

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов
Российской академии наук

Р.М. Имаев

2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН)
о диссертационной работе
Наумова Евгения Константиновича

Диссертационная работа «Делокализованные нелинейные колебательные моды и дискретные бризеры в квадратных решетках» выполнена в лаборатории нелинейной физики и механики материалов ИПСМ РАН.

В 2021 году Наумов Евгений Константинович окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по специальности 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии». В период подготовки диссертации соискатель Наумов Евгений Константинович проходил обучение в очной аспирантуре ИПСМ РАН с 01.10.2021 г. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» профиль «Физика конденсированного состояния» (Приказ № 156-к от 15.09.2021 г.). С 30.05.2024 года по настоящее время работает по совместительству младшим научным сотрудником в Институте физики молекул и кристаллов Уфимского федерального государственного исследовательского центра Российской академии наук.

Кандидатские экзамены сданы 16.06.2022 г. (история и философия науки (физические науки), 23.06.2022 г. (иностранный язык (английский), 29.01.2025 года (физика конденсированного состояния). Справка об обучении и сведения о кандидатских экзаменах выдана 29.04.2025 г. ИПСМ РАН.

Научный руководитель - Дмитриев Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории нелинейной физики и механики материалов ИПСМ РАН.

Тема диссертации утверждена на заседании Ученого совета ИПСМ РАН, протокол № 21-21 от 03.12.2021 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Делокализованные нелинейные колебательные моды и дискретные бризеры в квадратных решетках» принято следующее

закключение: Диссертация Наумова Е.К. представляет собой законченное и самостоятельное исследование.

Актуальность диссертационной работы

Интерес к нелинейным колебаниям решетки возрос в последние десятилетия после открытия возможности существования локализованных в пространстве колебаний большой амплитуды, называемых дискретными бризерами (ДБ). Более того, было выяснено, что существует тесная связь между ДБ и делокализованными нелинейными колебательными модами (ДНКМ), теория которых была развита Чечиным и Сахненко. Наличие этой связи позволило разработать метод поиска различных типов ДБ в решетках высокой размерности.

ДБ интересны в физике конденсированного состояния как солитоноподобные объекты, осуществляющие локализацию и транспорт энергии по кристаллической решетке. Локализованная в пространстве колебательная энергия облегчает преодоление потенциальных барьеров образования или миграции дефектов кристаллической решетки. С помощью ДБ возможна передача энергии нелинейной решетке от периодического внешнего воздействия на частоте за пределами спектра малоамплитудных колебаний (явление супратрансмиссии). Все названные выше эффекты нелинейности являются общими и проявляются в нелинейных решетках любой размерности, хотя имеются определённые аспекты, связанные с размерностью решетки. Это говорит о возможности изучения многих эффектов нелинейности на примере относительно простых решеток, где физическая суть явления проявляется наиболее ярко.

Большую роль в физике конденсированного состояния и в физике нелинейных явлений сыграли двумерные решетки. Квадратная решетка использовалась для изучения ферромагнетизма и влияния на него нелинейных возбуждений, при изучении нелинейных возбуждений в кристалле слюды, распространения и нелинейной локализации энергии в фотонных кристаллах, а также в решетке магнитов. В одной из ранних работ Бурлакова с соавторами авторам удалось возбудить устойчивый стационарный ДБ, но получить движущийся ДБ им не удалось.

При изучении ДБ в кристаллах возникает необходимость учета дальнodelействующих взаимодействий между атомами, например, при описании металлической связи или кулоновских сил в ионных кристаллах. Учет дальнodelействия проводился при изучении свойств ДБ в нелинейных цепочках, но для двумерных и трехмерных решеток эта задача практически не рассматривалась.

С учетом вышесказанного можно заключить, что изучение нелинейной динамики квадратной решетки с учетом дальнodelействия является важной и актуальной задачей физики конденсированного состояния. Данная диссертационная работа направлена на изучение

ДНКМ и ДБ в квадратной решетке, где взаимодействие между частицами описывается потенциалом β -ФПУЦ (Ферми-Паста-Улама-Цингу), и учитываются взаимодействия вплоть до четвертого соседа

Личный вклад автора

В работе над диссертацией автор самостоятельно изучил и обобщил научную литературу по теме исследования, провёл аналитические и численные расчеты, модифицировал программы компьютерного моделирования под свои задачи, принял непосредственное участие в интерпретации и анализе полученных результатов, формулировке выводов, подготовке научных статей и тезисов докладов к публикации. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежат основные аналитические результаты и результаты численного моделирования ДНКМ и дискретных бризеров в квадратной решетке с потенциалом β -ФПУЦ.

Достоверность результатов работы подтверждается корректной постановкой задач исследования, использованием строгих математических методов кристаллографии при построении ДНКМ и известных аналитических методов получения дисперсионных кривых для малоамплитудных фоновых мод. Численные результаты получены с применением высокоточных устойчивых численных схем для интегрирования систем нелинейных уравнений движения взаимодействующих частиц. Полученные результаты физически непротиворечивы и, где возможно, сопоставлены с результатами других авторов.

Научная новизна результатов:

1. Впервые для квадратной решетки с дальнедействующими взаимодействиями аналитически получены дисперсионные соотношения для фононов, найдены амплитудно-частотные характеристики и волновые векторы всех возможных 16 ДНКМ. Показано, что 5 из 16 ДНКМ могут иметь частоту выше фононного спектра, а именно ДНКМ 1, 6, 7, 9 и 16, что важно для изучения ДБ в рассматриваемой решетке.

2. Впервые описаны новые стационарные ДБ на основе ДНКМ 6 и 9 квадратной решетки с дальнедействием, которые не могут существовать в решетке без учета дальнедействия. Получен движущийся ДБ в квадратной решетке, тем самым решена задача Бурлакова для квадратной решетки.

3. При рассмотрении эффекта супратрансмиссии от пары колеблющихся атомов в квадратной решетке впервые найдены критические частоты в зависимости от амплитуды вынужденных колебаний, при превышении которых энергия перестает поступать в квадратную решетку. При частотах внешнего воздействия на частотах, близких к критическим, происходит генерация движущихся ДБ, испускаемых периодически, а при уменьшении частоты воздействия периодичность в испускании ДБ теряется.

4. При изучении супратрансмиссии от ряда колеблющихся атомов в квадратной решетке установлено, что ДБ могут испускаться при внешнем воздействии на частоте внутри фононного спектра близко к его верхней границе. Впервые показано, что данный вывод справедлив и для случая квадратной решетки с дальнедействующими взаимодействиями.

Теоретическая и практическая значимость

Продвижение в теории состоит в выводе и анализе дисперсионного соотношения и в получении аналитических выражений для амплитудно-частотных характеристик ДНКМ в рамках кубического приближения для квадратной решетки с учетом взаимодействий до четвертого соседа включительно. Кроме того, численно определены параметры периодических внешних воздействий на решетку, при которых возбуждаются движущиеся ДБ. Показано, что частота внешнего воздействия при этом может находиться в фононном спектре решетки, недалеко от его края. С практической точки зрения работа важна тем, что в металлах и ионных кристаллах важен учет дальнедействия, проведенный в данной работе. Установлено, что в решетке с дальнедействием возможны новые типы ДБ, которые не реализуются в решетке со взаимодействием только между первыми и вторыми соседями. Более полное представление о типах ДБ, поддерживаемых квадратной решеткой с дальнедействием, ставит задачу поиска новых ДБ в кристаллах с металлической и ионной связью, где учет дальнедействия может оказаться важным.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертационной работы отражено в шести публикациях в журналах, рекомендованных ВАК, пять из них индексируются в международных базах данных Scopus и/или Web of Science, три из которых относятся к журналам квартиля Q1 и одна - квартиля Q2:

1. Наумов Е.К. Дискретные бризеры в квадратной решетке основанные на делокализованных модах/ Наумов Е.К., Бебихов Ю.В., Дмитриев С.В. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения - 2023 - Т. 20 - № 3 - С. 299–307.

2. Ryabov D.S. One-component delocalized nonlinear vibrational modes of square lattices / Ryabov D.S., Chechin G.M., Naumov E.K., Bebikhov Yu. V., Korznikova E.A., Dmitriev S.V. // Nonlinear Dynamics - 2023 - Vol. 111. № (9) - P. 8135-8153. (Q1)

3. Naumov E.K. Discrete breathers in square lattices from delocalized nonlinear vibrational modes / Naumov E.K., Bebikhov Yu.V., Ekomasov E.G., Soboleva E.G., Dmitriev S.V. // Physical Review E - 2023 - Vol. 107. № (3) - 034214. (Q1)

4. Bebikhov Y.V. Discrete breathers in a β -FPUT square lattice from in-band external driving / Bebikhov Y.V., Naumov E.K., Semenova M.N., Dmitriev S.V. // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation - 2024 - Vol. 132 - 107897 (Q1)

5. Naumov E.K. Discrete breathers in a square lattice based on delocalized modes / Naumov E.K., Bebikhov Y.V., Dmitriev S.V. // Physics of the Solid State - 2023 - Vol. 65. № (1) - P. 6-11. (Q4)

6. Abdullina D.U. Supratransmission in a β -FPUT square lattice / Abdullina D.U., Naumov E.K., Bebikhov Y.V., Semenova M.N., Kudreyko A.A., Dmitriev S.V. // Physics Letters A. – 2025 - Vol. 550 - 130587 (Q2)

Научная специальность, которой соответствует диссертация

Диссертация «Делокализованные нелинейные колебательные моды и дискретные бризеры в квадратных решетках» по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует пп. 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления» и 4. Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ паспорта специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния (физико-математические науки).

Диссертационная работа соответствует квалификационным требованиям, установленным п. II «Положения о порядке присуждении ученых степеней».

Диссертация «Делокализованные нелинейные колебательные моды и дискретные бризеры в квадратных решетках» Наумова Евгения Константиновича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании Ученого совета ИПСМ РАН.

Присутствовало на заседании 11 членов Ученого совета из 18 списочного состава. Результаты голосования: «за» - 11, «против» - 0, «воздержались» - 0, протокол № 06-25 от 06.05.2025 г.

Ученый секретарь ИПСМ
кандидат технических наук

Сафаров Ильфат Миндигалеевич