

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Тамбовского государственного
университета имени Г.Р. Державина

П.С. Моисеев

2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования

«Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

на диссертационную работу Макарова Андрея Сергеевича **«Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах»**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы исследования

Металлические стекла благодаря уникальному сочетанию механических, магнитных и функциональных свойств являются перспективными материалами. Однако одна из ключевых проблем физики конденсированного состояния – природа стеклования металлических расплавов и количественное определение их стеклообразующей способности – остается далекой от окончательного решения. Отсутствие единой количественной теории, связывающей дефектную структуру металлического стекла с его макроскопическими характеристиками (упругими постоянными, вязкостью, плотностью и др.), а также со стеклообразующей способностью расплава, препятствует направленному синтезу новых аморфных сплавов с заданными свойствами.

В диссертации Макарова А.С. решена крупная научная проблема, имеющая важное значение для физики конденсированного состояния: установлены и количественно описаны взаимосвязи между диаупругими релаксациями, тепловыми эффектами, релаксацией объема, хрупкостью и избыточными термодинамическими функциями металлических стекол в рамках единого подхода, учитывающего взаимозависимость свойств кристалла, расплава и стекла. Тема диссертации, несомненно, актуальна и соответствует приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации.

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня сокращений и списка литературы из 344 наименований. Объем работы составляет 325 страниц, включая 74 рисунка и 19 таблиц.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология, положения, выносимые на защиту, и степень достоверности результатов.

В первой главе выполнен обзор литературы по структуре и свойствам металлических стекол, стеклообразующей способности, диаупругому эффекту в кристаллах и стеклах, избыточным термодинамическим функциям, релаксации объема и хрупкости. Показано, что существующие модели (свободного объема, зон сдвиговых превращений и др.) не позволяют установить взаимосвязь диаупругих релаксаций, тепловых явлений, хрупкости и релаксации объема, а также определить избыточные термодинамические функции металлических стекол.

Во второй главе описаны исследуемые материалы (40 стеклообразующих сплавов, включая низко-, средне- и высокоэнтропийные) и экспериментальные методы: электромагнитно-акустическое преобразование для измерения нерелаксированного модуля сдвига, дифференциальная сканирующая калориметрия, дилатометрия, измерения ползучести для определения вязкости, рентгеновская дифракция.

В третьей главе на основе межузельной теории теоретически предсказано и экспериментально подтверждено (на примере 31 сплава) равенство температурных коэффициентов модуля сдвига стеклообразного и кристаллического состояний при отсутствии структурной релаксации. Впервые показано, что релаксационная компонента модуля сдвига металлических стекол контролируется термоактивируемыми изменениями в подсистеме дефектов межузельного типа. Данный результат устанавливает прямую связь между механическими свойствами и релаксационными процессами в металлических стеклах.

В четвертой главе впервые установлена линейная зависимость интегральной теплоты релаксации от модуля сдвига. Разработан метод расчета температурной зависимости модуля сдвига. Предложен термодинамический подход, описывающий тепловые эффекты через изменение избыточной энтропии и диаупругий отклик материала. Кроме того, получено аналитическое соотношение для релаксационной составляющей относительного изменения объема (плотности), сопровождающей структурную релаксацию и кристаллизацию металлических стекол.

В пятой главе разработан метод расчета хрупкости металлических стекол на основе анализа температурной зависимости модуля сдвига в интервале переохлажденной жидкости. Предложен способ определения избыточных термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) стекол

относительно кристаллического состояния. Используя данный подход, установлено, что сдвиговая вязкость при температуре стеклования систематически снижается с ростом избыточной энтропии. Введен безразмерный параметр структурного порядка, коррелирующий вместе с избыточной энтропией с критериями стеклообразующей способности расплавов. Проведено сравнение избыточных термодинамических функций переохлажденного расплава и стекла.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

Новизна результатов экспериментальных исследований и теоретических положений, полученных автором

В рамках системного решения поставленных задач автором впервые разработан и представлен оригинальный подход, базирующийся на энтропийных представлениях и позволяющий проводить оценку структурной упорядоченности, склонности к релаксационным процессам и стеклообразующей способности металлических стекол. Концептуальной основой подхода служит количественная оценка избыточной энтропии исследуемых металлических стекол по отношению к их кристаллическим аналогам.

