

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им.
Н.И. Лобачевского»**

Физический факультета

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«31» мая 2023 г. №6

Рабочая программа дисциплины

Физические основы прочности и пластичности

(наименование дисциплины)

Уровень высшего образования

Бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Профиль образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород - 2023

1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина «Физические основы прочности и пластичности» (Б1.В.1.ДВ.06.03) относится к дисциплинам выбора части ООП, формируемой участниками образовательных отношений.

Дисциплина преподается на четвертом году обучения, в 7-8 семестрах.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Блок 1. Дисциплины (модули). Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.1.ДВ.06.03 относится к дисциплинам выбора ООП направления подготовки 03.03.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

- раскрыть качественные и количественные закономерности, связывающие механическое поведение твёрдых тел с их кристаллической и дефектной структурой;
- научить студентов использовать научные данные для решения практических задач физики прочности и пластичности

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Способен проводить научные исследования с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-3.1 Демонстрация способности применять профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин, в научно-исследовательской деятельности, при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов	<u>Знать:</u> 31: Основные разделы физики прочности и пластичности, используемые для решения практических задач, в том числе: - теорию дислокаций и дисклинаций; - физику границ зёрен; - механизмы пластической деформации и разрушения твёрдых тел; - физические модели эволюции структуры материалов в ходе пластического деформирования и реологии пластического течения материалов; - структурные уровни деформации и разрушения твёрдых тел - механизмы зарождения микротрещин и закономерности разрушения кристаллических твёрдых тел.	Контрольные вопросы Задачи

		<p>32: Методы физических исследований, необходимые для получения новых знаний и решения задач в области физики прочности и пластичности.</p> <p>33: Основные методы (и их классификацию) физических исследований (методы структурных исследований, методы исследований физико-механических свойств), необходимые для выполнения практических заданий и лабораторных работ по дисциплине «Физические основы прочности и пластичности».</p> <p>34: Требования техники безопасности при проведении практических работ с выбранными методами физических исследований.</p> <p>35: Теорию дислокаций и дислинаций, современные представления о структуре и свойствах границ зёрен, роль дефектов в пластической деформации и разрушении твердых тел;</p> <p>36. Структурно-кинетический подход к описанию закономерностей механического поведения твёрдых тел.</p> <p>37: Требования к документам, предъявляемым в качестве отчетных за выполненные лабораторные работы (практические задания).</p> <p><u>Уметь</u></p> <p>У1: Решать практические задачи, связанные с расчетом параметров структуры кристаллических твёрдых тел, необходимых для обеспечения заданного уровня их прочностных и пластических свойств</p> <p>У2: Решать практические задачи, связанные с управлением механическими свойствами путём целенаправленного изменения структуры твёрдых тел на основании анализа результатов</p>	<p>Контрольные вопросы.</p> <p>Контрольные вопросы.</p> <p>Отчет по лабораторной работе.</p> <p>Задачи Контрольные вопросы.</p> <p>Задачи Контрольные вопросы</p> <p>Контрольные вопросы Отчет по лабораторной работе</p> <p>Задачи</p> <p>Отчет по лабораторной работе</p>
--	--	---	---

		<p>экспериментальных исследований; У3:Обосновывать выбор оптимальных условий проведения экспериментальных исследований, направленных на изучение сложных физических явлений (большие пластические деформации, структурная сверхпластичность, разрушение) в области физики прочности и пластичности. У4. Объяснить механическое поведение твердых тел различного химического и фазового состава и различным типом кристаллического строения с позиций теории дефектов; У5. Представлять математическое описание эволюции структуры и свойств твердых тел при термодинамических воздействиях; У6: Интерпретировать полученные экспериментальные результаты с использованием методов анализа экспериментальных данных и методов элементарной обработки результатов эксперимента.</p> <p><u>Владеть:</u> В1: Навыками решения задач по теории дефектов, применения методов теории дефектов, теории упругости, а также структурно-кинетического подхода к описанию пластической деформации, методов математической и теоретической физики к анализу и количественной оценке структурно-чувствительных свойств твердых тел. В2: Навыками решения задач (проведения расчетов) оптимальных параметров структуры металлических материалов для достижения необходимого комплекса</p>	<p>Отчет по лабораторной работе</p> <p>Контрольные вопросы Отчет по лабораторной работе</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Отчет по лабораторной работе</p> <p>Задачи</p> <p>Задачи</p>
--	--	--	--

