

Сведения
о ведущей организации

Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук
Сокращенное наименование	ИФВД РАН
Организационно-правовая форма	ФГБУН
Тип организации	Научная организация
Ведомственная принадлежность	Минобрнауки России
Почтовый адрес	108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 14
Адрес сайта	www.hppi.troitsk.ru
Адрес электронной почты	hpp@hppi.troitsk.ru
Телефон	+7(495)851-05-82

СПИСОК

опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях
ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
1	Плавление силицена и тонких кремниевых пленок	Научная статья	Фомин Ю.Д., Циок Е.Н., Рыжов В.Н.	Письма в журнал физика элементарных частиц и атомного ядра, Т. 22, № 3 (260), с. 402–407, 2025	Да
2.	Экспериментальные исследования перехода жидкость - стекло для AS_2S_3 при высоких гидростатических давлениях до 5 ГПа	Научная статья	Циок О.Б., Бражкин В.В., Бычков Е., Тверьянович А.С.	ЖЭТФ, Т. 168, № 3, с. 390–400, 2025	Да
3	Локальная структура и затвердевание расплавов Al-Ni-Co-P3M при высоком давлении (до 10 ГПа)	Научная статья	Меньшикова С.Г., Щелкачев Н.М.	Химическая физика и мезоскопия, Т. 26, № 2, с. 226–237, 2024	Да
4	К вопросу о термодинамических флуктуациях в компьютерных экспериментах	Научная статья	Кондрин М.В., Лебедь Ю.Б., Фомин Ю.Д., Бражкин В.В.	УФН. – 2025. – Том 195, № 9. – С. 1001-1007	Web of science

5	Pressure effects on electronic structure and electrical conductivity of tizrhfnb high-entropy alloy	Научная статья	Uporov S.A., Ryltsev R.E., Estemirova S.K., Sterkhov E.V., Balyakin I.A., Chtchelkatchev N M	Intermetallics Vol. 140, p. 107394, 2024	Web of science
6	Shape anisotropy controls 2D melting pathway	Научная статья	Fomin Yu. D., Mikheyenkov A. V., Tsiok E. N., Ryzhov V. N.	Journal of Chemical Physics. 2025. Vol. 163. P. 224503	Web of science
7	The role of attraction in the phase diagrams and melting scenarios of generalized 2D Lennard-Jones systems	Научная статья	Tsiok E.N., Fomin Yu.D., Gaiduk E.A., Tareyeva E.E., Ryzhov V.N., Libet P.A., Dmitryuk N.A., Kryuchkov N.P., Yurchenko S.O.	Journal of Chemical Physics, V. 256, P. 114703, 2022	Web of science
8	Почему статистическая механика "работает" в конденсированных средах?	Научная статья	Бражкин В.В.	УФН, Т. 191, С. 1107–1116, 2021	Web of Science
9	Экспериментальные исследования перехода жидкость-стекло для As ₂ S ₃ при высоких гидростатических давлениях до 5 ГПа	Научная статья	Циок О.Б., Бражкин В.В., Бычков Е., Тверьянович А.С.	ЖЭТФ. – 2025. – Том 168, вып. 3 (9). – Стр. 390–400	Web of science
10	The Widom line in two- and three-dimensional fluids: Similarities and differences	Научная статья	Fomin Yu. D., Tsiok E. N., Ryzhov V. N.	Journal of Chemical Physics. 2025. Vol. 163. P. 174501	Web of Science
11	Спектры коллективных возбуждений частиц в нормальной и сверхтекучей	Научная статья	Бражкин В.В.	УФН. – 2025. – Т. 195. – С. 519–542	Web of Science

Ученый секретарь ИФВ
к.ф.-м.н.
6 мая 2026 г.



Владимир Евгеньевич Анкудинов



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Кондратьева Арсения Михайловича

«Теплофизические свойства флюидов металлов и углерода в широкой области состояний на плоскости давление - удельный объем» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация посвящена экспериментальному исследованию теплофизических свойств флюидов свинца, свинцово-висмутového эвтектического сплава (СВЭС), а также графита и жидкого углерода. Исследование выполнено с помощью методики взрывающихся фольг. Для реализации этой методики автором диссертации была создана экспериментальная установка, на которой было проведено значительное количество экспериментов (в общей сложности более ста) с указанными материалами. Для оценки систематической погрешности в экспериментах со взрывающимися фольгами автором была разработана методика измерения скорости слабых ударных волн в таких экспериментах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. Полный текст диссертации изложен на 122 страницах, список цитируемой литературы содержит 97 наименований.