Наиболее значимые научные результаты, полученные автором:

1. Впервые экспериментально доказано, что в отсутствие структурной релаксации температурные коэффициенты модуля сдвига для стеклообразного и кристаллического состояний сплавов совпадают.
2. Впервые предложено соотношение, позволяющее прогнозировать температурную зависимость модуля сдвига свежезакаленных и релаксированных металлических стекол на основе калориметрических данных и измерений модуля сдвига сплава в кристаллическом состоянии.
3. Впервые предложен метод расчета тепловых эффектов при нагреве металлических стекол, основанный на применении общего термодинамического уравнения для изменения избыточной энтропии и учете диаупругого эффекта. Полученное уравнение позволяет количественно описывать эндотермические и экзотермические эффекты при наличии данных релаксационной компоненты модуля сдвига. С использованием данного уравнения рассчитаны все основные тепловые эффекты: экзотермическая структурная релаксация, эндотермический переход в переохлажденной жидкости и экзотермическая кристаллизация – как для исходных, так и для термически состаренных образцов.
4. Впервые выведено и экспериментально верифицировано аналитическое соотношение, позволяющее прогнозировать температурную зависимость релаксационной составляющей плотности металлических стекол на основе измерений релаксации модуля сдвига. На основе анализа экспериментальных данных показано, что релаксационный объем дефектов в металлических стеклах соответствует значениям, характерным для межузельных атомов в кристаллических металлах.

5. Впервые получено соотношение, позволяющее рассчитывать хрупкость на основе температурной зависимости модуля сдвига металлических стекол в области стеклования. Показано, что предложенный подход дает единое описание как кинетических (хрупкость), так и термодинамических (скачок теплоемкости) характеристик стеклования, связывая их через диаупругий эффект.
6. Впервые предложен метод расчета температурных зависимостей избыточных термодинамических функций металлических стекол (избыточной энтальпии, энтропии и потенциала Гиббса) от комнатной температуры до температуры полной кристаллизации, связанных собственно с некристаллическостью этих материалов. В отличие от известных подходов, использующих различные аппроксимации со стороны равновесного расплава и теряющих достоверность при охлаждении ниже температуры стеклования, предложенный метод основан на экспериментально определяемых зависимостях разностного теплового потока. Это позволяет впервые рассчитывать все избыточные термодинамические функции в широком температурном интервале, включая область структурной релаксации ниже температуры стеклования, где традиционный метод неприменим.
7. Впервые установлены закономерности эволюции избыточных термодинамических функций металлических стекол при структурной релаксации и кристаллизации. Экспериментально показано, что избыточная энтальпия практически полностью определяется упругой энергией дефектов межузельного типа, так как ее значения с точностью до 10–15% совпадают с энергией, вычисленной по разности модулей сдвига стекла и кристалла.
8. Впервые предложен энтропийный подход к количественному описанию структурного упорядочения в металлических стеклах. В качестве меры упорядоченности введен безразмерный параметр структурного порядка, определяемый отношением избыточной энтропии стекла к энтропии плавления кристалла. Установлено, что данный параметр высокочувствителен к химическому составу, термической предыстории и технологическим условиям закалки расплава. Показано, что его значения могут существенно различаться для стекол близкого состава и, напротив, сближаться для систем с заметно отличающимся элементным составом. Обнаружено, что в процессе структурной релаксации при температурах ниже температуры стеклования параметр структурного порядка закономерно возрастает, тогда как при нагреве в область переохлажденного жидкого состояния происходит его снижение. Выявлена значимая корреляция введенного параметра структурного порядка с критической скоростью охлаждения и показателями стеклообразующей способности: повышение степени структурной упорядоченности сопровождается ухудшением склонности расплава к стеклованию.
9. Впервые установлено, что избыточная энтропия металлических стекол при комнатной температуре и при температуре стеклования зависит от степени предварительной релаксации. В то же время максимальное значение этого

параметра, фиксируемое непосредственно перед началом кристаллизации, остается инвариантным по отношению к тепловой предыстории. Таким образом, максимальная избыточная энтропия металлических стекол в состоянии переохлажденной жидкости представляет собой физическую характеристику материала. Показано, что критерии стеклообразующей способности расплавов монотонно возрастают с увеличением данной величины. На основании этого сделан вывод: стеклообразующая способность переохлажденных расплавов повышается по мере роста их структурной неупорядоченности, количественной мерой которой служит предложенная избыточная энтропия.

