

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

Решением ученого совета ННГУ

протокол от

«30» ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины

Методы физической акустики в физическом материаловедении

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки

03.04.02 - Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород - 2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Методы физической акустики в физическом материаловедении» (ФТД.12) относится к факультативным дисциплинам ООП. Дисциплина является дисциплиной выбора и изучается на 2 курсе магистратуры, в 3 семестре.

| Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Характеристика дисциплины |
|--|---|
| ФТД. Факультативные дисциплины | Дисциплина ФТД.12 относится к факультативным дисциплинам ООП направления подготовки 03.04.02 Физика |

Целями освоения дисциплины являются:

- ознакомление студентов с современными акустическими методами неразрушающего контроля конструкционных материалов;
- ознакомление студентов с современными акустическими методами исследования структуры и свойств конструкционных материалов;
- освоение студентами экспериментальных методов исследования упругих и неупругих свойств материалов.

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, в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства |
|---|--|--|---|
| | Индикатор достижения компетенции | Результаты обучения по дисциплине | |
| ПК-3. Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности | ПК-3.1 Знание основных законов физики | <u>Знать:</u> 31: Знать основные методы акустического неразрушающего контроля материалов. 32: Знать причины, вызывающие неупругость и внутреннее трение в материалах. 33: Требования техники безопасности при работе с аппаратурой для проведения акустических исследований (обратный крутильный маятник, акустическая резонансная установка). 34: Знать физическую природу релаксационных процессов, анализируемых с использованием методов внутреннего трения и особенности их изучения с использованием различных методов внутреннего трения. | Собеседование Собеседование Отчет по лабораторной работе Собеседование |
| | ПК-3.2 Умение решать научно-инновационные задачи в своей | У1: Уметь применять теоретические знания в области физики и механики твердого тела, физического | Отчет по лабораторной работе |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | инновационной и проектной деятельности | материаловедения для решения экспериментальных задач в профессиональной деятельности (проведение экспериментальных исследований с использованием методов акустики). У2: Уметь объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в данном учебном курсе, объяснить связь между явлениями, представить математическое описание явлений, обнаруженных при проведении лабораторных работ. | Собеседование |
| | ПК-3.3 Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности | В1: Владеть экспериментальными методами изучения неупругости и внутреннего трения конструкционных материалов. В2: Владеть навыками анализа результатов исследований неупругости и внутреннего трения. В3: Владеть методами неупругости и внутреннего трения для решения научно-исследовательских задач | Отчет по лабораторной работе Отчет по лабораторной работе Отчет по лабораторной работе |

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 64 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 48 часа лабораторные работы, 1 час на контроль самостоятельной работы), 43 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

| Очная форма обучения | |
|---|--------|
| Общая трудоемкость | 3 з.е. |
| Часов по учебному плану в том числе | 108 |
| аудиторные занятия (контактная работа): | 64 |
| - занятия лекционного типа, ч | 16 |
| - практические занятия, ч | 48 |
| самостоятельная работа, ч | 43 |
| КСРИФ | 1 |
| Промежуточная аттестация | Зачет |

Содержание дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины | 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 | Консультации | Всего | |
| Тема 1: Введение. Упругие колебания. Распространение волн в твердом теле | 8 | 2 | | 0 | | 2 | 6 |
| Тема 2: Акустические методы неразрушающего контроля | 18 | 4 | | 10 | | 14 | 4 |
| Тема 3: Элементы теории неупругих явлений в металлах и сплавах. Релаксационные процессы. Наложение и взаимодействие релаксаций | 20 | 2 | | 10 | | 12 | 8 |
| Тема 4: Внутреннее трение, связанное с диффузией под механическим напряжением растворенных атомов | 6 | 2 | | 0 | | 2 | 4 |
| Тема 5: Дислокационное внутреннее трение | 24 | 4 | | 14 | | 18 | 6 |
| Тема 6: Релаксация по границам зерен | 16 | 2 | | 10 | | 12 | 4 |
| Тема 7: Применение методов ВТ в исследовательской практике. Определение энергии активации диффузии атомов углерода в решетке альфа-железа | 16 | 2 | | 10 | | 12 | 4 |
| В том числе текущий контроль успеваемости – 1 час | | | | | | | |
| Промежуточный контроль успеваемости – Зачет | | | | | | | |

Основные темы дисциплины:

1. Упругие колебания. Распространение волн в твердом теле. Продольные и поперечные волны. Поверхностные волны (волны Релея). Скорость распространения продольных и поперечных волн. Фазовая, групповая скорости. Затухание ультразвуковых волн. Коэффициент затухания, коэффициент поглощения и коэффициент рассеяния. Отражение волн на границе раздела двух сред. Коэффициент отражения и коэффициент преломления. Падение плоской волны под углом к поверхности раздела двух сред. Трансформация типов волн. Источники и приемники акустических волн. Электроакустические преобразователи. Аппаратура для неразрушающего контроля.
2. Классификация акустических методов неразрушающего контроля. Активные методы. Пассивные методы. Метод бегущих волн и метод колебаний. Методы отражения и методы прохождения волн. Теневой метод, временной теневой, зеркально-теневой, велосиметрический, эхо-метод, зеркальный эхо-метод. Импедансный метод. Акустико-эмиссионный метод. Контроль физико-механических свойств материалов акустическими методами. Контроль упругих свойств. Акустическая тензометрия. Контроль состава и плотности материалов. Контроль размеров зерна и включений в металлах. Определение упругих и неупругих характеристик материалов методом колебаний. Свободные, вынужденные колебания, автоколебания. Связь характеристик колебаний стержня (частота, декремент колебаний) с его упругими и неупругими характеристиками. Применение метода колебаний в исследовательской практике.
3. Элементы теории неупругих явлений в металлах и сплавах. Модель Максвелла Модель Фогта. Релаксационные процессы. Наложение и взаимодействие релаксаций. Модель

стандартного линейного тела. Релаксированный и нерелаксированный модули упругости. Динамический модуль упругости. Зависимость модуля упругости и ВТ от частоты и температуры.

4. ВТ, связанное с диффузией под механическим напряжением растворенных атомов. Релаксация Снука. Ориентационная зависимость, концентрационная зависимость, влияние размеров зерна, легирующих элементов. Водородная релаксация Снука в О.Ц.К. металлах. Релаксация Зинера.
5. Дислокационное внутреннее трение. Модель Гранато-Люкке. Уравнение движения дислокаций и его решение. Влияние амплитуды деформации на ВТ. Амплитудно-зависимое внутреннее трение (АЗВТ). Влияние теплового движения на дислокационное ВТ. Модель перегибов.
6. Релаксация по границам зерен. Релаксационное зернограничное внутреннее трение. Температурный фон внутреннего трения.
7. Применение методов ВТ в исследовательской практике. Определение энергии активации диффузии атомов углерода в решетке альфа-железа.

Темы лабораторных работ:

1. Изучение механических свойств пористого керамического материала ультразвуковыми методами.
2. Определение упругих и неупругих характеристик материалов на акустической резонансной установке.
3. Определение коэффициента диффузии атомов углерода в решетке альфа-железа.
4. Определение динамического модуля сдвига и величины внутреннего трения в металлах.

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала, диалогическая форма проведения лекций, ретроспективное изложение материала по мере развития теории спекания. Лекции проводятся с использованием средств мультимедиа.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий.

В преподавании дисциплины активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и прийти к единому мнению.

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.6 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ, анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, а также подготовка к ответам на вопросы (практические задания), заданные преподавателем для самостоятельного разбора.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1 Описание шкал оценивания

| Индикаторы компетенции | ОЦЕНКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ | | | | | | |
|--|--|---|---|---|---|---|---|
| | Плохо | Неудовлетворительно | Удовлетворительно | Хорошо | Очень хорошо | Отлично | Превосходно |
| | Незачтено | | Зачтено | | | | |
| Полнота знаний | 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. |
| Наличие умений | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| Наличие навыков (владение опытом) | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |
| Мотивация (личностное отношение) | Полное отсутствие учебной активности и мотивации | Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют | 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 дополнительные задачи на высоком уровне качества |
| Характеристика сформированности компетенции | Компетенция в 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 |
|--------------------------------------|---------|--------|---------------|---------|---------------|---------|---------------|

При промежуточной аттестации студентов на зачете с оценкой используется традиционная семибальная шкала оценивания (выставления оценки («Плохо», «Неудовлетворительно», «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично», «Превосходно»)), общие критерии выставления оценок по которой определены приказом ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г.

| 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. |
| 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. |
| Очень хорошо | Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями. |
| 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). |
| Удовлетворительно | Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя. |
| Неудовлетворительно | Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Задача не решена. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. |
| Плохо | Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией. |

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).