111 часов составляет самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, 36 часов - мероприятия промежуточной аттестации

Очная форма обучения	
Общая трудоемкость	9 зет
Часов по учебному плану	324
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	177
- занятия лекционного типа, ч	16
- практические занятия, ч	90
- лабораторный работы, ч	68
самостоятельная работа, ч	147
КСР	3
Промежуточная аттестация	Зачет с оценкой – 7 семестр Экзамен - 8 семестр

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	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	
Тема1: Теория дислокаций.		6	40	0	46	20
Тема2: Основы теории дисклинаций.		2	10	0	12	27
Тема3: Структура и свойства границ зёрен.		6	10	28	44	64
Тема4: Физические модели пластической деформации и разрушения материалов.		2	20	40	62	36
Итого	324	16	90	68	164	147
В т.ч.текущий контроль	3		3			
Промежуточная аттестация – зачет с оценкой, экзамен (36 часов)						

Содержание разделов дисциплины.

1.Теория дислокаций

1.1. Представление о дислокациях. Исторический экскурс. Теоретическая и реальная прочность на сдвиг. Геометрия и классификация дислокаций.

1.2. Поля от дислокаций.

1.2.1. Поля деформаций и напряжений от прямолинейных дислокаций.

1.2.2. Расчет в линейной теории упругости.

1.2.3. Особенности полей напряжений для краевой и винтовой дислокаций.

1.3. Энергия дислокаций.

1.3.1. Расчет энергии прямолинейной краевой и винтовой дислокаций.

1.3.2. Упругая энергия и энергия ядра дислокаций.

1.3.3. Понятие об энергии линейного натяжения.

1.4. Силы, действующие на дислокации.

1.4.1. Силы, действующие на дислокацию во внешнем поле напряжений.