Во введении дано краткое описание направления исследований, формулируются цели и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту. Обосновывается актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость. Также представлен список основных публикаций автора по теме диссертации, и отмечен его личный вклад.

В первой главе дается обзор экспериментальных методик, применяемых для изучения свойств металлов и графита при высоких давлениях и температурах. Также в этой главе проведен обзор основных работ, в которых были получены экспериментальные данные по свойствам свинца, свинцово-висмутовой эвтектики, графита и жидкого углерода при высоких давлениях и температурах.

Во второй главе подробно рассмотрены основы методики взрывающихся фольг, которая используется в диссертации, и дается краткое описание этапов развития этой методики. Подробно рассматривается конструкция и принцип работы экспериментальной установки «У-2», созданной автором диссертации для решения поставленных задач. Приводится описание процесса изготовления образцов. Рассмотрена конструкция

двухканального лазерного интерферометра, использование которого позволило убедиться в однородности расширения образцов в экспериментах, результаты которых представлены в диссертации. Приводится расчет погрешностей основных измеряемых величин.

В третьей главе представлены результаты исследования свойств флюида свинца в широкой области состояний. Приведены экспериментальные зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления 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). Приводится зависимость коэффициента Грюнайзена от относительного объема, полученная с помощью указанных экспериментальных данных.

Также в этой главе представлена методика измерения скорости слабых ударных волн в металлах пониженной плотности в экспериментах со взрывающимися фольгами, и результаты, полученные с помощью этой методики для свинца. Приводятся зависимости скорости звука в свинце от относительной плотности на четырех изобарах, полученные с помощью уравнения состояния свинца, построенного по полученным в диссертации экспериментальным данным.

В четвертой главе представлены результаты исследования свойств СВЭС в широкой области состояний. Приведены экспериментальные зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления от давления и относительного объема для интервала давлений 0,4–5 ГПа и интервала значений относительного объема $V/V_0 = 1-8$. Приводится зависимость коэффициента Грюнайзена от относительного объема, полученная с помощью указанных экспериментальных данных. Также показаны зависимости скорости звука в СВЭС от относительной плотности на четырех изобарах, полученные с помощью уравнения состояния, построенного по полученным в диссертации данным. Дается экспериментальное обоснование утверждения о квазистатичности процессов нагрева, реализуемых в экспериментах со взрывающимися фольгами.

В пятой главе представлены результаты исследования теплофизических свойств графита и жидкого углерода в широкой области состояний. Приводится обсуждение полученных результатов и интерферометрической методики измерения давления в экспериментах с графитом. Показаны зависимости удельной энтальпии и удельного электросопротивления графита и жидкого углерода от давления и относительного объема при давлениях 0,4–3 ГПа для интервала значений относительного объема $V/V_0 = 1-2,5$. Проведенные измерения позволили определить величины плотности, удельной энтальпии и удельного электросопротивления графита и жидкого углерода на линии плавления в диапазоне давлений 0,5–1,5 ГПа.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях даны таблицы с экспериментальными данными для свинца и СВЭС.

Актуальность работы. Как следует из обзора, представленного в диссертации, в литературе отсутствуют экспериментальные данные по термодинамическим и теплофизическим свойствам свинца для давлений выше 0,4 ГПа и для значений относительного объема больше, чем 3,6. Для СВЭС экспериментальные данные имеются только при давлениях около 1 атм, а величина относительного объема не превышает значение 1,25. Отсюда следует актуальность темы диссертации. Данные по свойствам свинца и СВЭС в ранее не исследованной экспериментально области состояний (по давлению в интервале приблизительно 0,5–5 ГПа, по относительному объему

приблизительно 1–10) могут быть использованы, например, для проверки результатов компьютерного моделирования этих веществ. Кроме того, такие данные могут быть востребованы сами по себе, так как оба указанных вещества, и особенно свинец, широко используются в науке и технике.

В отличие от свинца и СВЭС в литературе имеется значительное количество работ, посвященных исследованию графита и жидкого углерода. Однако вследствие экспериментальных сложностей, возникающих при исследовании этих веществ, данные по свойствам графита и жидкого углерода носят обрывочный характер и нередко противоречат друг другу. Поэтому получение надежных экспериментальных данных в широком диапазоне давления и плотности является актуальной задачей.

