

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Макарова Андрея Сергеевича** на тему «**Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стёклах**», представленной на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния (физико-математические науки).

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа А.С. Макарова посвящена разработке термодинамического подхода, устанавливающего количественные взаимосвязи между диаупругим эффектом и релаксацией физических свойств металлических стёкол. Как справедливо отмечено в автореферате, данные материалы, обладая рекордными прочностными характеристиками, высокой твердостью и упругой деформацией, являются перспективными и находят широкое применение в аэрокосмической отрасли, биомедицине, электротехнике и других высокотехнологичных сферах. Однако широкое внедрение металлических стёкол сдерживается отсутствием фундаментального понимания природы их стеклообразующей способности и эволюции структуры, что придает исследованиям в этой области высокую актуальность. В связи с этим разработка единой термодинамической концепции, связывающей релаксационные явления с тепловыми эффектами и избыточными термодинамическими функциями состояния, является бесспорно актуальной и своевременной задачей.

Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования, безусловно, высока и заключается в разработке нового подхода к описанию релаксационных явлений в металлических стёклах. Автором впервые:

- Теоретически спрогнозировано и экспериментально подтверждено совпадение температурных коэффициентов модуля сдвига для стеклообразного и кристаллического состояний в отсутствие структурной релаксации.
- Предложен и успешно применен комплекс методов расчета: температурной зависимости нерелаксированного модуля сдвига, кинетики тепловых эффектов, релаксационной составляющей изменения объема, фрагильности.
- Разработан новый метод расчета избыточных термодинамических функций (энтальпии, энтропии, энергии Гиббса) непосредственно для металлических стёкол, что позволяет уйти от использования сложных аппроксимаций, применяемых для расплавов.
- Установлена корреляционная связь между сдвиговой вязкостью металлических стёкол при температуре стеклования и их избыточной энтропией, а также энтропией смешения.
- Введен и обоснован безразмерный параметр структурного порядка, позволяющий количественно оценивать степень структурной неупорядоченности стекла и установлена его корреляция со стеклообразующей способностью расплава.

Значимость результатов

Теоретическая и практическая значимость работы не вызывает сомнений. Разработанный автором подход, учитывающий взаимозависимость свойств кристалла, расплава и стекла, создает основу для перехода от эмпирического поиска новых стеклообразующих составов к их целенаправленному определению. Особо следует отметить прикладную ценность разработанных методов для материаловедческих

лабораторий, занимающихся созданием новых аморфных сплавов для машиностроения, авиакосмической промышленности и биомедицины.

Качество изложения и оформления автореферата

Автореферат написан профессиональным языком. Структура работы хорошо продумана и позволяет проследить логику исследования: от постановки задачи и экспериментальной проверки базовых гипотез к созданию обобщающего термодинамического подхода. Представленный в автореферате объём экспериментального материала свидетельствует о масштабности проведенного исследования. Иллюстративный материал (рисунки, таблицы) адекватно дополняет и поясняет текст, делая его более наглядным.

Замечания

В качестве замечания можно отметить, что в автореферате приведено большое количество расчётных соотношений. Для полноты восприятия следовало бы подробнее пояснить физический смысл ключевых параметров, входящих в эти формулы.

Следует подчеркнуть, что данное замечание носит уточняющий характер и не снижает высокой научной ценности выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работа А.С. Макарова представляет собой самостоятельное и законченное научное исследование, выполненное на высоком методическом уровне. Её результаты имеют существенное значение для развития физики конденсированного состояния и материаловедения аморфных металлов. Разработанная автором термодинамическая концепция релаксационных явлений открывает новые возможности для понимания природы стеклообразного состояния сплавов и прогнозирования их свойств. Работа соответствует паспорту научной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния. По своей актуальности, научной новизне, объёму и практической значимости диссертация удовлетворяет всем критериям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), а её автор, Макаров Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук.

Кадомцев Андрей Георгиевич
д.ф.-м.н., заведующий лабораторией физики
прочности федерального государственного
бюджетного учреждения науки Физико-
технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26
Тел: (812) 292-73-12

Почта: Andrej.Kadomtsev@mail.ioffe.ru

На обработку данных в связи с формированием атт. дела А.С. Макарова согласен.

«19» августа 2026 г.

Подпись _____ / А.Г. Кадомцев

Подпись Кадомцева А.Г. удостоверяю
зав.отделом кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

Сулияури Е.М.
19.08.2026

