molecular dynamics method // Contributions to Plasma Physics. – 2019. – V. 59, No. 6. – P. e201800178.

3. Tsytovich V.N., Gusein-Zade N.G., Ignatov A.M. Nonlinear screening of dust grains and structurization of dusty plasma: II. formation and stability of dust structures // Plasma Physics Reports. – 2017. – V. 43, No. 10. – P. 981.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– рассчитана статическая и динамическая проводимость неидеальной плазмы со значением параметра неидеальности 0.1 – 5;

– определена высокочастотная асимптотика эффективной частоты столкновений для модельного псевдопотенциала Кельбга, а также зависимость частоты столкновений от температуры, являющейся параметром данного потенциала;

– определены характерная ширина двойного слоя в неидеальной плазме и потенциал поверхности металла в условиях формирования униполярной вакуумной дуги в зависимости от температуры и плотности плазмы, для указанных зависимостей предложены полуэмпирические формулы;

– для неидеальной плазмы, образованной воздействием одиночного многозарядного иона на конденсированную мишень, показано, что к моменту высвечивания наблюдаемых рентгеновских спектральных линий 10 – 100 фс успевает установиться максвелловское распределение по скоростям для основной части электронов плазмы, термализация «горячей» части электронов происходит на временах порядка десятков фемтосекунд, концентрация электронов в области ионного трека составляет не менее 85 % от начальной, а плавление ионной решетки и рекомбинация электронов

происходят на временах, превышающих 100 фс, что позволило построить корректную модель излучения возбужденных ионов мишени, хорошо согласующуюся с экспериментальными данными;

– получены данные о величине установившегося заряда наноразмерного кластера, состоящего из $55\text{-}10^5$ атомов и ионизованного фемтосекундным лазерным импульсом, в зависимости от размера кластера, концентрации ионов и температуры электронов; показано, что в рассмотренной области параметров заряд кластера можно считать пропорциональным произведению конечной температуры электронов на радиус кластера с коэффициентом пропорциональности $0.55 \pm 0.06 (a_0 \text{ эВ})^{-1}$;

– разработана теоретическая модель коллективных колебаний электронов (поверхностных плазмонов), описывающая полученную в молекулярно-динамическом моделировании зависимость частоты этих колебаний от размера кластера, определены декременты затухания для колебаний Ми и ленгмюровских плазменных колебаний в зависимости от параметра неидеальности;

– на примере расчета ударной адиабаты дейтерия, а также изоэнтропы ударно-сжатых дейтерия и гелия показано, что модифицированный метод МДВП-ФП обеспечивает точность расчета термодинамических свойств плазмы, сравнимую с методами квантовых Монте-Карло и молекулярной динамики, сохраняя при этом способность описывать неравновесную динамику электронов, в частности, подтверждено значение максимальной сжимаемости плазмы дейтерия на ударной адиабате 4.4 ± 0.1 .

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– обоснован переход к длинноволновому пределу при расчете динамической проводимости неидеальной электрон-ионной плазмы методом классической МД в случае применения периодических граничных условий;

– проведен анализ спектра автокоррелятора тока для системы с отражающими граничными условиями и показано, что эти результаты могут

использоваться для расчета продольной проводимости при использовании внутренней области расчетной ячейки;

– разработан метод исследования колебаний электронов в кластерной наноплазме в рамках классической МД, использующий анализ пространственно-разрешенной автокорреляционной функции тока;

– предложен способ ограничения ширины волновых пакетов в методе МДВП, основанный на вычислении энергии взаимодействия электрона с ближайшим ионом;

– показана возможность модификации метода МДВП с использованием нескольких волновых пакетов на электрон для повышения точности описания связанных состояний электронов и ионов;

– показана возможность модификация метода МДВП для учета обменно-корреляционных эффектов взаимодействия электронов на основе формализма электронной плотности, где суммарная электронная плотность определяется по параметрам волновых пакетов с учетом спина.

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

– исследованная в работе неидеальная плазма встречается в астрофизических объектах (внутренняя часть планет-гигантов, оболочка белых и коричневых карликов и др.), при воздействии на твердотельные мишени коротких лазерных импульсов или потоков заряженных частиц, в прикатодной области электрических разрядов в вакууме и в плотном газе, на фронте мощных ударных волн в газовых средах и конденсированных средах, при разогреве вещества, предварительно сжатого в алмазных наковальнях, при испарении тонких проволок под воздействием мощного импульса тока;

– плазма с эффектами неидеальности, полученная в результате воздействия коротких лазерных импульсов на конденсированные мишени, и рассмотренная в диссертационной работе может использоваться как источник рентгеновских и гамма импульсов, терагерцового излучения, потоков электронов, ионов и нейтронов с высокими энергиями;

– модификация поверхности фемтосекундными лазерными импульсами является эффективным инструментом создания нанообъектов и поверхностных наноструктур, при этом роль неидеальности плазмы на начальном этапе взаимодействия лазера с поверхностью может быть достаточно важна;

– неидеальная плазма вблизи поверхности металла существенным образом влияет на характер формирования разрядов и повреждения поверхностей, а исследования плазмы, образующейся в вакуумных униполярных дугах, необходимы для защиты микроволновых устройств ввода энергии в ускорительной технике;

– полученные результаты атомистического моделирования могут быть использованы в качестве входных параметров для практически важных задач моделирования плазменных сред на больших пространственных масштабах методами вычислительной гидродинамики, частиц в ячейке и др.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, проводящих экспериментальные и теоретические исследования в области неидеальной плазмы, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, в Федеральном исследовательском центре проблем химической физики и медицинской химии РАН, в Московском физико-техническом институте (государственном университете), Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, в Сколковском институте науки и технологий, в Федеральном исследовательском центре «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН», в Институте электрофизики УрО РАН, в «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, в «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», в «Российский Федеральный Ядерный

Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина», в ГНЦ РФ «Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований».

Оценка достоверности результатов показала, что использованные в диссертационной работе теоретические подходы и методы компьютерного моделирования неидеальной плазмы являются внутренне непротиворечивыми и базируются на принятых научным сообществом теоретических моделях и принципах компьютерного моделирования систем многих частиц, а достоверность полученных результатов подтверждается согласием результатов с имеющимся набором экспериментальных данных и результатов компьютерного моделирования, полученных другими авторами с применением различных подходов.

Личный вклад соискателя является определяющим и состоит в постановке задач, разработке теоретических моделей и представленных в работе новых методов компьютерного моделирования, формулировке условий проведения численного эксперимента, разработке алгоритмов и программных кодов, проведении расчетов, интерпретации результатов, подготовки публикаций и докладов по теме работы.

Апробация результатов исследования проводилась на 34-х российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при определяющем участии соискателя.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Морозов Игорь Владимирович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился со сделанными замечаниями.

На заседании от 28.12.2022 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Морозову Игорю Владимировичу ученую степень доктора физико-математических наук по

специальности 1.3.9 – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 23 человек, из них очно: 6 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 4 доктора наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 3 доктора наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 7 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 – 1.

Председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

д.ф.-м.н., профессор, академик РАН



Петров О.Ф.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.

28.12.2022 г.