Научная новизна. Из полученных в диссертации экспериментальных данных следует, что изохорический температурный коэффициент электросопротивления свинца и СВЭС меняет знак с положительного на отрицательный при понижении плотности, причем это происходит при определенном значении относительного объема. Для свинца это значение равно 2,7, а для СВЭС 2,4. Ранее в литературе отсутствовали данные о наличии качественного эффекта такого рода для свинца и СВЭС. 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.

Научная значимость работы определяется в первую очередь новизной полученных результатов. Данные, полученные для свинца и СВЭС 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 сверхкритической области 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.

Практическая значимость работы. Свинец и СВЭС 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. Несмотря на то, что исследованная в диссертации область состояний достаточно далека от той, в которой находятся теплоносители при нормальной работе реактора, полученные данные могут быть использованы для моделирования аварийных ситуаций, когда локально могут достигаться параметры состояния теплоносителя значительно превышающие нормальные величины.

Графит также 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.

Результаты работы 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».

Апробация работы. Материалы диссертации довольно полно представлены на ведущих российских и международных научных конференциях. Соответствующий список, представленный в диссертации, содержит 12 наименований.

Публикации. По теме работы автор имеет 6 публикаций в ведущих научных журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базе данных Web of science.

Личный вклад автора. Как следует из текста диссертации, ее автор лично создал экспериментальную установку, на которой были получены представленные результаты. Эксперименты на этой установке проводились лично автором. Также автор принимал непосредственное участие в обсуждении, интерпретации и публикации полученных результатов.

Замечания.

1. Для экспериментов со свинцом и СВЭС не даются оценки температур, достигаемых в экспериментах. Так, из приведенных данных для свинца можно видеть, что в значительной части экспериментов достигаются величины давления и относительного объема, которые в несколько раз превышают соответствующие величины в критической точке. Грубая оценка показывает, что в таком случае температура в этих экспериментах может в десятки раз превышать температуру в критической точке, и может достигать величин порядка 100 кК (температура критической точки свинца приблизительно равна 6000 К). Если такие высокие температуры действительно достигаются в экспериментах, то встает вопрос о том насколько сильным будет их влияние на полученные результаты, так как в таком случае, например, уже нельзя пренебрегать теплопотерями излучением.
2. На зависимостях коэффициента Грюнайзена от относительного объема для свинца и СВЭС видно, что при сравнительно больших величинах относительного объема ($V/V_0 > 3-5$) значение коэффициента Грюнайзена стремится к значению, близкому к $1/3$, что ниже идеально-газового значения $2/3$. Это отличие не обсуждается в диссертации.

3. В диссертации показаны интерферограммы, полученные с помощью двухканального интерферометра в одном из экспериментов со свинцом. На этих интерферограммах отчетливо видна модуляция, причем эта модуляция отличается для разных каналов. При этом не указывается причина возникновения этой модуляции и не рассматривается ее влияние на результаты измерения объема и давления, которые выполняются с помощью интерферометра.
4. Обнаруженный эффект смены знака температурного коэффициента электросопротивления для свинца и СВЭС не обсуждается с точки зрения отношения этого эффекта к переходу металл-неметалл.

Все перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей значимости диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор Кондратьев Арсений Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация была обсуждена и одобрена на семинаре Лаборатории фазовых переходов в сильно коррелированных и неупорядоченных системах ИФВД РАН 13 апреля 2026 г. (<http://www.hppi.troitsk.ru/meetings/seminar/seminar-1.htm>).

Отзыв составил член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Лаборатории фазовых переходов в сильно коррелированных и неупорядоченных системах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук (ИФВД РАН)

Дата «06» мая 2026 г.

Рыжов Валентин Николаевич



Контактные данные:

тел.: +7 (495) 851-00-13, e-mail: ryzhov@hppi.troitsk.ru

Адрес места работы:

108840, г. Москва, г. Троицк, Калужская область, ул. Мухоморова, д. 14, стр. 14

Подпись сотрудника В.Н. Рыжова за подписью

Ученый Секретарь ИФВД РАН

к.ф.-м.н.

Анкудинов Владимир Евгеньевич

«06» мая 2026 года

