

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 27.05.2026г. № 4

О присуждении Кондратьеву Арсению Михайловичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теплофизические свойства флюидов металлов и углерода в широкой области состояний на плоскости давление - удельный объем» по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 18.03.2026г., (протокол заседания № 2) 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, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Кондратьев Арсений Михайлович 1989 года рождения, в 2013 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Работает в должности научного сотрудника лаборатории №16 – широкодиапазонных уравнений состояния Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2017 году окончил очную аспирантуру Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории №16 – широкодиапазонных уравнений состояния Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории №16 – широкодиапазонных уравнений состояния Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Рахель Анатолий Дмитриевич.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, высококвалифицированный главный научный сотрудник Отдела физики высоких плотностей энергии Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук Пикуз Сергей Александрович;

- кандидат физико-математических наук, заведующий Лабораторией высоких динамических давлений Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук Николаев Дмитрий Николаевич

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук в своем положительном заключении, составленном членом-корреспондентом Российской академии наук, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Лаборатории фазовых переходов в сильно коррелированных и неупорядоченных системах Рыжовым В.Н. (утвержденном 06.05.2026 г. директором академиком Бражкиным В.В.) указала, что научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов. Данные, полученные для свинца и свинцово-висмутового эвтектического сплава позволили построить

термодинамически согласованные уравнения состояния этих веществ в широких интервалах давления и относительного объема, а также оценить критические плотности перехода в неметаллическое состояние. Эти данные могут стать основой для построения теории металлов в области сверхкритических состояний, построения теории неидеальной плазмы и выяснения механизма перехода металл-неметалл. Данные, полученные для графита и жидкого углерода, могут быть использованы для проверки моделей и потенциалов, используемых в компьютерном моделировании этих веществ

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы в научных центрах и организациях, в которых проводятся работы по изучению теплофизических свойств веществ, а также работы по атомной тематике и связанными с ней проблемами, например в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Институте теплофизики УрО РАН, Институте физики прочности и материаловедения им. В.Е. Панина СО РАН, Физико-энергетическом институте имени А.И. Лейпунского, Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», ВНИИТФ, ВНИИЭФ, ОКБ «Гидропресс», НИКИЭТ имени Н.А. Доллежала, АО «НИИГрафит».

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ:

1. Апфельбаум, Е. М. Изучение плотной плазмы свинца / Е. М. Апфельбаум, А. М. Кондратьев, А. Д. Рахель // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2024. — Т. 165, № 6. — С. 876–888;
2. Kondratyev, A. M. Measurements of shock-propagation velocities in liquid lead across the metal-nonmetal transition range / A. M. Kondratyev, A. D. Rakhel // Physical Review B. — 2023. — Vol. 107. — Art. 195134;
3. Kondratyev A. M. Metal–non-metal transition in lead–bismuth eutectic / Kondratyev A. M., Korobenko V. N., Rakhel A. D. // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2022. — Vol. 34. — Art. 195601;

4. Кондратьев, А. М. Термодинамические функции и удельное сопротивление флюида свинца в области перехода металл — неметалл / А. М. Кондратьев, В. Н. Коробенко, А. Д. Рахель // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2018. — Т. 154. — С. 1168–1182;
5. Kondratyev, A. M. Direct measurements of thermal expansion and the volume change upon melting for graphite / A. M. Kondratyev, V. N. Korobenko, A. D. Rakhel // Carbon. — 2016. — Vol. 100. — P. 537–539;
6. Kondratyev, A. M. Experimental study of liquid carbon / A. M. Kondratyev, V. N. Korobenko, A. D. Rakhel // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2016. — Vol. 28. — Art. 265501.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (д.ф.-м.н., профессор Станкус С.В.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- Следовало бы более подробно описать методику измерения давления в проведенных экспериментах. Фразы «Давление в образце $P(t)$ определяется по измеренной зависимости $X(t)$ и уравнению состояния оконного материала» явно недостаточно для ее понимания.

- В целом, в автореферате практически все результаты представлены в виде графиков. Отсутствуют таблицы и аппроксимационные уравнения, что затрудняет практическое использование полученных данных. Например, в Заключении указано, что в работе были определены скачки исследованных свойств при плавлении углерода в зависимости от давления. Однако, в автореферате такие данные отсутствуют, хотя эти важные физические величины позволяют судить об изменении структуры углерода при переходе к жидкому состоянию.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук (д.ф.-м.н. Фомин Ю.Д.) – отзыв положительный, без замечаний.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (к.ф.-м.н., доцент Благодрагов Л.А.)

– отзыв положительный, с замечаниями:

- В работе, посвящённой изучению высокотемпературных свойств материалов, температура как таковая в работе не участвует. В порядке дискуссии можно сделать предположение о возможности оценки температуры, используя уравнение состояния, на которое автор неоднократно ссылается. При этом результаты, связанные с изменением знака температурного коэффициента удельного сопротивления, были бы более убедительными.