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

| Результат | Критерий выставления |
|--|--|
| Прием отчета о проделанной лабораторной работе | Отчет о проделанной лабораторной работе содержит ряд некритических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. |

| | |
|---|---|
| | <p>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.</p> <p>В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.</p> |
| Отклонение отчета о проделанной лабораторной работе | <p>Отчет о проделанной лабораторной работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе.</p> <p>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.</p> <p>В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста лабораторных работ других студентов.</p> |

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

- тестирование (текущий контроль);
- индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- письменные ответы на вопросы (промежуточная аттестация).

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

- простые практические контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация);
- отчеты по лабораторным работам (текущий контроль);
- индивидуальная или групповая дискуссия с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль);

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

- отчеты по лабораторным работам (текущий контроль);
- контрольные задания (задачи) (текущий контроль, промежуточная аттестация).

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Типовые вопросы к экзамену

1. Нормальное падение ультразвуковой волны на границу раздела двух сред. Коэффициент прохождения и коэффициент отражения. Падение ультразвуковой плоской волны под углом к границе раздела двух сред. Закон Снелиуса. Критические углы.
2. Модель Гранато-Люкке. Вывод возмущенного волнового уравнения. Частотная зависимость дефекта модуля и коэффициента затухания в условиях большого затухания. Влияние амплитуды деформации на величину внутреннего трения в модели Гранато-Люкке. Катастрофический характер отрыва дислокаций.
3. Распространение продольной волны в твердом теле. Распространение волны сдвига в твердом теле. Фазовая скорость, групповая скорость, связь скорости с упругими характеристиками материала.

4. Зернограницное внутреннее трение ЗГВТ (особенности, примеры, схемы). Модель ЗГВТ. Зависимость величины ЗГВТ от частоты колебаний, величины зерна и др. параметров. Выражение для температуры максимума ЗГВТ.
5. Коэффициент затухания ультразвуковых колебаний. Коэффициент поглощения и коэффициент рассеяния. Связь коэффициента поглощения с величиной внутреннего трения в материале. Частотная зависимость коэффициента рассеяния. Зависимость коэффициента рассеяния от величины неоднородностей.
6. Релаксационное внутреннее трение. Динамический модуль упругости и тангенс угла механических потерь. Частотная зависимость этих величин.
7. Акустико-эмиссионный метод контроля: параметры акустической эмиссии.
8. Акустико-эмиссионный метод контроля: изменение параметров акустической эмиссии в сопоставлении с диаграммой напряжение-деформация для железа.
9. Акустико-эмиссионный метод контроля: источники акустической эмиссии в твердом теле.
10. Дифференциальное уравнение стандартного линейного тела. Физический смысл коэффициентов M_p , τ_σ , τ_ϵ . Релаксированный и нерелаксированный модули. Дефект модуля.
11. Методика получения корреляционных соотношений скорость распространения ультразвука - прочность.
12. Модельный метод изучения кинетики деформации твердого тела. Модель Максвелла (вывод дифференциального уравнения, его решение при $\epsilon = \text{const}$).
13. Внутреннее трение, обусловленное диффузией атомов: релаксация Зинера.
14. Релаксация Снука. Ориентационная зависимость величины внутреннего трения (ВТ). Зависимость ВТ от концентрации атомов внедрения, влияние размеров зерна и легирующих элементов на величину ВТ.
15. Дислокационное внутреннее трение. Модель перегибов. Вывод основных соотношений.
16. Внутреннее трение в нано- и микрокристаллических материалах (основные особенности, феноменология, экспериментальные зависимости).
17. Влияние температуры на величину дислокационного внутреннего трения. Модель Теутоунико термомеханического отрыва дислокаций.
18. Амплитудная зависимость величины внутреннего трения в металлах. Определения, примеры, схемы.
19. Модельный метод изучения кинетики деформации твердого тела. Модель Кельвина-Фогта (вывод дифференциального уравнения, его решение при $\sigma = \text{const}$).
20. Дислокационное внутреннее трение. Основные особенности, феноменология, экспериментальные зависимости.

5.2.2 Типовые задачи

Задача 1.

В рамках модели дислокационного внутреннего трения (модели перегибов) оценить энергию взаимодействия примеси с дислокацией в меди, если экспериментально получена температурная зависимость ДВТ (см. рис. 1) и известны следующие параметры:

- объемная плотность решеточных дислокаций $= 10^{15} \text{ 1/м}^2$;
- вектор Бюргерса $b = 0,256 \text{ нм}$;
- средняя высота дислокационных перегибов $= 10 \cdot b$;
- температура плавления меди $= 1356 \text{ К}$;
- постоянная Больцмана $= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$;
- универсальная газовая постоянная $= 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$;
- постоянная Ридберга $= 10973731,534 \text{ м}^{-1}$;
- все остальные постоянные величины в соотношениях принять $= 1$.