10. Впервые показано, что диаупругий эффект, заключающийся в снижении модуля сдвига с ростом концентрации дефектов, служит связующим звеном, позволяющим с единых позиций интерпретировать калориметрически фиксируемые тепловые явления, релаксационные изменения плотности и внутренней энергии, а также определять хрупкость металлического стекла.

Оценка личного вклада соискателя

Личный вклад Макарова Андрея Сергеевича в полученные результаты является определяющим и соответствует уровню доктора физико-математических наук. Соискателем сформулированы цель и задачи исследования, обоснована общая концепция, основанная на применении модифицированной межузельной теории и разрабатываемого в работе энтропийного подхода для количественного описания релаксационных явлений в металлических стеклах.

Основной массив экспериментальных исследований выполнен им лично или при его определяющем участии. Соискателем лично разработаны и проверены все предложенные в работе методы расчета: температурной зависимости нерелаксированного модуля сдвига, кинетики тепловых эффектов, релаксационной составляющей изменения объема, хрупкости, а также избыточных термодинамических функций (энтальпии, энтропии и потенциала Гиббса) металлических стекол.

Макаровым А.С. выполнена обработка и интерпретация экспериментальных данных, сформулированы выводы по отдельным главам и работе в целом. Им предложен и обоснован новый безразмерный параметр структурного порядка, установлены и проанализированы корреляционные взаимосвязи между данным параметром, избыточной энтропией и стеклообразующей способностью расплавов. Соискатель принимал непосредственное участие в подготовке публикаций, апробации результатов на всероссийских и международных конференциях, а также во внедрении полученных результатов в учебный процесс.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечены комплексным анализом предшествующих исследований в области релаксационных процессов в металлических стеклах, использованием современных экспериментальных методов на сертифицированном оборудовании,

репрезентативной выборкой исследуемых сплавов, а также статистической обработкой экспериментальных данных. Подтверждением достоверности служат воспроизводимость результатов, их согласие с независимыми литературными источниками и широкая апробация. Полученные результаты и выводы полностью соответствуют фундаментальным законам термодинамики и положениям физики конденсированного состояния. Актуальность тематики, новизна и достоверность результатов подтверждаются грантовой поддержкой со стороны Минобрнауки России и РНФ. Основные научные положения докладывались на конференциях различного уровня – от региональных до международных. По теме диссертации опубликовано 27 статей в рецензируемых журналах категории К1 (согласно Рекомендациям Президиума ВАК от 08.12.2023 № 31/1-разн), из которых 14 относятся к первому квартилю (Q1) базы данных Scopus. Содержание диссертации полностью отражено в перечне опубликованных работ. Автореферат в полной мере соответствует содержанию диссертации, а также отражает основные результаты и выводы, представленные в ней. Диссертация полностью соответствует паспорту научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (отрасль науки – физико-математические): пункты 1, 2, 3, 5 и 6 паспорта специальности.

Значимость полученных результатов для науки и технологического применения

Значимость результатов, представленных в диссертационной работе, не вызывает сомнений, поскольку в ней решена крупная научная проблема, связанная с термодинамикой релаксационных процессов неравновесного состояния металлических стекол и кинетикой стеклования. В работе решен ряд актуальных экспериментальных задач и теоретических проблем, необходимых для научного обоснования и развития подходов к созданию и обработке металлических стекол. Полученные результаты и выводы вносят значительный вклад в фундаментальное понимание природы релаксационных явлений в металлических стеклах. В рамках диссертации предложен и верифицирован новый энтропийный подход, который позволяет количественно оценивать структурную упорядоченность, склонность к релаксации металлических стекол и стеклообразующую способность расплавов. Этот подход, основанный на определении избыточной энтропии, дает уникальный инструмент для анализа эволюции свойств стекол при термообработке и при варьировании их химического состава, что значительно углубляет научные представления о термодинамике неравновесного состояния металлических стекол и процессе стеклования.