- На рис. 6 показано семейство кривых, описывающих зависимость давления от приведённого объёма. При этом не указано, по какому параметру различаются кривые семейства. Не пояснён немонотонный характер зависимости и наличие максимума. Автору следовало бы это прокомментировать.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н. Пикуз Сергей Александрович является ведущим ученым в области физики высоких плотностей энергии и крупным специалистом по методике взрывающихся проволок. В частности, им была предложена широко известная схема X-пинча. Так как использованная в диссертации методика по своему принципу близка к методике взрывающихся проволок, д.ф.-м.н. Пикуз С.А. может дать квалифицированную и объективную оценку представленным экспериментальным результатам.

1. Пикуз С.А., Тиликин И.Н., Романова В.М., Мингалеев А.Р., Шелковенко Т.А. Развитие неустойчивостей в тонких алюминиевых фольгах, взрываемых на генераторе с током до 10 кА // Физика плазмы, Т. 50, № 7, с. 744–752, 2024;

2. Романова В.М., Тиликин И.Н., Тер-Оганесьян А.Е., Мингалеев А.Р., Шелковенко Т.А., Пикуз С.А. Электрический взрыв тонких проводников (смена парадигмы) // Физика плазмы, Т. 50, № 9, с. 1062–1075, 2024;

3. Shelkovenko T.A., Tilikin I.N., Pikuz S.A., Mingaleev A.R., Romanova V.M., Atoyán L., Hammer D.A. Explosion dynamics of thin flat foils at high current density // *Matter and radiation at extremes*, Vol. 7, p. 055901, 2022.

- к.ф.-м.н. Николаев Дмитрий Николаевич является признанным специалистом в области физики экстремальных состояний вещества и ударно-волновых методов изучения свойств веществ. Это позволяет ему квалифицированно оценить как полученные экспериментальные результаты, так и методику генерации и измерения скорости слабых ударных волн, разработанную в рамках диссертационной работы.

1. Кулиш М.И., Николаев Щ.Н., Дудин С.В., Минцев В.Б. Пирометрическая методика во взрывном эксперименте // *Приборы и техника эксперимента*, № 6, с. 64–75, 2025;

2. Mochalova V.M., Utkin A.V., Nikolaev D.N., Savinykh A.S., Garkushin G.V., Kapasharov A.T., Malkov G.V. Shock response of two epoxy resins at up to 330 GPa pressure // *Journal of Applied Physics*, V. 136, № 4, p. 045902-1–045902-10, 2024;

3. Mochalova V.M., Utkin A.V., Nikolaev D.N. Shock response of unidirectional carbon polymer composite up to pressures of 200 GPa // *Journal of Applied Physics*, V. 133, № 24, p. 245902-1–245902-9, 2023.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук является профильной организацией, специализирующейся на проведении экспериментальных и теоретических исследований фундаментальных свойств вещества: структуры, электронных свойств, устойчивости и фазовых превращений при высоких давлениях. Данная организация выбрана потому, что в ней на протяжении десятилетий ведутся работы по исследованию графита и жидкого углерода, что также является одной из тем диссертационной работы. Организация обладает высокой научной репутацией и авторитетом в области изучения фундаментальных и прикладных аспектов физики вещества, находящегося под высоким давлением, что гарантирует независимую и непредвзятую оценку

диссертационной работы. Специалисты института обладают подтвержденным опытом проведения экспертных оценок и участия в научных комиссиях, что обеспечивает высокие стандарты экспертизы и объективность оценки.

1. Циок О.Б., Бражкин В.В., Бычков Е., Тверьянович А.С. Экспериментальные исследования перехода жидкость - стекло для AS_2S_3 при высоких гидростатических давлениях до 5 ГПа // ЖЭТФ, Т. 168, № 3, с. 390–400, 2025;
2. Fomin Yu.D., Tsiok E.N., Ryzhov V.N. Melting and sublimation of graphene and silicene // Physics of complex systems Vol. 5, No. 4, p. 172–176, 2024;
3. Kondrin M.V., Brazhkin V.V., Lebed Y.B. Extended defects in graphene and their contribution to the excess specific heat at high temperatures // Physical review letters, Vol. 126, No. 16, p. 165501, 2021.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– получены экспериментальные зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления свинца от давления и относительного объема для интервала давлений 0,4–4,5 ГПа и интервала значений относительного объема $V/V_0 = 1–18$ (V_0 – удельный объем свинца при нормальных условиях);

– получены экспериментальные зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления свинцово-висмутового эвтектического сплава в жидком состоянии от давления и относительного объема в интервале давлений 0,4–5 ГПа и значений относительного объема $V/V_0 = 1–8$;

– для свинца и свинцово-висмутовой эвтектики обнаружен эффект, заключающийся в смене знака изохорического температурного коэффициента сопротивления с положительного на отрицательный при увеличении относительного объема, причем это происходит при определенном значении относительного объема. Для свинца это значение равно 2,7, а для свинцово-висмутовой эвтектики 2,4;

– разработана методика измерения скорости слабых ударных волн в жидких металлах пониженной плотности в экспериментах со взрывающимися фольгами;

– полученные экспериментальные зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления графита и жидкого углерода от давления и относительного объема вблизи линии плавления для диапазона давлений 0,5–1,5 ГПа. получены величины скачков плотности, удельного электросопротивления и энтальпии при плавлении графита для указанного диапазона давлений.

