

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе

Российской академии наук

по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.10.2024 № 5

О присуждении Гарбузову Федору Евгеньевичу
Гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Моделирование нелинейных волн и солитонов деформации в упругих и вязкоупругих телах» по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния» принята к защите 5 июля 2024 г., протокол № 4, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 15 от 19.01.2021 г., № 13 от 21.01.2022 г. и № 15 от 26.01.2024 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов

Соискатель Гарбузов Федор Евгеньевич, дата рождения – 22 августа 1995 г., в 2019 году с отличием окончил программу магистратуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ Петра Великого) по направлению подготовки 01.04.02 «прикладная математика и информатика», в 2024 году окончил

программу аспирантуры ФТИ им. А.Ф. Иоффе по направлению подготовки 03.06.01 - «физика и астрономия». Экзамен по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния» успешно сдан соискателем в ФТИ им. А.Ф. Иоффе в 2022 году. В настоящее время соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в секторе теории твердого тела ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Диссертация выполнена в секторе теории твердого тела ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Научный руководитель – Бельтюков Ярослав Михайлович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий сектором физической кинетики и электроакустических явлений ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Официальные оппоненты:

1. Порубов Алексей Викторович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией микромеханики материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН), дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 5 замечаний.

2. Азовцев Андрей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории динамики материалов ФТИ им. А.Ф. Иоффе, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 2 вопроса.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» предоставила положительный отзыв на диссертацию, содержащий 7 вопросов и замечаний. Отзыв подготовлен и подписан доктором физико-математических наук, профессором

Высшей школы теоретической механики и математической физики Кузькиным Виталием Андреевичем и кандидатом физико-математических наук, доцентом Высшей школы теоретической механики и математической физики Лободой Ольгой Сергеевной. Отзыв утверждён проректором по научной работе СПбПУ Фоминым Юрием Владимировичем.

В заключении отзыва сказано, что диссертация Гарбузова Федора Евгеньевича «Моделирование нелинейных волн и солитонов деформации в упругих и вязкоупругих телах» представляет собой самостоятельное законченное исследование, отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния» согласно Положению о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор Гарбузов Федор Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один имеет ученую степень доктора наук, другой – кандидата наук, они работают в различных организациях и не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что СПбПУ Петра Великого ведет активные исследования в различных

областях физики конденсированного состояния, в частности в области изучения теоретических основ и подходов к описанию и моделированию механических свойств конденсированных сред, в т.ч. динамики решётки. В СПбПУ Петра Великого действует диссертационный совет У.01.04.07 по специальности 1.3.8. – «физика конденсированного состояния».

Основное содержание диссертации представлено в 8 работах, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science, опубликовано 7 работ:

1. Гарбузов Ф. Е. Определение упругих модулей 3-го порядка по параметрам объемных солитонов деформации / Гарбузов Ф. Е., Самсонов А. М., Семенов А. А., Шварц А. Г. // Письма в ЖТФ. — 2016. — Т. 42, №3 — С. 16–22.

2. Samsonov A. M. Nonlinear guided bulk waves in heterogeneous elastic structural elements / Samsonov A. M., Semenova I. V., Garbuzov F. E. // Int. J. Non-Linear Mech. — 2017. — Vol. 94. — P. 343–350.

3. Garbuzov F. E. On Boussinesq-type models for long longitudinal waves in elastic rods / Garbuzov F. E., Khusnutdinova K. R., and Semenova I. V. // Wave Motion. — 2019. — Vol. 88. — P. 129–143.

4. Гарбузов Ф. Е. Продольные объемные солитоны деформации в гиперупругом стержне с квадратичной и кубической нелинейностями / Гарбузов Ф. Е., Бельтюков Я. М., Хуснутдинова К. Р. // Теор. Мат. Физ. — 2020. — Т. 202, №3 — С. 364–381.

5. Shock wave evolution into strain solitary wave in nonlinearly elastic solidbar / Garbuzov F. E., Belashov A. V., Zhikhoreva A. A., Beltukov Y. M., and Semenova I. V. // Wave Motion. — 2022. — Vol. 114. — P. 103022.

6. Garbuzov F. E. Viscoelastic relaxation of nonlinear strain waves in polymeric bars. / Garbuzov F. E. and Beltukov Y. M. // AIP Conf. Proc. — 2023. — Vol. 2849. — P. 450024.

7. Garbuzov F. E. Generalization of nonlinear Murnaghan elastic model for viscoelastic materials / Garbuzov F. E. and Beltukov Y. M. // Int. J. Non-Linear Mech. — 2024. — Vol. 159. — P. 104598.

На автореферат поступило 3 отзыва.

Отзыв доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника сектора теории оптических и электрических явлений в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе Качоровского Валентина Юрьевича положительный, содержит 1 замечание:

В качестве мелкого замечания следует отметить, что в автореферате не обсуждается возможность возбуждения поперечных изгибных колебаний, роль которых может быть достаточно велика в изучаемых системах, например, в тонких стержнях. Сделанное замечание не является критическим и скорее представляет собой пожелание для дальнейшего развития полученных результатов.

Отзыв доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника лаборатории математических проблем геофизики ФГБУН Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В. А. Стеклова РАН Киселева Алексея Прохоровича положительный, содержит 1 замечание:

- В качестве замечания отмечу неудачную своей излишней претенциозностью формулировку поставленной задачи: «Построить общую теоретическую модель нелинейного вязкоупругого тела.».

Отзыв доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории Мехатроники ФГБУН Институт

проблем машиноведения РАН Грековой Елены Федоровны положительный, содержит 1 замечание:

- В автореферате было бы целесообразно прокомментировать материальную объективность предлагаемой обобщенной вязкоупругой модели. Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем работ по построению теоретических моделей, описывающих возникновение и распространение нелинейных волн и солитонов деформации в упругих и вязкоупругих волноводах были получены следующие основные результаты:

1. Получено скорректированное уравнение типа Буссинеска, обладающее наилучшими дисперсионными свойствами среди известных из литературы уравнений того же типа. Показано, что дальнейший асимптотический анализ позволяет свести его к известному уравнению Кортевега–де Фриза.
2. С увеличением амплитуды упругих волн приобретают значимость эффекты следующего порядка малости, учитываемые в расширенном уравнении уравнению Кортевега–де Фриза. Если модули упругости третьего и четвертого порядков существенно превышают модуль Юнга (что типично для многих материалов), то ключевые свойства солитонов описываются уравнением Гарднера. Как следствие, в зависимости от соотношения между модулями упругости солитоны деформации в режиме средних амплитуд могут приобретать вид либо узких, либо широких солитонов, также известных как флатоны.
3. С помощью гипотезы плоских и равномерно деформируемых сечений получена одномерная модель, применимая для качественного моделирования длинных и коротких продольных волн в стержнях с произвольной формой поперечного сечения.

4. На основе многодоменного псевдоспектрального метода представлен численный метод для эффективного моделирования полных трёхмерных уравнений движения упругих и вязкоупругих тел со сложной нелинейной и запаздывающей связью напряжения с деформацией.
5. На основе моделирования зарождения длинной солитоноподобной волны в нелинейно-упругом и линейно-вязком стержне установлено, что быстрое формирование длинной волны в результате приложения короткого давления к торцу стержня, наблюдавшееся в экспериментах, происходит благодаря линейным эффектам: дисперсии и вязкоупругой диссипации, а нелинейные эффекты должны проявляться на существенно более поздних этапах эволюции волны.
6. Построена модель полностью нелинейного вязкоупругого материала, естественным образом обобщающая нелинейное абсолютно упругое тело на случай вязкой упругости, и обобщённую модель Максвелла линейного вязкоупругого тела – на нелинейный случай. В рамках этой модели впервые получен вид частотных зависимостей изотропных модулей упругости третьего порядка (модулей Мурнагана). Предложенная модель позволяет объяснить сильную частотную зависимость акустоупругого эффекта, наблюдавшуюся экспериментально.
7. Показано, что амплитуда генерируемой высшей гармоники на суммарной частоте предоставляет достаточно информации для полного измерения частотно-зависимых упругих модулей третьего порядка.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную и практическую значимость. Разработанные

модели и полученные уравнения развивают теоретические методы описания упругих солитонов в конденсированных средах. Практическая значимость работы заключается в разработке численного метода решения полных трёхмерных уравнений нелинейной теории вязкоупругости для моделирования волны деформации в телах со сложным законом упругости, без обращения к упрощённым моделям.

Высокая степень достоверности результатов обеспечивается тем, что они основаны на современных представлениях теории упругости конденсированных сред, непротиворечием имеющимся представлениям о таких материалах и согласием полученных теоретических результатов с имеющимися экспериментальными данными. Обоснованность сделанных в работе выводов и сформулированных положений подтверждается согласием результатов полного моделирования с упрощёнными аналитическими моделями.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. В рамках асимптотического анализа уравнений нелинейной теории упругости уточнены дисперсионные члены в уравнении типа Буссинеска, описывающем распространение длинных продольных волн малой, но конечной амплитуды в стержнях. Полученное уравнение более точным образом учитывает дисперсию продольных волн деформации в стержне, чем аналогичные уравнения известные из литературы.

2. В режиме средних амплитуд волны деформации описываются расширенным уравнением Кортвега де Фриза, учитывающим нелинейные и дисперсионные эффекты следующего порядка. В случае, если упругие модули третьего или четвёртого порядка существенно превышают упругие модули второго порядка, то

кубически-нелинейный эффект оказывается наиболее существенным среди эффектов следующего порядка, а волны деформации асимптотически описываются уравнением Гарднера.

3. В рамках формализма внутренних (скрытых) переменных и многоинтегрального подхода Грина-Ривлина построена новая наиболее общая квадратично-нелинейная модель вязкоупругого материала. С помощью этой модели получена частотная зависимость упругих модулей третьего порядка в нелинейном вязкоупругом материале. Полученные зависимости позволяют описать сильную частотную зависимость акустоупругого эффекта в полистироле, наблюдавшуюся экспериментально.

4. В общем случае упругие модули третьего порядка являются функциями двух частот, поэтому наиболее полным образом их частотная зависимость проявляется при нелинейном взаимодействии двух волн на разных частотах. Амплитуда генерируемой гармоники на суммарной частоте предоставляет достаточно информации для определения частотно-зависимых упругих модулей третьего порядка.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии, что подробно указано в текстах диссертации и автореферата. Гарбузов Ф.Е. единолично выполнил построение математических моделей и проведение численных расчётов, описанных в диссертации. Постановка задач и анализ результатов выполнен совместно с научным руководителем при непосредственном участии соискателя.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния», участвовавших в

заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

На заседании 24 октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Гарбузову Ф.Е. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Ю.Г. Кусраев

Ученый секретарь

диссертационного совета

PhD

А.М. Калашникова

24 октября 2024 г.