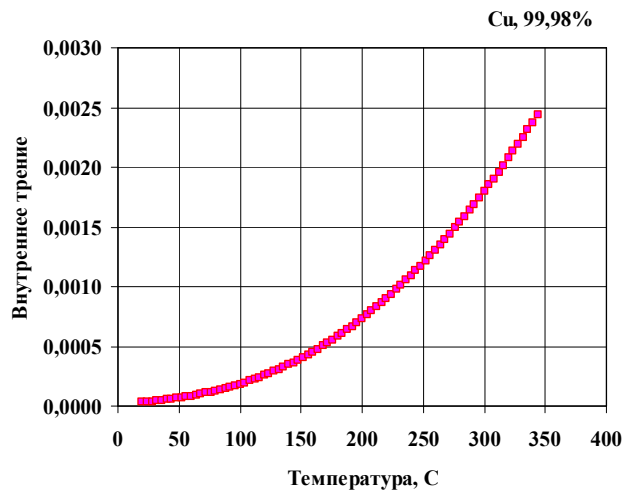


Рис. 1. Температурная зависимость величины ДВТ для меди.

Задача 2.

В рамках модели зернограничного внутреннего трения вычислить энергию активации зернограничной диффузии в меди, если экспериментально получена температурная зависимость ЗГВТ (см. рис. 2) и известны следующие параметры:

- вектор Бюргерса $b=0,256$ нм;
- толщина границы зерна $=2*b$
- размер зерна $=20$ мкм;
- объем атома $=1,68*10^{-29}$ м³;
- предэкспоненциальный множитель для коэффициента зернограничной диффузии $=10^{-5}$ м²/с;
- модуль сдвига $=40$ ГПа (принять постоянным в рассматриваемом интервале температур);
- температура плавления меди $=1356$ К;
- внешнее сдвиговое напряжение $=4$ кПа;
- частота колебаний 3 Гц;
- постоянная Больцмана $=1,38*10^{-23}$ Дж/К;
- универсальная газовая постоянная $=8,31$ Дж/(моль*К);
- все остальные постоянные величины в соотношениях принять $=1$.

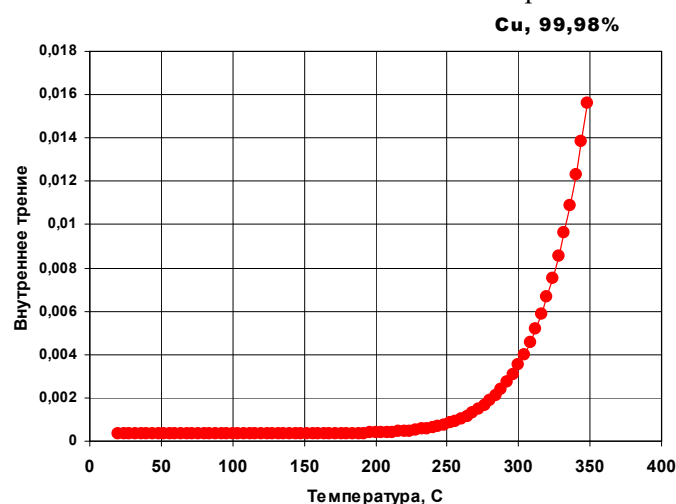


Рис. 2. Температурная зависимость величины ЗГВТ для меди.

Задача 3. Найти энергию активации релаксационного процесса, если при частоте колебаний 1 Гц максимум внутреннего трения проявляется при температуре 50°C , а при частоте 10 Гц – при температуре 100°C ?

Задача 4. Вычислить энергию активации диффузионного процесса, если пик Снука при 1 Гц наблюдается при 40°C, а при 2,7 Гц - при 52°C.

Задача 5. При частоте колебаний крутильного маятника 1 Гц пик внутреннего трения Снука проявляется при температуре 40°C. При какой температуре проявится пик Снука, если опыт провести при частоте колебаний, равной 2 Гц? Энергия активации равна 20 ккал/моль.

Задача 6. Найти коэффициент Пуассона в стали по результатам измерения скорости распространения продольной и поперечной ультразвуковых волн: $C_L=5740$ м/с, $C_S=3092$ м/с, плотность стали $\rho=7,8$ кг/дм³.

Задача 7. Продольная плоская акустическая волна падает из материала с акустическим сопротивлением R_1 в материал с акустическим сопротивлением R_2 нормально к его поверхности. Материал с каким акустическим сопротивлением нужно использовать на границе материал 1 – материал 2, чтобы акустическая волна в материале 2 была максимальной?

