

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор –  
проректор по научной-исследовательской работе  
Самарского университета



А.Б. Прокофьев

« 10 » *ноября* 2023 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»

Диссертация «**Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических средах**» выполнена Морозовым Виталием Михайловичем на межвузовской кафедре космических исследований и научно-исследовательской лаборатории «Перспективные фундаментальные и прикладные космические исследования на базе наноспутников» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Морозов Виталий Михайлович, 1992 года рождения, гражданин России, в 2015 году окончил с отличием федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет» по специальности 150702 Физика металлов.

В 2019 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет».

В период подготовки диссертации с 2020 по 2022 год работал на штатной должности младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Перспективные фундаментальные и прикладные космические исследования на базе наноспутников» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

В настоящее время работает в должности инженера-конструктора в акционерном обществе «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» (АО «УКБП»), а также по совместительству работает в должности младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Перспективные фундаментальные и прикладные космические исследования на базе наноспутников» Самарского университета.



Справка о сроках обучения в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2023 году в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский государственный университет».

Научный руководитель – Журавлев Виктор Михайлович, доктор физико-математических наук (05.13.18), профессор. Сентябрь 1993 - июль 2005, доцент кафедры теоретической физики филиала Московского государственного университета в г. Ульяновске, июль 2005 - ноябрь 2022, профессор кафедры теоретической физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет», в настоящее время не работает.

Тема диссертационного исследования утверждена на заседании научно-технического совета Самарского университета 16.03.2021, протокол № 2.

Диссертационная работа является *завершенной*.

#### **Актуальность**

Прогнозирование поведения новых материалов в различных условиях и методы получения материалов с заданными свойствами, являются одними из самых актуальных направлений теоретических исследований в области физики конденсированного состояния. Результаты этих исследований имеют широкий спектр применения от создания компонент микроэлектронных устройств и элементов космических аппаратов до атомной техники.

**Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в:**

постановке задач и формулировке основных теоретических положений работы, разработке модели диффузии с ограниченным источником, выполнении расчетов, непосредственном участии в обсуждении и анализе результатов исследования и подготовке публикаций и докладов конференций.

**Достоверность** обеспечивается применением известных математических методов анализа дифференциальных уравнений, а также подтверждается качественным и количественным совпадением полученных результатов с результатами работ других авторов и опубликованными результатами экспериментов.

В рамках диссертационной работы получены результаты, обладающие **научной новизной и выносимые на защиту:**

1. Линейные уравнения диффузии в среде с размерностью  $d > 1$  и распределенными источниками и стоками специального вида допускают многолистные решения, описывающие перемещение локализованных сингулярных структур. Такие структуры возникают, в том числе и в однородной среде.

2. Нелинейные функциональные подстановки (НФП) позволяют находить точные частные решения и симметрии нелинейных уравнений диффузии. С помощью НФП найдено преобразование, связывающее решения



уравнений с взаимными коэффициентами диффузии. Обобщение метода на случай дискретных систем позволяет выписать решения и интегралы движения уравнений кластеризации под действием излучения.

3. Уравнение быстрой диффузии с источником обладает классом локализованных волновых решений, для которых функция источника связана с волновыми компонентами решений. С помощью нелинейных функциональных подстановок показано наличие, в том числе, автоволнового режима возникновения когерентных структур.

4. В модели с быстрой релаксацией и медленной диффузией (БРМД) точечных дефектов, когерентная структура описывается функцией, удовлетворяющей линейному уравнению с коэффициентом диффузии, зависящим от интенсивности внешнего излучения. При заданном коэффициенте диффузии интенсивность внешнего излучения определяет критическое значение волнового числа, начиная с которого происходит рост сверхрешетки.

5. В модели БРМД с ограниченным источником дефектов существует два режима роста упорядоченных структур – релаксационный и асимптотический. В первом случае высококонтрастное распределение концентрации точечных дефектов достигается за конечный отрезок времени с последующим насыщением. В асимптотическом режиме макроструктура сохраняется при установлении динамического равновесия и не зависит от начального распределения.

**Практическая значимость** результатов заключается в возможности применения полученных критериев роста сверхструктур и зависимости их параметров от характеристик падающего излучения в исследованиях материалов с заданными свойствами, а также исследованиях поведения материалов под облучением. Разработанные математические методы могут быть применены для исследования широкого класса нелинейных дифференциальных уравнений теоретической и математической физики, химической и биологической кинетики, а также для оценки степени деградации фотоэлектрических преобразователей и элементов конструкции наноспутника во время продолжительного пребывания в космосе.

**Область исследования соответствует** пункту 5. Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика. Теория фазовых переходов. Физическая кинетика, - направлений исследования паспорта научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

#### **Ценность научных работ соискателя**

Соискатель имеет 20 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 9 статей опубликовано в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержащиеся в диссертации научные результаты, а также основные аспекты их практического применения.



В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На разработанное программное обеспечение получены свидетельства о государственной регистрации:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017615565 Российская федерация, Вычисление поверхностного распределения интенсивности электромагнитного излучения, возникающего за счет френелевского отражения вертикально падающего пучка: № 2017612363: заявл. 22.03.2017: опубл. 18.03.17/Журавлев, В.М., Морозов, В.М.; заявитель УлГУ.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018611269 Российская федерация, Численное моделирование образования рельефа поверхности под действием лазерного излучения: № 2017662479: заявл. 01.12.2017: опубл. 29.01.18/Журавлев, В.М., Морозов, В.М.; заявитель УлГУ.

**Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:**

1. Журавлев В. М. Об условиях возникновения регулярных структур в конденсированных средах под действием внешнего излучения [Текст] / В.М. Журавлев, И.О. Золотовский, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2015. – №3. – С. 144 – 162.

2. Журавлев В.М. Лазерно-индуцированная генерация поверхностных периодических структур в средах с нелинейной диффузией [Текст] / В.М. Журавлев, И.О. Золотовский, Д.А. Коробко, **В.М. Морозов**, В.В. Светухин, И.О. Явтушенко, М.С. Явтушенко // ФТТ. - 2017. - №12. - С. 2291 - 2998.

3. Журавлев В.М. Многозначные решения уравнений диффузии и гидродинамика [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2018. – №3. – С. 87 – 110.

4. Журавлев В.М. Интегрируемые динамические цепочки и метод функциональных подстановок [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2019. – №1. – С. 78 – 104.

5. Журавлев В.М. Многозначные решения многомерных линейных уравнений теплопроводности и ривертоны [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. - 2021. - №2. - С. 90 - 104.

6. Журавлев В.М. Представление Лакса с операторами первого порядка для новых нелинейных уравнений типа КдВ [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. - 2021. - №4. - С. 178 - 191.

7. Журавлев В.М. Нелинейные функциональные подстановки и



преобразования для нелинейных диффузионных и волновых уравнений [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. - 2022. - №2. - С. 81 - 98.

8. Морозов В.М. Модель радиационно-стимулированного роста когерентных структур в кристаллической среде с быстрой релаксацией и медленной диффузией [Текст] / В.М. Морозов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. - 2022. - №2. - С. 99 - 133.

9. Журавлев В.М. Нелинейные волновые уравнения и условия совместности полиномиальных дифференциальных соотношений [Текст] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. - 2023. - №2. - С. 91-107.

10. Морозов В.М. Моделирование процессов образования периодических структур в конденсированных средах с нелинейной диффузией [Текст] / В.М. Морозов, В.М. Журавлев. - Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники: тезисы докладов, 2015. - 261 с.

11. Журавлев В.М. О многозначных решениях двумерных линейных параболических уравнений [Электронный ресурс] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании: материалы XIII Международной научной конференции. - Режим доступа: <https://conf.svm.ru/files/deamm2017/papers/paper46.pdf> (дата обращения: 06.07.2023).

12. Морозов В.М. Многозначные решения многомерных параболических уравнений [Электронный ресурс] / В.М. Морозов, В.М. Журавлев // Материалы XXIV международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». - Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\$\\_2017/data/section\\$\\_31\\$\\_10996.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov$_2017/data/section$_31$_10996.htm) (дата обращения 09.10.2023).

13. Морозов В.М. Нелинейные функциональные подстановки и автоволны в среде с быстрой диффузией [Текст] / В.М. Морозов, В.М. Журавлев. - Международный научный семинар «Нелинейные модели в механике, статистике, теории поля и космологии» GRACOS-18. Сборник материалов, 2018. - 176 с.

14. Морозов В.М. Автоволны в среде с быстрой диффузией и метод функциональных подстановок [Электронный ресурс] / В.М. Морозов // Материалы XXV международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов". - Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\$\\_2018/data/section\\$\\_34\\$\\_13550.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov$_2018/data/section$_34$_13550.htm) (дата обращения 09.10.2023).

15. Морозов В.М. Об условиях возникновения периодических структур в



конденсированных средах под облучением [Электронный ресурс] / В.М. Морозов // Материалы XXVI международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». - Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov/\\$2019/data/section/\\$33/\\$16300.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov/$2019/data/section/$33/$16300.htm) (дата обращения 09.10.2023).

16. Журавлев В.М. Условия роста периодических структур под облучением в модели «Быстрая релаксация-медленная диффузия» [Электронный ресурс] / В.М. Журавлев, **В.М. Морозов** // Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании: сборник материалов XV Международной научной конференции. (Саранск, 15-18 июля 2021 г.). - Режим доступа: <https://conf.svmo.ru/files/2021/papers/paper19.pdf> (дата обращения 09.10.2023).

17. **Морозов В.М.** Метод нелинейных функциональных подстановок для уравнений нелинейной диффузии и волновых уравнений [Электронный ресурс] / **В.М. Морозов**, В.М. Журавлев // Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании: сборник материалов XVI Международной научной конференции. (Саранск, 17-20 августа 2023 г.). – Режим доступа: <https://conf.svmo.ru/files/2023/papers/paper26.pdf> (дата обращения 09.10.2023).

18. **Морозов В.М.** Модель роста когерентных структур в среде с быстрой релаксацией и медленной диффузией [Электронный ресурс] / **В.М. Морозов**, В.М. Журавлев // Дифференциальные уравнения и их приложения в математическом моделировании: сборник материалов XVI Международной научной конференции. (Саранск, 17-20 августа 2023 г.). – Режим доступа: <https://conf.svmo.ru/files/2023/papers/paper27.pdf> (дата обращения 09.10.2023).

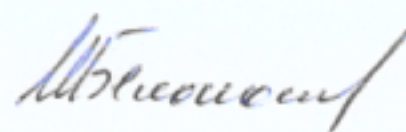
Диссертационную работу Морозова Виталия Михайловича «**Нелинейные модели радиационно-стимулированной диффузии точечных дефектов и роста когерентных структур в кристаллических средах**» рекомендуется представить к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Заключение принято на заседании межвузовской кафедры космических исследований Самарского университета от 13.10.2023, протокол заседания №3.

Присутствовало на заседании 11 чел.

Результаты голосования: «за» – 11 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Заведующий межвузовской кафедрой  
космических исследований  
Самарского университета,  
д.т.н., профессор



И.В. Белоконов