Научная новизна исследования заключается в том, что полученные в диссертации экспериментальные данные позволили обнаружить качественный эффект, заключающийся в смене знака изохорического температурного коэффициента электросопротивления свинца и свинцово-висмутового эвтектического сплава с положительного на отрицательный при понижении плотности. Установлено, что это происходит при определенном значении относительного объема. Для свинца это значение равно 2,7, а для свинцово-висмутового эвтектического сплава 2,4. Ранее в литературе отсутствовали данные о наличии качественного эффекта такого рода для свинца и свинцово-висмутового эвтектического сплава. Кроме того, в литературе отсутствовали экспериментальные данные по теплофизическим свойствам этих веществ в широкой области состояний, исследованной в диссертации. Впервые проведены измерения скорости распространения слабых ударных волн в жидком свинце в широком диапазоне давления и плотности. Экспериментальные данные, полученные для графита и жидкого углерода позволили определить знак изохорического температурного коэффициента сопротивления для этих веществ. В исследованной в диссертации области состояний для графита этот коэффициент оказался положительным, а для жидкого углерода отрицательным.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– экспериментальные данные, полученные в настоящей работе для свинца и свинцово-висмутового эвтектического сплава могут быть

использованы для верификации результатов, полученных путем компьютерного моделирования, для проверки и корректировки таких моделей;

– также эти данные могут стать основой для теоретического описания свойств металлов в сверхкритической области, построения теории неидеальной плазмы и выяснения механизма перехода металл-неметалл.

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

– свинец и свинцово-висмутовый эвтектический сплав широко используются в различных технологических процессах. Свинец, например, используется в качестве теплоносителя в перспективном реакторе на быстрых нейтронах БРЕСТ, а свинцово-висмутовая эвтектика в реакторах типа СВБР. Полученные данные могут быть использованы для моделирования аварийных ситуаций, когда локально могут достигаться параметры состояния теплоносителя значительно превышающие нормальные величины;

– графит широко используется в науке и технике. Для атомной отрасли полученные в диссертации данные могут быть актуальны, поскольку графит используется в качестве конструкционного материала. Также данные могут найти применение в аэрокосмической сфере, где углерод используется, например, для производства сопел. Кроме того, полученные результаты могут способствовать оптимизации ряда технологических процессов, включая синтез алмазов из графита, производство аморфного углерода и лазерную обработку графитовых материалов.

Полученные результаты могут быть полезны для научных институтов и организаций, которые изучают теплофизические свойства веществ или работают в сфере атомной энергетики и смежных областях. В список таких организаций входят: РФЯЦ-ВНИИТФ, РФЯЦ-ВНИИЭФ, Физико-энергетический институт им. Лейпунского, НИИграфит, ОКБ «Гидропресс», НИКИЭТ имени Н.А. Доллежала, Институт теплофизики СО РАН и УрО РАН, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Московский

инженерно-физический институт.

Оценка достоверности результатов показала, что в диссертации была проведена необходимая для надежного определения погрешностей работа. В частности было проведено сравнение полученных результатов с надежными литературными данными. Для оценки погрешности полученных результатов в области, где литературные данные отсутствуют, специально была разработана оригинальная экспериментальная методика по измерению скорости слабых ударных волн в исследуемом материале, которая позволила достоверно оценить систематическую погрешность измерений в этой области состояний. Также в рамках диссертационной работы был создан двухканальный интерферометр, с помощью которого были получены экспериментальные свидетельства одномерности теплового расширения образцов, что является важной особенностью используемой экспериментальной методики.

Личный вклад соискателя состоит в развитии экспериментальной методики взрывающихся фольг, постановке и проведении экспериментов. Для реализации методики соискателем была создана электроимпульсная экспериментальная установка. Подготовка и проведение экспериментов на этой установке также осуществлялись соискателем. Автор принимал непосредственное участие в анализе и интерпретации полученных результатов.

Апробация результатов исследования проводилась на 12 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Кондратьев Арсений Михайлович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с сделанными замечаниями и привел собственную аргументацию на остальные.

На заседании от 27.05.2026г. диссертационный совет постановил за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей

отрасли знаний, либо новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны) присудить Кондратьеву Арсению Михайловичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет 24.1.193.01 (Д 002.110.02) в количестве 28 человек, из них очно: 11 докторов наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 8 докторов наук по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 1 доктор наук по специальности 1.3.9 – физика плазмы и 5 доктора 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 28, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

Академик РАН

Петров О.Ф.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.193.01 (Д 002.110.02)

к.ф.-м.н.

Тимофеев А.В.

27.05.2026 г.