- 1.4.2. Формула Пича-Кёллера.
- 1.4.3. Примеры расчета сил, действующих на краевую и винтовую дислокации.
- 1.4.4. Силы изображения.
- 1.4.5. Силы взаимодействия между дислокациями.
- 1.4.6. Силы линейного натяжения.
- 1.4.7. Осмотические силы.
- 1.5. Влияние кристаллической структуры на свойства дислокаций. дислокации
 - 1.5.1. Модель Пайерлса-Набарро.
 - 1.5.2. Энергия несоответствия..Рельеф Пайерлса.
 - 1.5.3. Критическое напряжения страгивания дислокации в модели Пайерлса, влияние ширины ядра дислокации и типа межатомных связей на напряжение Пайерлса.
- 1.6. Тонкая структура ядра дислокации.
 - 1.6.1. Перегибы и ступеньки на дислокациях. Энергия образования единичного и двойного перегибов.Вторичный рельеф Пайерлса.
 - 1.6.2. Равновесная концентрация перегибов.
 - 1.6.3. Термоактивированное движение дислокаций в модели перегибов.
 - 1.6.4. Зависимость скорости движения дислокации от внешнего напряжения в модели прегибов.
- 1.7. Кинетические свойства дислокаций.
 - 1.7.1. Генерация дислокаций. Размножение дислокаций по механизму Франка-Рида. Критическое напряжение срабатывания источника Франка-Рида. Поперечное и двойное поперечное скольжение винтовых дислокаций. Формула Видерзихе для частоты образования источников дислокаций по механизму двойного поперечного скольжения.
 - 1.7.2. Движение дислокаций со ступеньками.Образование ступенек на дислокациях в процессе пластической деформации. Неконсервативное движение винтовой дислокации, содержащей межузельные или вакансионные ступеньки.Реакции между перегибами и ступеньками на винтовой дислокации.Термоактивированный и силовой режимы движения.
- 1.8. Неконсервативное движение краевых дислокаций.
 - 1.8.1. Понятие о переползании краевых дислокаций.
 - 1.8.2. Осмотические силы, действующие на дислокации со стороны точечных дефектов.
 - 1.8.3. Расчет скорости переползания дислокаций в полях внешних и внутренних напряжений.
 - 1.8.4. Образование геликоидальных дислокаций.
- 1.9. Частичные дислокации и дефекты упаковки.
 - 1.9.1. Дефекты упаковки и частичные дислокации в ГЦК решетке. Частичные дислокации Шокли и Франка. Понятие о тетраэдре Томпсона. Реакции между полными и /или частичными дислокациями. Критерий Франка и его применение для анализа дислокационных реакций. .Барьерные дислокации Ломерра-Коттрелла и Хирта.
 - 1.9.2. Дефекты упаковки и частичные дислокации в ОЦК решетке. Особенности расщепления винтовых дислокаций в ОЦК решетке. Особенности деформации в ОЦК кристаллах при низких температурах.
- 1.10. Пластическая деформация как результат движения дислокаций.
 - 1.10.1. Формула Орована и ее применение для описания пластической деформации.
 - 1.10.2. Факторы, влияющие на скорость и длину пробега дислокаций.
 - 1.10.3. Кинетические уравнения баланса для плотности дислокаций.
- 1.11. Взаимодействие дислокаций с примесными атомами .
 - 1.11.1 Формирование атмосферы Максвелла вблизи краевой дислокации.
 - 1.11.2 Закрепление дислокаций примесными атомами (атмосферы Коттрелла и Судзуки).
 - 1.11.3. Движение дислокаций с атмосферой примеси. Отрыв дислокаций от примесного облака и связанная с этим нестабильность пластического течения.
 - 1.11.4. Торможение дислокаций примесными атомами в ОЦК решетке по механизму Снука.

- 1.11.5. Торможение расщепленных дислокаций атмосферой Сузуки.
- 1.11.6. Движение дислокаций в кристалле с закрепленными примесными атомами.

2. Основы теории дисклинаций.

- 2.1. Понятие о дисклинациях. Кристаллогеометрические характеристики и классификация дисклинаций. Дисклинационные диполи и петли. Частичные дисклинации.
- 2.2. Поля напряжений от дисклинаций и систем дисклинаций. Упругая энергия дисклинаций. Взаимодействие между прямолинейными дисклинациями.
- 2.3. Взаимодействие дисклинаций с дислокациями.
- 2.4. Экранирование упругих полей дисклинаций системами дислокаций.
- 2.5. Силы действующие на дисклинацию со стороны свободной поверхности.
- 2.6. Дисклинации в пентагональных кристаллах.

3. Структура и свойства границ зёрен.