Задача 8. Продольная плоская акустическая волна падает под углом к границе раздела двух сред: полистирола и стали. Найти величину критического угла (углов). Скорости распространения ультразвука в полистироле: продольной - 2350 м/с, поперечной - 1120 м/с; в стали: продольной - 5740 м/с, поперечной - 3092 м/с.

Задача 9. Определить, при какой температуре при частоте 2,7 Гц наблюдается углеродный пик Снука в альфа-железе, если при частоте 1 Гц пик наблюдается при 40°C, а величина энергии активации процесса составляет 75 кДж/моль.

Задача 10. Продольная плоская акустическая волна падает под углом к границе раздела двух сред: воды и полистирола. Найти величину критического угла (углов). Скорость распространения ультразвука в полистироле: $C_L=2350$ м/с, $C_S=1120$ м/с, в воде $C_L=1490$ м/с.

Задача 11. Рассчитать величины модуля нормальной упругости, модуля сдвига и коэффициент Пуассона для материала, в котором скорость распространения продольной волны 6260 м/с, а поперечной – 3060 м/с. Плотность материала 2700 кг/м³.

Задача 12. Поперечная акустическая волна с вертикальной поляризацией падает под углом к границе раздела двух сред: полистирола и стали. Найти величину критического угла (углов). Скорости распространения ультразвука в полистироле: продольной - 2350 м/с, поперечной - 1120 м/с; в стали: продольной - 5740 м/с, поперечной - 3092 м/с.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Сысоев А.Н., Грязнов М.Ю., Чувильдеев В.Н. Определение коэффициента диффузии атомов углерода в решетке α -Fe. в кн. Физика твердого тела. Лаб. практ. Н.Новгород, 2000, с. 3-26. [12 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Сысоев А.Н., Чувильдеев В.Н. Определение динамического модуля сдвига и величины внутреннего трения в металлах. в кн. Физика твердого тела. Лаб. практ. Часть 1, Н.Новгород, 2000, с. 27-37. [12 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практическое пособие/ Ермолов И.Н. и др. – М.: Высш. шк., 1991. 283 с. [5 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. - М.: Мир. 1972. 308 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Криштал М.А., Головин С.А. Внутреннее трение и структура металлов. М.: Metallurgia, 1976. 376 с. [5 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Структура и механические свойства металлов. – М.: Metallurgia, 1979. 472с. [5 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].

б) дополнительная литература:

1. Внутреннее трение и тонкое строение металлов и неорганических материалов. Сб. статей – М.: Наука, 1985, 267 с. [2 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].

2. Внутреннее трение в металлических материалах. Сб. статей – М.: Наука, 1970, 207 с. [2 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Постников В.С. Внутреннее трение в металлах – М.: Metallurgy, 1969, 330 с. [2 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Грязнов М.Ю. Экспериментальное и теоретическое исследование внутреннего трения в микрокристаллических металлах. Автореферат дисс. к.ф.-м.н. – Н.Новгород: ННГУ, 1999, 19 с. [4 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Блантер М.С., Пигузов Ю.В. и др. Метод внутреннего трения в металловедческих исследованиях: Справ. Издание. М.: Metallurgy, 1991. 248 с. [2 экз. в Фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. 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>].
7. Павлов П.Ф., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела – М.: Высшая школа, 2000, 494 с. [35 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
8. 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.: Metallurgy, 1987. 638 с. [8 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
9. 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.: Metallurgy, 1987. 621 с. [6 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
10. Трушин Ю.В. Физическое материаловедение – СПб.: Наука, 2000, 286 с. [32 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
11. Бокштейн Б.С. Атомы блуждают по кристаллу – М.: Наука, 1984, 207 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
12. Бокштейн Б.С. Диффузия в металлах. Учебное пособие – М.: Metallurgy, 1978, 248 с. [4 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://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <http://onlinelibrary.wiley.com> - сайт американского издательства «Wiley», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой 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://new.pm-i-fp.ru> сайт электронной библиотеки МИСиС
7. <https://books.google.ru> сайт международной электронной библиотеки

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 предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

– Установка «Обратный крутильный маятник».

- Акустическая резонансная установка.
- Воздушные печи типа SNOL для термической обработки.
- Металлографический микроскоп НЕОФОТ-32 для исследования структуры.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 – Физика и с учетом рекомендаций ООП направленности «Физика конденсированного состояния».

Авторы д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н., ведущий инженер Сысоев А.Н.

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

Рецензент: зам. декана по учебной работе Белова О.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от «17» ноября 2022 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /