

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Бельтюкова Ярослава Михайловича

«Теория случайных матриц и колебательные свойства аморфных твердых тел»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.07 - «физика конденсированного состояния»

Диссертационная работа Ярослава Михайловича Бельтюкова посвящена теоретическому исследованию колебательных процессов в неупорядоченных конденсированных средах, прежде всего в стеклах, на основе разработанного автором диссертации нового подхода, основанного на использовании случайных матриц для описания ближнего и среднего порядка аморфной среды. Безусловно, этот подход и определяет значительность рассматриваемой диссертации. В работе также проанализированы транспортные свойства колебаний в неупорядоченных системах, на основе разработанного подхода рассмотрены колебательные свойства дисперсных сред и исследована построенная численная модель аморфного кремния.

Актуальность темы диссертации

Неупорядоченные среды давно и успешно применяются в науке и технике и, тем не менее, до настоящего времени остается открытой большая группа вопросов, относящихся к их свойствам и структуре. Сюда относится описание так называемого бозонного пика, проявляющегося в спектрах комбинационного и нейтронного рассеяния, механизм теплопереноса и теплоемкости в области средних температур, особенности спектров рентгеновского рассеяния, обнаруженные М.А. Порай-Кошицем более 50 лет назад. Аналогичные лакуны имеются и в описании композитных сред, представляющих собой аморфные матрицы, содержащие достаточно высокие концентрации нановключений. Все эти свойства, как и многое другое, определяются в первую очередь наноструктурой аморфных материалов. Понимание этого нашло отражение в работах С.В. Немилова, многих других. В частности, в небольшом обзоре В.К. Малиновского, опубликованном в «Успехах физических наук» в 1993 г., отмечено, что избыточная плотность колебательных

состояний, ответственная за существование бозонного пика, связана с локализацией возбуждений в малых областях, содержащих от десятков до сотни атомов, т.е. со средним порядком структуры материала. Однако, до настоящего времени описание колебательных свойств неупорядоченных сред встречалось с трудностями, связанными с отсутствием необходимого математического аппарата, т.е. подхода, который позволил бы построить соответствующие модели.

Таким образом, можно заключить, что тема представленного Я.М. Бельтюковым диссертационного исследования «Теория случайных матриц и колебательные свойства аморфных твердых тел» является актуальной.

Содержание диссертационной работы

Диссертация содержит 137 страниц и 58 рисунков, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 123 наименования.

Во введении кратко освещено современное состояние проблемы, сформулированы цель исследования и обоснована его актуальность, охарактеризована научная новизна, приведены выносимые на защиту положения и представлена информация о публикациях автора диссертации.

Первая глава является, на мой взгляд, основной. Здесь автор диссертации представляет разработанную им модель аморфного твердого тела, которая основана на использовании случайных матриц. Суть ее состоит во введении случайных связей между атомами, расположенными в узлах простейшей кубической решетки. Использование разреженных матриц соответствует ограничению порядка взаимодействия между атомами. Продемонстрировано использование предложенной модели для расчета плотности колебательных состояний и степени делокализации колебательных возбуждений.

Во второй главе Я.М. Бельтюковым в рамках развитой модели рассчитаны свойства нелокализованных возбуждений в неупорядоченных средах. Показано, что в зависимости от частоты следует рассматривать либо распространение фононов (низкие частоты), либо диффузию колебаний (высокие частоты). Определен критерий перехода от одного режима к другому. Существенно, что построенная на основе используемого подхода температурная зависимость теплопроводности хорошо описывает многочисленные экспериментальные данные.

Третья глава диссертации посвящена сопоставлению разработанного подхода к описанию дисперсной среды на основе случайных матриц с описанием, предложенным А.

Лиу и С. Нагелем, которое широко применяется в настоящее время. Автор диссертации показывает, что эти два описания непротиворечивы, и получаемые на их основе колебательные свойства достаточно близки. Далее разработанный Я.М.Бельтюковым подход используется для описания плотности колебательных состояний дисперсной системы.

В четвертой главе приводятся результаты исследования построенной автором диссертации численной модели аморфного кремния. Основным результатом описанных в этой главе исследований является продемонстрированное отличие свойств продольных и поперечных колебаний, для которых области перехода от фононного к диффузионному транспортному режиму существенно не совпадают. В промежутке между этими областями происходит переход от одного типа колебаний к другому.

В заключении приводятся сводка основных полученных автором результатов и выводы по диссертации в целом.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна

Все представленные в диссертационной работе решения теоретических задач являются новыми. Полученные результаты вносят существенный вклад в понимание колебательных свойств неупорядоченных систем. Наиболее важными новыми результатами, имеющими наибольшую научную и практическую значимость, являются следующие:

- предложенный подход к описанию аморфных сред на основе случайных матриц;
- результаты выполненного на основе этого подхода моделирования, позволяющие объяснить ряд имеющихся экспериментальных данных.

Степень обоснованности научных положений, результатов и выводов

Достоверность и обоснованность построенной модели определяется использованием современных представлений о структуре неупорядоченных сред и их сочетанием с численным моделированием. Достоверность численного моделирования определяется использованием современных программных пакетов. Достоверность полученных в работе расчетных данных подтверждается совпадением ряда представленных в диссертации результатов с аналогичными, получаемыми с использованием других моделей, а также с опубликованными в литературе экспериментальными результатами.

Практическая значимость полученных автором результатов

Практическая значимость полученных автором теоретических результатов обусловлена тем, что на их основе могут быть рассчитаны свойства широкого ряда аморфных материалов, применяемых в современной науке и технике, в частности, теплоперенос.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертации результаты представляют интерес для специалистов, работающих в области физики стекла и аморфных материалов, композитных наноматериалов, комбинационного рассеяния и рассеяния нейтронов.

Результаты диссертации могут быть использованы на предприятиях, связанных с разработкой и производством элементов фотоники на основе стекол, научных лабораториях соответствующего профиля и учебных организациях, осуществляющих подготовку специалистов в области физики конденсированного состояния. В частности, сюда относятся АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха», научно-производственная корпорация «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» ГОИ им С.И. Вавилова, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики и др.

Оформление диссертации, публикации и апробация

Диссертационная работа построена логичным образом, написана доступным для понимания языком и оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ. Материалы диссертации опубликованы в восьми печатных работах, входящих в перечень ВАК. Основные результаты диссертации многократно докладывались автором на российских и международных конференциях и семинарах.

Содержание диссертации адекватно отражено в автореферате.

Замечания по диссертации

1. Хотелось бы увидеть в диссертации более подробное пояснение того, имеет ли физический смысл ситуация с отсутствием «кристаллической добавки» к матрице AA^T , т.е. случай отсутствия жесткости. Не является ли это переходом к жидкости, в которой тоже может наблюдаться бозонный пик?

2. Из текста диссертации не ясно, можно ли с помощью представленной модели описать различие в поведении бозонного пика в стеклах и пленках аморфного кремния, где он перекрывается с поперечной модой?
3. Автор диссертации временами путает результаты моделирования и расчетов с результатами измерений: на стр. 39 написано «Распределение измеренных значений модуля Юнга для различных реализаций», на стр. 52 – «Наши результаты хорошо согласуются с соответствующими результатами, полученными для реальных стекол методами молекулярной динамики». Однако, везде речь идет о расчетах.

Следует отметить, что диссертация в целом написана хорошим языком, что сейчас, к сожалению, не слишком характерно. Однако в некоторых случаях автор нарушает логику изложения, в частности, в подписи к рисунку 1.4 автору следовало бы написать "группы связей с одинаковыми случайными распределениями жесткости обозначены различными цветами". К сожалению, разъяснение этого момента в диссертации следует только после рис. 1.15. Также, неуместно при размещенном на стр.59 описании рисунка 2.4, находящегося на той же странице, ссылаться на рисунок 2.14, находящийся на стр. 75. В диссертации имеются неудачные фразы. Так, на стр. 73 написано «Подгонка идеально подходит, за исключением центральной точки $x=0$, которая находится заметно выше уравнения (2.26)» и другие. Диссертация не слишком внимательно вычитана: на стр. 46 перепутаны условия сильного и слабого беспорядка, на стр. 9 два раза напечатано «критерий Иоффе-Регля» вместо «критерий Иоффе-Регеля», во многих случаях окончания слов не согласованы.

Тем не менее указанные недостатки не снижают ценность диссертационной работы, которая выполнена на весьма высоком уровне, и не затрагивают ее основного содержания.

Заключение

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что диссертационная работа Я.М. Бельтюкова выполнена на высоком научном уровне и является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты по исследованию неупорядоченных сред. Работа имеет большое практическое значение для развития физики неупорядоченных систем.

Полученные в работе результаты и выводы являются достоверными и обоснованными. Автореферат диссертации и публикации автора в высокорейтинговых научных изданиях полностью отражают научную новизну и содержание работы.

Тематика выполненных Я.М. Бельтюковым исследований соответствует паспорту специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния». Диссертационная работа Я.М. Бельтюкова по форме и содержанию соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением №842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. Автор диссертации Ярослав Михайлович Бельтюков заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент

Профессор кафедры физики и технологии наногетероструктур
федерального государственного бюджетного учреждения
высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский
Академический университет Российской академии наук»,
д.ф.-м.н.

Липовский Андрей Александрович

194021, г. 194021 Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д.8, корпус 3, лит. А
Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки
«Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет
Российской академии наук»,
телефон: (812) 4488591, e-mail: lipovsky@sbpau.ru

Подпись руки А.А. Липовского заверяю:

Проректор Санкт-Петербургского национального исследовательского
Академического университета Российской академии наук

А.Е. Жуков