- 3.1. Роль внутренних границ раздела в формировании физико-механических свойств твердых тел
 - 3.1.1. Основные виды внутренних границ раздела в твердых телах.
 - 3.1.2. Исторический экскурс в развитие представлений о структуре и свойствах границ зёрен.
 - 3.1.3. Физические свойства твердых тел, обусловленные границами зёрен.
- 3.2. Методы и результаты экспериментальных исследований структуры и энергии межкристаллитных границ.
 - 3.2.1. Методы измерения энергии межкристаллитных границ. Зависимость энергии межкристаллитных границ от разориентировки кристаллов и ориентации границы.
 - 3.2.2. Энергия малоугловых, специальных, близких к специальным и обычных границ зёрен. Энергия когерентных и некогерентных межзеренных границ.
 - 3.2.3. Результаты экспериментального изучения атомной и дефектной структуры границ зёрен. Влияние температуры на ориентационную зависимость энергии межкристаллитных границ.
 - 3.2.4. Распространенность различных типов границ, спектры границ в деформированных материалах.
- 3.2. Геометрическая теория межкристаллитных границ .
 - 3.2.1. Понятие о взаимном проникновении (наложении) кристаллических решеток. Атомная структура границ в жесткой модели.
 - 3.2.2. Модели Памфри и Мотта. Нуль-решетка Боллмана, решетка совпадающих узлов и полная решетка наложений.
 - 3.2.3. Зернограничные дислокации и их свойства. Сетки вторичных дислокаций на границах близких к специальным. Вторичная нуль-решетка.
- 3.3. Кинетические свойства границ.
 - 3.3.1. Экспериментальные методы изучения диффузионных свойств границ зёрен. Диффузия по границам с упорядоченной и неупорядоченной атомной структурой. Теоретические представления о механизмах зернограничной диффузии.
 - 3.3.2. Экспериментальные методы изучения подвижности границ, движущие силы миграции, диффузионно-индуцированная миграция, деформационно-стимулированные процессы миграции и межкристаллитного проскальзывания.
 - 3.3.3. Возникновение и эволюция границ зёрен в процессе пластической деформации.
- 3.4. Взаимодействие внутренних границ раздела с дефектами решетки и примесными атомами.
 - 3.4.1. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия границ зёрен с решеточными дислокациями. Диссоциация решёточных дислокаций на зернограничные в специальных границах. Делокализация ядер дислокаций в границах зёрен обычного типа.

- 3.4.2. Эволюция дефектной структуры границ в процессе пластической деформации и отжига.
- 3.4.3. Взаимодействие границ с вакансиями и примесными атомами. Межкристаллитная внутренняя адсорбция (МВА) и методы ее изучения. Теория МВА.
- 3.4.4. Неравновесное состояние границ зерен. Аномальная диффузия в нанокристаллических материалах с сильно неравновесным состоянием границ.
- 3.4.5. Миграция и проскальзывание по неравновесным границам. Деформационно-стимулированное расщепление границ.
- 3.5. Влияние границ на структурно-чувствительные свойства материалов.
 - 3.5.1. Роль границ раздела в формировании механических свойств поликристаллов.
 - 3.5.2. Явление фрагментации и образование деформационно-индуцированных большеугловых границ. Получение наноматериалов методами интенсивной пластической деформации.
 - 3.5.3. Определяющая роль границ зёрен в явлении структурной сверхпластичности.
- 4. Физические модели пластической деформации и разрушения материалов.
 - 4.1. Механизмы пластической деформации.
 - 4.1.1. Деформация, обусловленная движением точечных дефектов. Диффузионная ползучесть.
 - 4.1.2. Деформация, обусловленная скольжением дислокаций.
 - 4.1.3. Ротационные моды пластической деформации. Фрагментация. Базовые механизмы фрагментации.
 - 4.1.4. Деформация, обусловленная взаимным смещением зёрен. Зернограничное проскальзывание в би-кристаллах и поликристаллах.
 - 4.2. Описание деформационного поведения материалов на основе представлений о микромеханизмах пластической деформации.
 - 4.2.1. Физические модели деформационного упрочнения.
 - 4.2.2. Модели деформационного разупрочнения.
 - 4.2.3. Модели, описывающие реологию пластического течения материалов при низких температурах.
 - 4.2.4. Модели низкотемпературной (логарифмической) и высокотемпературной дислокационной ползучести.
 - 4.3. Механизмы разрушения кристаллических твёрдых тел.
 - 4.3.1. Механизмы зарождения микротрещин. Дислокационная и дисклинационная трещины. Критерии зарождения и устойчивости трещин.
 - 4.3.2. Механизмы зарождения трещин на границах зёрен.
 - 4.3.2.1. Межкристаллитное разрушение при внутризёренной деформации. Модель накопления дислокаций ориентационного несоответствия, модель накопления стыковых дисклинаций. Модель гетерогенного зарождения пор.
 - 4.3.2.2. Механизмы интеркристаллитного разрушения при межзёренной деформации.
 - 4.3.2.3. Интеркристаллитное разрушение при совместном протекании внутризёренной и межзёренной деформации.
 - 4.3.2.4. Роль явления межкристаллитной внутренней адсорбции в интеркристаллитном охрупчивании.
 - 4.3.3. Механизмы роста трещин в хрупких и пластичных телах.
 - 4.3.4. Механизмы зарождения и роста пор. Диффузионный и пластический рост пор.
 - 4.3.5. Описание процессов разрушения на основе представлений о микромеханизмах зарождения и роста трещин и пор.
 - 4.3.5.1. Разрушение в условиях низких температур. Модели хрупко-вязкого перехода.
 - 4.3.5.2. Разрушение в условиях высоких температур. Модели разрушения при ползучести. Оценка долговечности.