В работе последовательно изложена и применена межузельная теория. Продемонстрировано, что ее простой математический формализм позволяет адекватно описывать широкий круг физических явлений, включая теплоту структурной релаксации, релаксацию модуля сдвига, фрагильность, скачок теплоемкости и избыточную энтальпию. Принципиальным научным результатом является установление связей между свойствами стекла, его кристаллического

аналога и расплава, что создает физические основания для понимания природы аморфного состояния в контексте его взаимосвязи с кристаллической и жидкой фазами. Сочетание энтропийного подхода и межузельной теории в рамках диссертации создает непротиворечивую картину, связывающую термодинамические характеристики стекла с его дефектной структурой и кинетическими свойствами.

С прикладной точки зрения разработанные методы представляют значительный практический интерес. Установленная взаимосвязь между диаупругими релаксациями и тепловыми эффектами, а также разработанный метод прогнозирования температурной зависимости модуля сдвига могут быть использованы для оптимизации термической обработки металлических стекол и для создания методов неразрушающего контроля их структурного состояния по упругим характеристикам. Энтропийный анализ открывает возможности для направленного дизайна новых составов металлических стекол с высокой стеклообразующей способностью, необходимой для получения объемных изделий, и повышенной релаксационной стойкостью, обеспечивающей сохранение свойств при эксплуатации. Кроме того, показанная взаимосвязь избыточной энтропии с глубиной релаксации и сдвиговой вязкостью открывает возможности для направленного управления релаксационной стойкостью материала путем варьирования химического состава в сторону увеличения энтропии смешения, что особенно актуально для разработки высокоэнтропийных металлических стекол с повышенной термической стабильностью и замедленной динамикой структурных перестроек. В диссертации разработаны физически обоснованные методы контроля релаксационных процессов на основе определения величины модуля сдвига стекла и соответствующего кристалла (диаупругий эффект).

Особую значимость полученные фундаментальные термодинамические результаты приобретают в контексте развития методов машинного обучения, ориентированных на поиск новых составов металлических стекол. Традиционный экспериментальный подход к поиску сплавов с высокой стеклообразующей способностью является чрезвычайно затратным и трудоемким. Предложенные в диссертации энтропийные параметры (избыточная энтропия, параметр структурного порядка и характеристики дефектной подсистемы) могут быть эффективно использованы в качестве признакового пространства для обучения нейросетевых моделей. В отличие от эмпирических правил (например, правил Иноуэ), данные параметры обладают четким термодинамическим и физическим обоснованием, что повышает предсказательную способность моделей и их интерпретируемость. Таким образом, выявленная в диссертации взаимосвязь между диаупругими релаксациями, тепловыми эффектами, релаксацией объема и избыточными термодинамическими функциями металлических стекол, установленная в рамках единого подхода с учетом взаимозависимости свойств

кристалла, расплава и стекла, предоставляет количественные критерии для поиска новых аморфных сплавов с высокой стеклообразующей способностью.

Таким образом, результаты работы могут найти применение как при исследовании фундаментальных механизмов стеклования и структурной релаксации, так и при разработке новых металлических стекол с заданными свойствами. Тематика исследований соответствует приоритетам научно-технологического развития РФ в части создания новых материалов с заданными свойствами и эксплуатационными характеристиками.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы имеют как фундаментальное, так и прикладное значение и могут быть рекомендованы для использования в научных, образовательных и производственных целях.

