

**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**  
**Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)**

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

Программа аспирантуры  
**1.3.8 «Физика конденсированного состояния»**

Научная специальность  
**03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния (кандидатский экзамен)» относится к числу *обязательных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 4 году обучения в 7 семестре.

**Цель дисциплины** – Изучение дисциплины базируется на курсе «Физика конденсированного состояния», преподаваемого в бакалавриате физического факультета ННГУ, а также на профессиональных дисциплинах различных разделов физики конденсированного состояния, преподаваемых в бакалавриате, магистратуре и аспирантуре физического факультета ННГУ.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

**Уметь:** - анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;

- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.

**Владеть:**

- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

- навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

- навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований;

- навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов;

- навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности.

## 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 36 часов, из которых 2 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем, 32 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Тема 1. Базовые вопросы и проблемы физики	14	2	-	-	2	4	12

конденсированного состояния							
Тема 2. Дополнительные разделы кристаллофизики	11	-	-	-	-	-	11
Тема 3. Дополнительные разделы физического материаловедения и прикладной физики	11	-	-	-	-	-	11
Промежуточная аттестация: –	экзамен						
Итого	36	2			2	4	34

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий	Форма текущего контроля
1	Базовые вопросы и проблемы физики конденсированного состояния	1. Силы связи в твердых телах 2. Симметрия твердых тел 3. Дефекты в твердых телах 4. Дифракция в кристаллах 5. Колебания решетки 6. Тепловые свойства твердых тел 7. Электронные свойства твердых тел 8. Магнитные свойства твердых тел 9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел 10. Сверхпроводимость	Лекции	Собеседование
2	Дополнительные разделы кристаллофизики	Аналитическая геометрия кристаллического пространства. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Кристаллографические системы координат. Обратная решетка и их свойства. Основные формулы решетчатой кристаллографии. Кристаллографические проекции. Точечная симметрия кристаллов. Точечные группы симметрии кристаллов. Сингонии. Простые формы кристаллов. Решетки Бравэ. Пространственные группы симметрии кристаллических структур. Правильные системы точек пространственных групп. Химические связи в кристаллах. Принцип плотнейшей упаковки. Двух- и трехслойные упаковки одинаковых шаров. Структурные типы кристаллов. Полиморфизм, изоморфизм, морфотропия. Псевдосимметрия кристаллических структур. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Условия Лауэ. Формула Вульфа-Брэгга. Интерференционное уравнение и сфера отражения. Дифракционные погасания, вызванные центрированными решетками Бравэ, винтовыми осями, плоскостями скользящего отражения. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Функция атомного рассеяния. Структурная амплитуда, структурный фактор. Влияние симметрии на вид формул структурной амплитуды. Температурный фактор. Интегральная	Контроль самостоятельной работы	Собеседование

		<p>интенсивность. Фактор Лоренца. Фактор поглощения. Первичная и вторичная экстинкция. Фактор повторяемости.</p> <p>Метод порошка (метод Дебая). Интерпретация дифракционной картины с помощью обратной решетки. Способы получения рентгенограмм от поликристалла. Индексировка дебаеграмм в различных сингониях и определение параметров элементарной ячейки.</p> <p>Определение симметрии и ориентации кристалла (метод Лауэ). Условие дифракции и его интерпретация с помощью обратной решетки и сферы отражения. Закономерности дифракционной картины: зональные кривые, важные узловые ряды и сетки. Симметрия лауэграмм. Определение точечной симметрии кристалла по лауэграммам.</p> <p>Фазы и компоненты. Условия протекания кристаллизации. Условия равновесия и превращения фаз. Кристаллизация в однокомпонентной системе.</p> <p>Гомогенное зарождение капель жидкости из пересыщенного пара. Гомогенное зарождение кристаллов. Гетерогенное зарождение кристаллов. Размножение кристаллов. Влияние внешних воздействий на скорость зародышеобразования. Рост и равновесная форма кристаллов. Рост идеального кристалла путем образования двумерных зародышей.</p> <p>Рост кристаллов из пара. Адсорбционный слой и поверхностная диффузия.</p>		
3	Дополнительные разделы физического материаловедения и прикладной физики	<p>Ротационные дефекты кристаллической решётки – дисклинации. Мощность дисклинации, дислокационное представление частичной клиновой дисклинации.</p> <p>Дислокационная стенка, как дисклинационный диполь, понятие оборванной субграницы.</p> <p>Упругие энергии дисклинации и дислокации в бесконечном кристалле. Эффект экранирования упругого поля дисклинации системой дислокаций.</p> <p>Феноменология структурной сверхпластичности. Микромеханизмы сверхпластической деформации. Строение и свойства большеугловых границ зёрен.</p> <p>Основные закономерности фрагментации металлов при пластической деформации.</p> <p>Рентгенографические методы исследования структуры поликристаллических материалов (металлы, сплавы, керамики). Определение дефектов поликристалла рентгеновскими методами (анализ формы дифракционных линий).</p> <p>Определение внутренних напряжений и размеров областей когерентного рассеяния в поликристаллах.</p> <p>Микроскопические методы исследования вещества (оптические, просвечивающая электронная, растровая электронная, туннельная и др. микроскопии), преимущества и недостатки этих методов. Принципы формирования изображения в оптических, растровых электронных, просвечивающих электронных и туннельных микроскопах.</p> <p>Основные методы механических испытаний материалов. Испытания на прочность. Твердость.</p>	Контроль самостоятельной работы	Собеседование