4.3.5.3. Разрушение в условиях усталостного нагружения. Модели накопления повреждений.

4.3.5.4 .Разрушение в условиях сверхпластичности.

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме семинарских занятий, на которых проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области, с использованием средств мультимедиа. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, связанных с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий, и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе.

В лекционных занятиях используется проблемный метод изложения материала и диалогическая форма проведения лекций, элементы научной дискуссии. Вопросы по материалам лекции студенты могут задавать в момент их возникновения. Математические выводы в лекционной части студенты производят самостоятельно.

В части семинаров активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач (выполнении практических заданий) не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных	Продemonстрированы творческий подход к решению

	наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа. Лабораторная работа не выполнена	базовые навыки. Имели место грубые ошибки. Лабораторная работа не выполнена (отчет по лабораторной работе не принят).	стандартных задач с некоторыми недочетами. Отчет по лабораторной работе содержит существенные замечания.	задач с некоторыми недочетами. Отчет по лабораторной работе содержит некоторые ошибки и недочеты.	задач без ошибок и недочетов. Отчет по лабораторной работе содержит несущественные недочеты.	задач без ошибок и недочетов. Отчет по лабораторной работе не содержит ошибок и недочетов.	нестандартных задач. Отчет по лабораторной работе не содержит ошибок и недочетов.
Мотивация (личностное отношение)	Полное отсутствие учебной активности и мотивации	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность качественно решать поставленные задачи отсутствует	Учебная активность и мотивация низкие, слабо выражены, стремление решать задачи качественно	Учебная активность и мотивация проявляются на среднем уровне, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи на среднем уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на уровне выше среднего, демонстрируется готовность выполнять большинство поставленных задач на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять все поставленные задачи на высоком уровне качества	Учебная активность и мотивация проявляются на очень высоком уровне, демонстрируется готовность выполнять нестандартные дополнительные задачи на высоком уровне качества
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция не сформирована. Отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.
Уровень сформированности компетенций	Нулевой	Низкий	Ниже среднего	Средний	Выше среднего	Высокий	Очень высокий
Баллы, %	0-30	31-50	51-70	71-85	86-90	91-98	99-100

При промежуточной аттестации студентов на экзамене используется традиционная семибальная шкала оценивания (выставления оценки («Плохо», «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично», «Превосходно»)):

Оценка	Критерий выставления
Превосходно	Отличная подготовка. Студент самостоятельно решает задачу, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и

	изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление. Отчет по лабораторной работе не содержит ошибок и недочетов.
Отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на вопросы допускаются незначительные неточности. Отчет по лабораторной работе не содержит ошибок и недочетов.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями. Отчет по лабораторной работе содержит несущественные недочеты.
Хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета). Отчет по лабораторной работе содержит некоторые ошибки и недочеты.
Удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя. Отчет по лабораторной работе содержит существенные замечания.
Неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Задача не решена. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Лабораторная работа не выполнена (отчет по лабораторной работе не принят или отчет не предоставлен в срок).
Плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией. Лабораторная работа не выполнена (отчет по лабораторной работе не принят или отчет не предоставлен в срок).

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- устные ответы на вопросы (промежуточная аттестация, коллоквиум).

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений (оценка навыков) используются следующие процедуры и технологии:

- групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);
- групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении подготовленных групповых докладов-презентаций по актуальным темам дисциплины (текущий контроль).

При проверке отчета по лабораторной работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;
- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;

- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Приемка отчетов по проделанным лабораторным работам проводится на основании следующих критериев:

Оценка	Критерий выставления
Отчет по лабораторной работе принят	Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов. В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют. Отчет предоставлен в срок.
Отчет по лабораторной работе не принят	Отчет о проделанной лабораторной работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по лабораторной работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией. В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста лабораторных работ других студентов. Отчет по лабораторной работе не предоставлен в срок.

Примечание: сдача отчета по лабораторной работе является необходимым условием для получения положительной оценки на экзамене.

5.2. Типовые контрольные задания для текущего и промежуточного (итогового) контроля сформированности компетенций

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. В чем основные отличия кристаллогеометрии скольжения винтовых и краевых дислокаций.	ПК-3.1
2. Докажите, что в линейной теории упругости для групп дислокаций выполняется принцип суперпозиции полей деформаций и напряжений.	ПК-3.1
3. В чем заключается приближение линейного натяжения? Оцените вклад энергии ядра дислокаций в общую энергию.	ПК-3.1
4. В каких случаях можно ввести понятие о дефектах упаковки и частичных дислокациях. Возможны ли частичные дислокации в кристаллах с простой кубической решеткой.	ПК-3.1
5. Используя представление о тетраэдре Томпсона, укажите сколько возможно различных систем скольжения в ГЦК решетке.	ПК-3.1

6. Укажите сходства и отличия зернограницных и решеточных дислокаций.	ПК-3.1
7. Как можно описать структуру границ, близких к специальным.	ПК-3.1
8. В каких случаях осуществляется кооперативная межкуристаллитная внутренняя адсорбция, а в каких – конкурентная?	ПК-3.1
9. Укажите критерии «полезности» примеси для подавления зернограницного охрупчивания.	ПК-3.1
10. Решеточная дислокация пересекает субграницу под произвольным углом, приводя к появлению системы ступенек на дислокациях. Что можно сказать об упругих напряжениях от такой границы?	ПК-3.1

5.2.2 Типовые задачи для оценки компетенции ПК-1

1. Написать все возможные реакции между дислокациями $(a/2)\langle 111 \rangle$ в ОЦК решётке. Отобрать из них энергетически выгодные.
2. Найти радиус ядра винтовой дислокации, полагая, что линейная теория упругости перестаёт работать при величине упругой деформации 5%.
3. Покажите, что поле напряжений от двухосного диполя клиновых дисклиний мощности ω на расстояниях гораздо больших чем плечо диполя l асимптотически стремится к полю напряжений от краевой дислокации с вектором Бюргерса $\mathbf{V} = l \times \omega$, расположенной в центре диполя.
4. Пусть однородно распределённые в кристалле положительные и отрицательные прямолинейные краевые дислокации с вектором Бюргерса $\vec{b} = b \vec{i}$, ориентированные вдоль оси z , движутся в системе плоскостей скольжения $\{xz\}$ в поле внешних напряжений σ_{xy} . Полагая, что плотности положительных и отрицательных одинаковы и равны $\rho = 10^8 \text{ см}^{-2}$, найти средний пробег дислокаций до их аннигиляции. Эффективное сечение аннигиляции принять за $5b$.
5. Покажите, что поле напряжений от двухосного диполя клиновых дисклиний мощности ω на расстояниях гораздо больших чем плечо диполя l асимптотически стремится к полю напряжений от краевой дислокации с вектором Бюргерса $\mathbf{V} = l \times \omega$, расположенной в центре диполя.

5.2.3 Типовые задачи для оценки компетенции ПК-2

Задача 1. Дана краевая дислокация с вектором Бюргерса b , лежащим в плоскости (x,y) и составляющим с осью x угол α . Линия дислокации расположена вдоль оси z .

Найдите выражение для силы, действующей на дислокацию в поле упругих напряжений с компонентами σ_{xx} , σ_{xy} , и σ_{xz} .