В научно-исследовательской деятельности разработанный энтропийный подход и предложенные методы оценки степени релаксации структуры металлических стекол могут быть использованы в ведущих научных и промышленных центрах, занимающихся производством ленточных и объемных металлических стекол, исследованием их структуры и свойств. Полученные в работе результаты рекомендуется применять для решения следующих задач:

- количественный анализ структурного состояния металлических стекол (параметр структурного порядка), аморфно-нанокристаллических композитов и многокомпонентных сплавов при различных видах внешних воздействий (термическая обработка, интенсивная пластическая деформация, лазерное облучение);
- оценка хрупкости переохлажденных металлических расплавов как важного технологического параметра, определяющего кинетику стеклования и технологические режимы получения объемных металлических стекол;
- планирование экспериментов с использованием просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, синхротронного и нейтронного рассеяния, с привлечением разработанных энтропийных критериев, что позволит установить связь между наблюдаемыми особенностями атомной упаковки (радиус первой координационной сферы, доля икосаэдрических и икосаэдроподобных атомных кластеров и др.) и термодинамическими характеристиками неравновесного состояния (избыточной энтропией, параметром структурного порядка, хрупкостью), открывая новые возможности для количественного анализа атомной структуры металлических стекол на основе комплекса структурных и термодинамических данных;
- создание баз данных физически обоснованных дескрипторов, используемых при поиске новых составов металлических стекол методами машинного обучения, поскольку предложенные энтропийные параметры могут служить в качестве признакового пространства для обучения нейросетевых моделей.

В промышленности и технологических приложениях полученные результаты могут найти применение на предприятиях, занимающихся разработкой и производством быстрозакаленных аморфных сплавов и их композитов. В частности, предложенный метод расчета хрупкости может быть использован для оптимизации технологических процессов и создания материалов с улучшенным комплексом эксплуатационных характеристик. Разработанные подходы рекомендуется внедрять на таких предприятиях, как ООО «Научно-производственный комплекс «АВТОПРИБОР» (г. Владимир), ПАО «МСТАТОР» (г. Боровичи), научно-производственное предприятие «Гаммамет» (г. Екатеринбург), а также в следующих научных институтах и центрах: Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова (ЦИАМ, г. Москва), Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН, г. Черноголовка), Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН, г. Москва), Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО Российской академии наук (ИФМ РАН, г. Екатеринбург), Уфимский федеральный исследовательского центра Российской академии наук (УФИЦ РАН, г. Уфа), Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина (ДОНФТИ, г. Донецк), Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г. Москва), Национальный исследовательский технологический университет МИСИС (НИТУ МИСИС, г. Москва), Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (МИФИ-АМЕТО – разработка, производство и поставка аморфных припоев, НИЯУ МИФИ, г. Москва), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ, г. Казань), Государственный научный центр ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (г. Москва), Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (г. Москва), Тольяттинский государственный университет (г. Тольятти).

В образовательном процессе материалы диссертации могут быть интегрированы в учебные курсы по физике конденсированного состояния и материаловедению для студентов физических и материаловедческих специальностей. Результаты работы рекомендуется использовать при подготовке лекционных курсов и практических занятий по следующим темам: стеклование и термодинамика аморфного состояния; методы исследования структуры неупорядоченных систем и физика прочности и пластичности аморфных материалов. Использование результатов работы будет способствовать подготовке высококвалифицированных кадров в области физики конденсированного состояния и материаловедения.

Замечания по работе

1. В табл. 2.2 приведены значения энтропии смешения, нормированные на универсальную газовую постоянную $\Delta S_{\text{mix}}/R$, для исследованных сплавов, варьирующиеся в широком диапазоне – от 0,86 до 1,79. Вместе с тем для

некоторых сплавов (в частности, № 2, 14, 15, 17, 18 и 35) данные о температурах солидус и ликвидус отсутствуют. В этой связи возникает вопрос о причинах отсутствия указанных данных, а также о том, накладывает ли данное обстоятельство ограничения на расчет энтропии плавления.

2. В разделе 4.4 при анализе зависимости безразмерного температурно-зависимого параметра δ от релаксационной составляющей относительного изменения объема Ω (рис. 4.10) автор получает две линейные области, соответствующие исходному и термически состаренному состояниям, с одинаковым наклоном K_i . Однако в тексте не обсуждается физический смысл различия начальных точек этих двух прямых.