		<p>Ползучесть. Усталость. Понятие о физико-механических и инженерных свойствах материалов.</p> <p>Методы коррозионных испытаний. Химическая (газовая) и электрохимическая коррозия. Влияние состава и структуры материалов на их коррозионную стойкость. Коррозионно-стойкие материалы.</p> <p>Механизмы объемной диффузии с участием точечных дефектов. Основные закономерности объемной диффузии. Закон Фика. Влияние различных факторов на интенсивность процессов диффузии. Различия в особенностях диффузии в металлах и в керамиках.</p> <p>Механизмы зернограничной диффузии. Основные закономерности зернограничной диффузии. Влияние различных факторов на интенсивность процессов зернограничной диффузии.</p> <p>Зернограничные сегрегации.</p> <p>Физика пластической деформации металлов и сплавов. Зависимость «напряжение - деформация». Особенности развития пластической деформации на различных участках зависимости «напряжение - деформация».</p> <p>Влияние параметров микроструктуры на прочность металлов и сплавов. Вклад Пайерлса-Набарро. Твердорастворное упрочнение. Дислокационное упрочнение. Дисперсное и дисперсионное упрочнение. Вклад размера зерна и состояния границ зерен в предел текучести. Соотношение Холла-Петча.</p> <p>Возврат и рекристаллизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Движущие силы процессов рекристаллизации. Основные закономерности процессов первичной и собирательной рекристаллизации. Уравнение Зинера. Влияние возврата и рекристаллизации на механические свойства металлов.</p> <p>Карты механизмов деформации металлов и сплавов. Принципы построения карт механизмов деформации. Основные механизмы деформации на картах механизмов деформации. Отличия процессов деформации металлов и керамик.</p> <p>Карты механизмов разрушения металлов и сплавов. Принципы построения карт механизмов разрушения. Основные механизмы разрушения на картах механизмов разрушения. Связь карт механизмов разрушения с картами механизмов деформации. Отличия в механизмах разрушения металлов и керамик.</p> <p>Физика спекания материалов. Основные теории спекания. Карты спекания материалов. Влияние параметров микроструктуры материалов на кинетику их спекания.</p> <p>Методы описания и модели экспериментальных данных, сигналов и помех в системах обработки данных физического эксперимента.</p> <p>Байесовский подход к оцениванию параметров сигналов и моделей физических процессов.</p> <p>Эффект Доплера. Влияние эффекта Доплера на алгоритмы оценивания параметров сигналов, экспериментальных зависимостей и моделей физических процессов.</p>		
--	--	---	--	--

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

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, подготовку к промежуточной аттестации.

Для текущего контроля обучающимся предлагаются следующие вопросы:

1. Условия Вульфа-Брэгга и Лауэ для дифракции рентгеновского излучения в кристалле. Основные рентгеновские методы исследования структуры кристаллов.
2. Принципы геометрической теории дифракции рентгеновских лучей в кристалле. Построение Эвальда.
3. Межатомное взаимодействие в двухатомной молекуле и в кристалле. Электроотрицательность. Основные виды химической связи в кристаллах.
4. Подсчет энергии связи в молекулярных кристаллах.
5. Подсчет энергии связи в ионных кристаллах.
6. Принципы расчета энергии связи в ковалентных кристаллах методом ЛКАО (на примере молекулы водорода).
7. Основные типы дефектов в кристаллах. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Шоттки.
8. Расчет равновесных концентраций точечных дефектов по Френкелю.
9. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Механизмы движения дислокаций. Источники дислокаций.
10. Упругость твердого тела. Обобщенный закон Гука для кристаллов.
11. Пластические свойства твердых тел. Основные механизмы пластической деформации. Системы скольжения.
12. Упругие волны в кристаллах. Продольные и поперечные моды колебаний в кристаллах кубической сингонии.
13. Колебания одномерной моноатомной цепочки. Закон дисперсии.
14. Упругие колебания одномерной атомной цепочки с базисом. Акустические и оптические колебания.
15. Теплоемкость кристаллической решетки в модели Эйнштейна.
16. Теплоемкость кристаллической решетки по Дебаю. Спектральная плотность фононов.
17. Теплопроводность кристаллической решетки. Рассеяние фононов, N- и U-процессы.
18. Электронный упругий механизм поляризации диэлектриков. Действительная и мнимая составляющие поляризуемости, их зависимость от частоты переменного электрического поля.
19. Ионный упругий механизм поляризации диэлектриков. Спектральная зависимость поляризуемости для ионного механизма поляризации.
20. Дипольный упругий механизм поляризации диэлектриков.
21. Тепловые механизмы поляризации диэлектриков. Их зависимость от температуры и частоты электрического поля.
22. Уравнение Клазиуса-Мосотти. Границы его применимости.
23. Спектральная зависимость полной поляризуемости и диэлектрической проницаемости диэлектрика. Соотношение Лиддейна-Сакса-Теллера.
24. Диэлектрические потери в переменном электрическом поле. Тангенс угла диэлектрических потерь. Эквивалентная схема диэлектрика.
25. Сегнетоэлектрики. «Поляризационная катастрофа». Применение теории фазовых переходов Гинзбурга-Ландау для описания спонтанной поляризации.
26. Описание электронного газа в металлах в рамках модели Друде: законы Ома и Видемана-Франца.
27. Эффект Холла в рамках модели Друде.
28. Ультрафиолетовая прозрачность и скин-эффект в металлах.

## 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 членами комиссии);
- 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 сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

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

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

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

Раздел 1. Программа кандидатского минимума по специальности 01.04.07: общие вопросы физики конденсированного состояния

Силы связи в твердых телах

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.

3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

#### Симметрия твердых тел

4. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы).

Классификация решеток Браве.

#### Дефекты в твердых телах

7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

#### Дифракция в кристаллах

9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

10. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

#### Колебания решетки

11. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

#### Тепловые свойства твердых тел

12. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

13. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

14. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.

16. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

#### Электронные свойства твердых тел

17. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

18. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

19. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.



20. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
21. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
22. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

#### Магнитные свойства твердых тел

23. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
24. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
25. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
26. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
27. Спиновые волны, магноны.
28. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

#### Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

29. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
30. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
31. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).
32. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

#### Сверхпроводимость

33. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.
34. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
35. Эффект Джозефсона.
36. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### Раздел II. Профильная часть программы

#### Раздел 2 Кристаллофизика

1. Аналитическая геометрия кристаллического пространства. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Кристаллографические системы координат. Обратная решетка и их свойства. Основные формулы решетчатой кристаллографии. Кристаллографические проекции.
2. Точечная симметрия кристаллов. Точечные группы симметрии кристаллов. Сингонии. Простые формы кристаллов.
3. Решетки Бравэ. Пространственные группы симметрии кристаллических структур. Правильные системы точек пространственных групп.
4. Химические связи в кристаллах. Принцип плотнейшей упаковки. Двух- и трехслойные упаковки одинаковых шаров. Структурные типы кристаллов. Полиморфизм, изоморфизм, морфотропия. Псевдосимметрия кристаллических структур.

5. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Условия Лауэ. Формула Вульфа-Брэгга. Интерференционное уравнение и сфера отражения. Дифракционные погасания, вызванные центрированными решетками Бравэ, винтовыми осями, плоскостями скользящего отражения.
6. Рассеяние рентгеновских лучей электроном. Функция атомного рассеяния. Структурная амплитуда, структурный фактор. Влияние симметрии на вид формул структурной амплитуды. Температурный фактор. Интегральная интенсивность. Фактор Лоренца. Фактор поглощения. Первичная и вторичная экстинкция. Фактор повторяемости.
7. Метод порошка (метод Дебая). Интерпретация дифракционной картины с помощью обратной решетки. Способы получения рентгенограмм от поликристалла. Индексировка дебаеграмм в различных сингониях и определение параметров элементарной ячейки.
8. Определение симметрии и ориентации кристалла (метод Лауэ). Условие дифракции и его интерпретация с помощью обратной решетки и сферы отражения. Закономерности дифракционной картины: зональные кривые, важные узловые ряды и сетки. Симметрия лауэграмм. Определение точечной симметрии кристалла по лауэграммам.
9. Фазы и компоненты. Условия протекания кристаллизации. Условия равновесия и превращения фаз. Кристаллизация в однокомпонентной системе.
10. Гомогенное зарождение капель жидкости из пересыщенного пара. Гомогенное зарождение кристаллов. Гетерогенное зарождение кристаллов. Размножение кристаллов. Влияние внешних воздействий на скорость зародышеобразования.
11. Рост и равновесная форма кристаллов. Рост идеального кристалла путем образования двумерных зародышей.
12. Рост кристаллов из пара. Адсорбционный слой и поверхностная диффузия.

### Раздел 3 Физическое материаловедение и прикладная физика

1. Ротационные дефекты кристаллической решётки – дисклинации. Мощность дисклинации, дислокационное представление частичной клиновой дисклинации.
2. Дислокационная стенка, как дисклинационный диполь, понятие оборванной субграницы.
3. Упругие энергии дисклинации и дислокации в бесконечном кристалле. Эффект экранирования упругого поля дисклинации системой дислокаций.
4. Феноменология структурной сверхпластичности. Микромеханизмы сверхпластической деформации.
5. Строение и свойства большеугловых границ зёрен.
6. Основные закономерности фрагментации металлов при пластической деформации.
7. Рентгенографические методы исследования структуры поликристаллических материалов (металлы, сплавы, керамики). Определение дефектов поликристалла рентгеновскими методами (анализ формы дифракционных линий). Определение внутренних напряжений и размеров областей когерентного рассеяния в поликристаллах.
8. Микроскопические методы исследования вещества (оптические, просвечивающая электронная, растровая электронная, туннельная и др. микроскопии), преимущества и недостатки этих методов. Принципы формирования изображения в оптических, растровых электронных, просвечивающих электронных и туннельных микроскопах.
9. Основные методы механических испытаний материалов. Испытания на прочность. Твердость. Ползучесть. Усталость. Понятие о физико-механических и инженерных свойствах материалов.
10. Методы коррозионных испытаний. Химическая (газовая) и электрохимическая коррозия. Влияние состава и структуры материалов на их коррозионную стойкость. Коррозионно-стойкие материалы.
11. Механизмы объемной диффузии с участием точечных дефектов. Основные закономерности объемной диффузии. Закон Фика. Влияние различных факторов на

интенсивность процессов диффузии. Различия в особенностях диффузии в металлах и в керамиках.

12. Механизмы зернограницной диффузии. Основные закономерности зернограницной диффузии. Влияние различных факторов на интенсивность процессов зернограницной диффузии. Зернограницные сегрегации.
  13. Физика пластической деформации металлов и сплавов. Зависимость «напряжение - деформация». Особенности развития пластической деформации на различных участках зависимости «напряжение - деформация».
  14. Влияние параметров микроструктуры на прочность металлов и сплавов. Вклад Пайерлса-Набарро. Твердорастворное упрочнение. Дислокационное упрочнение. Дисперсное и дисперсионное упрочнение. Вклад размера зерна и состояния границ зерен в предел текучести. Соотношение Холла-Петча.
  15. Возврат и рекристаллизация. Первичная, собирательная и вторичная рекристаллизация. Движущие силы процессов рекристаллизации. Основные закономерности процессов первичной и собирательной рекристаллизации. Уравнение Зинера. Влияние возврата и рекристаллизации на механические свойства металлов.
  16. Карты механизмов деформации металлов и сплавов. Принципы построения карт механизмов деформации. Основные механизмы деформации на картах механизмов деформации. Отличия процессов деформации металлов и керамик.
  17. Карты механизмов разрушения металлов и сплавов. Принципы построения карт механизмов разрушения. Основные механизмы разрушения на картах механизмов разрушения. Связь карт механизмов разрушения с картами механизмов деформации. Отличия в механизмах разрушения металлов и керамик.
  18. Физика спекания материалов. Основные теории спекания. Карты спекания материалов. Влияние параметров микроструктуры материалов на кинетику их спекания.
  19. Методы описания и модели экспериментальных данных, сигналов и помех в системах обработки данных физического эксперимента.
  20. Байесовский подход к оцениванию параметров сигналов и моделей физических процессов.
  21. Эффект Доплера. Влияние эффекта Доплера на алгоритмы оценивания параметров сигналов, экспериментальных зависимостей и моделей физических процессов.
- 6.5 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.
1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.
  2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

### **а) основная литература:**

1. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела. – М.: ВШ, 2000; Нижний Новгород: изд. ННГУ, 1993.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686>  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=288601>
2. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978.  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>

### **б) дополнительная литература:**

1. Г.И. Епифанов. – Физика твердого тела, 4-е изд., стереотипное. – Издательство “Лань”, 2011. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/2023/#1>

2. Дж. Рейсленд. Физика фононов. – М.: Мир, 1975.  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm>
3. В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. – Физика твердого тела. – Издательство “Лань”, 2010.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/262/#1>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.
2. Журнал Успехи физических наук <http://ufn.ru/>.
3. Журнал Физика твердого тела <http://journals.ioffe.ru/ftt/>.
4. Журнал Физика и техника полупроводников <http://journals.ioffe.ru/ftp/>.

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

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

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).

Авторы:

Авторы: д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н., д.ф.-м.н. Нохрин А.В.  
Рецензент: к.ф.-м.н., зам. декана по аспирантуре Зайцева Е.В.  
Заведующий кафедрой д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н.

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