Задача 2. Пусть имеются две прямолинейные краевые дислокации разного знака, расположенные в плоскости скольжения $y=0$ на расстояниях $x_1=l$ и $x_2=2l$ от поверхности кристалла.

Рассчитайте силы, действующие на дислокации. Будет ли дислокация, ближайшая к поверхности кристалла, двигаться к поверхности или от неё?

Задача 5. При скольжении дислокаций на них устанавливается линейная плотность ступенек, генерирующих вакансии $1/l = \sqrt{\rho}$ (где ρ – плотность дислокаций). Работа генерации вакансий ступеньками равносильна дополнительному сопротивлению скольжению σ^* .

Найти величину σ^ и сравнить его со средним упругим полем от дислокаций ($\langle \sigma \rangle = \alpha G b \sqrt{\rho}$)*

Задача 8. В кристалле с ГЦК решёткой имеется винтовая дислокация с вектором Бюргерса $b = a/2[011]$. Запишите реакцию расщепления этой дислокации в плоскости скольжения (111)

на частичные дислокации Шокли. Рассчитайте силы, действующие на частичные дислокации и ширину дефекта упаковки (значения упругих констант и энергии дефекта упаковки считать известными).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч.1. Дефекты решетки. – М. Металлургия, 1982. 280 с.
2. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. М. Металлургия, 1990. 336 с.
3. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. – М. Атомиздат, 1972. 336 с.
4. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов кристалла. М. Высшая школа, 1983. 150 с. [доступно через электронную библиотеку Исследовательской школы «Наноматериалы и нанотехнологии» ННГУ: http://www.nanotech.unn.ru/sites/default/files/a.n._orlov_vvedenie_v_teoriyu_defektov.djvu]
5. Владимиров В.И., Романов А.Е. Дислокации в кристаллах. - Л. Наука, 1986. – 183 с.
6. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Структура и свойства границ зёрен: Учебное пособие.- Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2012.-307 с.
7. Сарафанов Г.Ф. Дислокации в кристаллах и эффекты экранирования их упругого поля. Учебное пособие. Изд-во ННГУ, 2013.-122 с.
8. Полухин П.И., Горелик С.С., Ворощев В.К. Физические основы пластической деформации. – М. Металлургия, 1982. – 584 с.
9. Перевезенцев В.Н., Щуров А.Ф. Физическое материаловедение в задачах и упражнениях. Учебное пособие. Изд-во ННГУ, 2000, 101 с.
10. Владимиров В.И. Физические основы разрушения твердых тел. - М.: Металлургия, 1986. 365 с.
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. / Том 1. Атомное строение металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1987. 638 с. [8 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. 2: Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми физическими свойствами. – М.: Металлургия, 1987. 621 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
13. 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].
14. Орлов А.Н., Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. М. Металлургия, 1980. 154 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
15. Перевезенцев В.Н., Сарафанов Г.Ф. Фрагментация при пластической деформации металлов. Учебное пособие – Н.Новгород, ННГУ, 2007, 127 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
16. Пуарье Ж.П. Высокотемпературная пластичность кристаллических тел – М.: Металлургия, 1982, 272 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
17. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1986. 345 с.

б) дополнительная литература

1. Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Основы кинетической теории формирования разориентированных структур при пластической деформации металлов. Нижний Новгород: Изд-во "Литера", 2011. 368с.
2. Пуарье Ж.П. Ползучесть кристаллов. - М.: Мир, 1989. 345 с.
3. Кайбышев В.А., Валиев Р.З. Границы зерен в металлах. - М.: Металлургия, 1987. 214 с.