3. В разделе диссертации, посвященном расчету фрагильности, утверждается, что температурные зависимости модуля сдвига металлических стекол в области переохлажденной жидкости (выше температуры стеклования) близки к линейным. Фрагильность согласно уравнению (5.14) определяется производной логарифма модуля сдвига по температуре. Однако в тексте не уточняется, каким образом осуществлялся выбор интервала аппроксимации и насколько критичен этот выбор для получаемых значений фрагильности.

4. В уравнении (5.14) для расчета фрагильности также используется предэкспоненциальный множитель $\eta_0 = hN_A/V_\mu$, вычисляемый через молярный объем V_μ , постоянную Планка h и число Авогадро N_A . Однако в тексте диссертации не обсуждается, насколько результаты расчета фрагильности чувствительны к выбору этого множителя. Следовало бы провести оценку чувствительности фрагильности к выбору предэкспоненциального множителя.

5. В разделе 5.2.1 при расчете энтропии формирования дефекта S_f автор использует оценку концентрации дефектов $c \approx 0.03$. Однако в тексте не поясняется, на основании каких данных получена эта оценка и для каких именно сплавов она справедлива.

Отмеченные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации Макарова А.С. и не ставят под сомнение обоснованность и достоверность полученных автором результатов. Диссертационная работа Макарова А.С. отличается логичной структурой и грамотным научным стилем изложения, позволяющим последовательно проследить весь ход исследования от постановки задачи до интерпретации результатов. Качество иллюстративного материала находится на высоком уровне: все рисунки и таблицы информативны, наглядны и снабжены содержательными подписями, что существенно облегчает восприятие сложных экспериментальных зависимостей. Текст работы лаконичен, с необходимой полнотой раскрывает все этапы исследования. Формулировки выводов по главам и заключения отличаются четкостью, понятностью и однозначностью, каждый вывод строго обоснован представленными данными и полностью соответствует поставленным задачам и положениям, выносимым на защиту.

Заключение

Диссертация Макарова Андрея Сергеевича «Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах» является **завершенной научно-квалификационной работой** на актуальную тему, в которой на основе комплекса экспериментальных исследований и теоретического анализа установлены и интерпретированы фундаментальные взаимосвязи между диаупругими релаксациями, тепловыми явлениями, релаксацией объема, хрупкостью и избыточными термодинамическими функциями металлических стекол. В диссертации разработаны новые методы расчета температурной зависимости нерелаксированного модуля сдвига, хрупкости и избыточных термодинамических функций, а также предложен энтропийный подход к количественной оценке структурного упорядочения, что в совокупности можно классифицировать как научное достижение в физике конденсированного состояния. Диссертация полностью соответствует всем критериям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, **Макаров Андрей Сергеевич**, заслуживает присуждения ученой степени **доктора физико-математических наук** по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Доклад по диссертации «Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах» Макарова Андрея Сергеевича был заслушан на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики 19.06.2026 г. Отзыв составлен на основании доклада, анализа диссертации, автореферата и публикаций Макарова А.С. по теме диссертации. Отзыв на диссертацию и автореферат Макарова А.С. утвержден на заседании кафедры теоретической и экспериментальной физики (протокол № 12 от 19 июня 2026 г.).

Отзыв составили:

Профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики
Тамбовского государственного
университета имени Г.Р. Державина,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор физико-математических наук,
профессор
тел.: 8 (4752) 72-34-34,
e-mail: fedorov@tsutmb.ru.
Адрес: 392008, г. Тамбов,
Комсомольская площадь, 5.



Федоров
Виктор
Александрович

Заведующий кафедрой теоретической
и экспериментальной физики
Тамбовского государственного
университета имени Г.Р. Державина,
кандидат физико-математических наук,
доцент
тел.: 8 (4752) 72-34-34,
e-mail: zheltov@tsutmb.ru.
Адрес: 392008, г. Тамбов,
Комсомольская площадь, 5.

Желтов
Михаил
Александрович

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»; ТГУ им. Г.Р. Державина
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	392000, Тамбовская область, г. Тамбов, ул. Интернациональная, д. 33
Адрес официального сайта в сети «Интернет» (веб-сайт)	https://tsutmb.ru/
Телефон	+7 (4752) 72-34-40; +7 (4752) 72-70-76
Адрес электронной почты	post@tsutmb.ru

