

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от "30"ноября 2022 г. №13

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых**  
**превращений в твердых телах»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижегород  
2023 год

### 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Актуальные проблемы теории диффузии и фазовых превращений в твердых телах» является факультативной дисциплиной и изучается на 3 году обучения в 6 семестре.

Данный курс направлен на формирование у обучающегося углублённых знаний в области теории диффузии и диффузионно-контролируемых процессов в твёрдых телах, и изучение закономерностей поведения материалов при повышенных температурах. Особое внимание уделено анализу самодиффузии и гетеродиффузии по внутренним границам раздела материала (межзёрным и межфазным границам), влиянию степени неравновесности границ на диффузионные процессы, а также рассмотрению кинетики и особенностей протекания диффузионно-контролируемых структурно-фазовых превращений в ультра-мелкозернистых и нанокристаллических материалах.

#### Цели освоения дисциплины:

- Познакомить аспирантов с современными представлениями о роли диффузионных процессов в формировании структуры и свойств твёрдых тел, понятиями, методами и приложениями современной теории диффузии, контролируемых диффузией структурных перестроек и диффузионных фазовых превращений в кристаллических твёрдых телах.
- Раскрыть качественные и количественные закономерности, связывающие температурно-зависящие физико-механические свойства твёрдых тел с развитой удельной поверхностью межкристаллитных границ с кинетикой диффузионно-контролируемых процессов.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет всего - 36 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часа, 18 часа – занятия семинарского типа).

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
Тема 1. Закономерности и модели диффузии в металлах и сплавах различного химического и фазового состава	15	4	6	-	10	5

Тема 2. Закономерности и модели диффузии по внутренним границам раздела	18	4	4	-	8	10
Тема 3. Диффузионно-контролируемые процессы и явления в поликристаллических твёрдых телах	20	6	4	-	10	10
Тема 4. Особенности протекания диффузионных процессов в субмикро и нанокристаллических материалах, полученных методами интенсивной пластической деформации	18	4	4	-	8	10
ВСЕГО		18	18		36	35
В т.ч.текущий контроль	1					
Промежуточная аттестация - зачет						

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий	Форма текущего контроля
1.	Закономерности и модели диффузии в металлах и сплавах различного химического и фазового состава	Макроскопическая теория диффузии. Микроскопические модели диффузии. Самодиффузия в чистых металлах. Самодиффузия и диффузия растворённых элементов в разбавленных сплавах. Диффузия в концентрированных сплавах. Диффузия по ядрам дислокаций. Диффузионные фазовые превращения в твёрдых телах.	Лекции, семинары	Реферат Собеседование
2.	Закономерности и модели диффузии по внутренним границам раздела	Феноменологические модели зернограницной диффузии. Классификация режимов зернограницной диффузии по Харрисону. Обобщённые классификации режимов зернограницной диффузии для неподвижных и движущихся границ.	Лекции, семинары	Реферат Собеседование

		Диффузия в движущейся границе зерна. Диаграмма Кана-Баллуффи. Микроскопические теории зернограницной диффузии. Диффузия по неравновесным границам.		
3.	Диффузионно-контролируемые процессы и явления в поликристаллических твёрдых телах	Делокализация ядер решёточных дислокаций в большеугловых границах зёрен с неупорядоченной атомной структурой. Деформационно-стимулированное проскальзывание и миграция границ зёрен. Возврат дефектной структуры границ зёрен. Динамическая сверхпластичность.	Лекции, семинары	Реферат Собеседование
4.	Особенности протекания диффузионных процессов в субмикро и нанокристаллических материалах, полученных методами интенсивной пластической деформации	Активированная диффузией ползучесть наноструктурных материалов. Активированная диффузией сверхпластичность ультра-мелкозернистых металлов и сплавов. Особенности протекания диффузионных фазовых превращений в наноструктурных материалах.	Лекции, семинары	Реферат Собеседование

#### **4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, подготовку устного доклада (публичного выступления), подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примерные темы для устного доклада (публичного выступления) приведены в п. 6.4 настоящей Рабочей программы дисциплины.

#### **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

##### **5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные экзаменаторами);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая лаконичности);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена***

#### ***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета***

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### ***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

5.2.1. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины

Группа вопросов из типового теста, применяемого для оценки результатов обучения в виде знаний, приведена в таблице ниже.

- Особенности дислокационной структуры нано- и ультрамелкозернистых металлов и сплавов.
- Особенности пластической деформации нано- и ультрамелкозернистых металлов и сплавов при комнатной температуре.
- Особенности разрушения нано- и ультрамелкозернистых металлов и сплавов при комнатной температуре.
- Особенности пластического течения и разрушения нано- и ультрамелкозернистых металлов и сплавов в условиях ползучести.
- Особенности сверхпластического течения и разрушения нано- и ультрамелкозернистых металлов и сплавов.

#### 6.4.3 Типовые примеры практических контрольных заданий

- Вычислить температуру, при которой в ультрамелкозернистой меди диффузионная ползучесть, лимитируемая диффузией по объему, сменяется ползучестью, лимитируемой диффузией по границам зерен.
- Вычислить температуру, при которой в ультрамелкозернистой меди степенная ползучесть, лимитируемая диффузией по ядрам дислокаций сменяется ползучестью, лимитируемой диффузией по объему.
- Какие факторы (тип кристаллической решётки, энергия дефекта упаковки, схема или режим нагружения, фазовый состав и пр.), на ваш взгляд, могут способствовать фрагментации кристаллических твёрдых тел при пластической деформации и почему?
- Известно, что увеличение доли специальных границ подавляет сверхпластическую деформацию. На Ваш взгляд, с чем это связано?
- Способствует ли, на Ваш взгляд, уменьшение энергии дефекта упаковки деформационному измельчению зёрен?
- Как и из каких экспериментальных данных можно определить вклад зернограницного проскальзывания в величину сверхпластической деформации поликристалла?
- Какими экспериментальными методами можно оценить величину внутренних напряжений в деформированном поликристалле?
- С какой точностью можно определить методом EBSD разориентировки границ деформационного происхождения?
- Опишите процедуру определения кажущейся энергии активации сверхпластической деформации.
- Как определить зависимость коэффициента скоростной чувствительности сверхпластического сплава по условным диаграммам растяжения?
- С чем могут быть связаны наблюдаемые экспериментально отклонения от зависимости Холла-Петча? В каких случаях эта зависимость перестаёт выполняться?
- Почему при увеличении скорости сверхпластической деформации квазиоднофазных сверхпластических сплавов увеличивается скорость роста зёрен? Почему в однофазных материалах возможна лишь кратковременная сверхпластичность?
- При каких условиях происходит смена механизма роста пор - от диффузионного к пластическому?

#### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

1. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М. Атомиздат, 1972. 336 с. (8 экз. в ФБ ННГУ).
2. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов кристалла. М. Высшая школа, 1983. 150 с. (4 экз. в ФБ ННГУ).
3. Орлов А.Н., Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. М. Металлургия, 1980. 186 с. (6 экз. в ФБ ННГУ).
4. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Структура и свойства границ зёрен: Учебное пособие. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2012. 307 с. (8 экз. в ФБ ННГУ).
5. Рыбин В.В. Большие пластические деформации. М.: Металлургия, 1986. 345 с. (6 экз. в ФБ ННГУ).
6. Перевезенцев В.Н., Сарафанов Г.Ф. Фрагментация при пластической деформации металлов. Учебное пособие. - Н.Новгород: Изд-во ННГУ ИМ. Н.И.Лобачевского, 2007.- 127 с. (10 экз. в ФБ ННГУ).
7. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч.1. Дефекты решетки. – М. Металлургия, 1982. – 280 с. (5 экз. в ФБ ННГУ).
8. Гегузин Я.Е. Очерки о диффузии в кристаллах – М.: Наука, 1974 [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Geguzin1974ru.djvu>].

9. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. М. Металлургия, 1990. – 336 с. (5 экз. в ФБ ННГУ).
10. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб и доп. / Том 1. Атомное строение металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 638 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
11. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами. – М.: Металлургия, 1987. 621 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
12. Физическое металловедение в 3 т. / Под ред. Р.У. Кана, П. Хаазена, пер. с англ. под ред. О.В. Абрамова, 3-е изд. перераб. и доп. / Т. 3: Физико-механические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 661 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
13. Глейтер Г., Челмерс Б. Большеугловые границы зерен. – М.: Мир, 1975, [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

б) дополнительная литература:

1. Чувильдеев В.Н. Неравновесные границы зерен в металлах. Теория и приложения – М.: Физматлит, 2004, 303 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «ЛАНЬ»: [https://e.lanbook.com/book/59342?category\\_pk=925#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/59342?category_pk=925#book_name)]. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов – Новосибирск: Наука, 2001, 232 с. (5 экз. в ФБ ННГУ).
3. Физическое металловедение. Под ред. Р.У. Кана. М.: Металлургия, т. III, 1987. 625 с. (8 экз. в ФБ ННГУ).
4. Владимиров В.И., Романов А.Е. Дисклинации в кристаллах. - Л. Наука, 1986. – 183с. (7 экз. в ФБ ННГУ).
5. Нохрин А.В., Лопатин Ю.Г., Пискунов А.В., Чувильдеев В.Н., Смирнова Е.С. Изучение процессов рекристаллизации при отжиге сильнодеформированных металлов. Практикум - Н.Новгород: ННГУ, 2016, 31 с. (электронное издание, [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Recrystallization.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Recrystallization.pdf)).
6. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1978, 568 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
7. Чувильдеев В.Н., Нохрин А.В., Пирожникова О.Э., Грязнов М.Ю., Лопатин Ю.Г., Смирнова Е.С. Физика новых материалов – Н.Новгород, изд-во ННГУ, 2010, 105 с. [[http://www.unn.ru/books/met\\_files/NokhrinAV.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/NokhrinAV.pdf)].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
1. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
2. <http://www.springer.com> – сайт международного издательства «Springer», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
3. <http://www.sciencedirect.com> - сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
4. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary».

5. <http://vak.ed.gov.ru/dis-list> – электронная библиотека Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки РФ авторефератов диссертаций, содержащая ссылки на полные тексты диссертаций.
6. <http://www.scopus.com> – международная научная база данных «Scopus», позволяющая осуществлять поиск (на английском языке) научных работ (статей, тезисов докладов) по выбранной тематике.
7. <http://apps.webofknowledge.com> – международная научная база данных «Web of Science», позволяющая осуществлять поиск (на английском языке) научных работ (статей, тезисов докладов, диссертаций, патентов) по выбранной тематике.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Автор: д.ф.-м.н., проф. Перевезенцев В.Н.

Рецензент: к.ф.-м.н., зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., профессор Чувильдеев В.Н.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от \_\_\_\_\_ 2022 года, протокол № б/н