4. Нотт Дж.Ф. Основы механики разрушения. - М.: Металлургия, 1978. 256 с.
5. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел. - М.: Металлургия, 1971. 264 с.
6. Херберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. - М.: Металлургия, 1989. 576 с
7. Лахтин Ю.М. Основы материаловедения. Учебник – М.: Инфа-М, 2013, 272 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «Znanium.com»: <http://znanium.com/bookread2.php?book=363145>]. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
8. Федотов А.К. Физическое материаловедение. В 3 частях. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах – Минск: Высшая школа, 2012, 449 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «Znanium.com»: <http://znanium.com/bookread2.php?book=508082> или через электронно-библиотечную систему «ЛАНЬ»: https://e.lanbook.com/book/65429?category_pk=925#book_name].
9. Бокштейн Б.С. Структура и свойства внутренних поверхностей раздела в металлах – М.: Наука, 1988, 270 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
10. Фрост Г. Дж., Эшби М.Ф. Карты механизмов деформации. Челябинск: Металлургия, 1989. – 328 с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
11. Шепелевич В.Г. Физика металлов и материаловедение. Лабораторный практикум – Минск: Высшая школа, 2012, 169 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «Znanium.com»: <http://znanium.com/bookread2.php?book=508814>].
12. Адашкин А.М., Седов Ю.Е., Онегина А.К., Климов В.Н. Материаловедение в машиностроении. В 2 частях. Часть 1. Учебник для академического бакалавриата – М.: Издательство Юрайт, 2017. 258 с. доступно через электронную библиотеку «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/book/D25736F8-D240-4438-A933-DB8B6C502004>].
13. Адашкин А.М., Седов Ю.Е., Онегина А.К., Климов В.Н. Материаловедение в машиностроении. В 2 частях. Часть 2. Учебник для академического бакалавриата – М.: Издательство Юрайт, 2017. 258 с. [доступно через электронную библиотеку «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/book/BCDD265E-CB43-45A9-B980-FADB91F1D83C>].
14. Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 1: учебник для академического бакалавриата / Г. П. Фетисов [и др.]; отв. ред. Г. П. Фетисов. - М. : Издательство Юрайт, 2017. 385 с. [доступно через электронную библиотеку «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/viewer/B7535AE0-7A04-4F47-B1CB-E80D5F960EA0#page/2>].
15. Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Часть 2: учебник для академического бакалавриата / Г. П. Фетисов [и др.]; отв. ред. Г. П. Фетисов. - М. : Издательство Юрайт, 2017. 389 с. [доступно через электронную библиотеку «Юрайт»: <https://biblio-online.ru/book/FD76D572-7258-4816-86FD-678C24AC480B>].
16. Диденко И.С., Козлова Н.С., Кугаенко О.М., Петраков В.С. Физика реального кристалла. Лабораторный практикум. – М.: НИТУ «МИСИС», 2013, 76 с. [доступно авторизованным пользователям через электронно-библиотечную систему «ЛАНЬ»: https://e.lanbook.com/book/51699?category_pk=925#book_name].
17. Эшби М.Ф., Джонс Д.Р.Х. Конструкционные материалы – Долгопрудный: Интеллект, 2010, 672 с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
18. Розенберг В.М. Ползучесть металлов – М.: Металлургия, 1967, 276 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
19. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов – М.: Металлургия, 1984, 280 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
20. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов – М.: Металлургия, 1975, 454 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
21. Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы зерен. – М.: Мир, 1975, [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

22. 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]. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <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.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

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.

Для выполнения лабораторных работ со стороны НИФТИ ННГУ предоставляется доступ к оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

- воздушные муфельные печи типа «СНОЛ»;
- лабораторный прокатный стан;
- интерференционные металлографические микроскопы Leica DM IRM для исследования макроструктуры сплавов.
- растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6490 с энергодисперсионным микроанализатором INCA 350.
- испытательная машина Tinius Olsen H25K-S, оборудованная системой для проведения испытаний на растяжение, сжатие, изгиб, малоцикловую усталость и ползучесть.
- автоматизированный микротвердомер VHS-100;
- прибор для измерения электропроводности «SIGMATEST 2.069» вихретоковым методом.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ООП ВО по направлению 03.03.02 - Физика, профиля «Физика конденсированного состояния».

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

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

Рецензент: зам. декана физического факультета Белова О.В.

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета
ННГУ от «20» мая 2022 года, протокол № б/н

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /