

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:46

Уникальный идентификатор:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований

Закреплена за подразделением

Кафедра физического материаловедения

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 10

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

74

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 10 (5.2) | | Итого | |
|---|----------|-----|-------|-----|
| | Неделя | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Практические | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Итого ауд. | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Контактная работа | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Сам. работа | 74 | 74 | 74 | 74 |
| Итого | 108 | 108 | 108 | 108 |

Программу составил(и):

к.ф.-м.н., зав.каф., Савченко А.Г.

Рабочая программа

Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра физического материаловедения

Протокол от 29.06.2023 г., №11-06

Руководитель подразделения Савченко Александр Григорьевич, к.ф.-м.н., ст.н.с.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

| | |
|-----|--|
| 1.1 | Сформировать компетенции в соответствии с учебным планом, а также теоретические представления о ядерно-спектроскопических и синхротронных методах исследований как физических явлениях, а также представления о современных методах анализа материалов, с использованием синхротронного излучения, нейтронографии и мёссбауэровской спектроскопии; ознакомить с современными ядерно-спектроскопическими и синхротронными технологиями. |
| 1.2 | Задачи: |
| 1.3 | 1. Сформировать минимум физических и системно-теоретических знаний, позволяющих понимать физическую природу, механизмы и закономерности ядерно-спектроскопических и синхротронных методов исследований материалов (синхротронного излучения, нейтронографии и мёссбауэровской спектроскопии) и физических основ их применения. |
| 1.4 | 2. Сформировать знания об устройствах и характеристиках оборудования для синхротронных, нейтронографических и мёссбауэровских исследований. |

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.34 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Аморфные, микро- и нанокристаллические материалы | |
| 2.1.2 | Биофизика | |
| 2.1.3 | Высокотемпературные и сверхтвердые функциональные и конструкционные материалы | |
| 2.1.4 | Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве | |
| 2.1.5 | Материаловедение и технологии перспективных материалов | |
| 2.1.6 | Методы исследования характеристик и свойств материалов | |
| 2.1.7 | Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники | |
| 2.1.8 | Метрология и испытания функциональных материалов | |
| 2.1.9 | Основы научно-технического перевода | |
| 2.1.10 | Практика научно-технического перевода и редактирования | |
| 2.1.11 | Тензорные методы в кристаллофизике | |
| 2.1.12 | Технология получения кристаллов | |
| 2.1.13 | Физические основы магнетизма и процессы перемангничивания материалов | |
| 2.1.14 | Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований | |
| 2.1.15 | Функциональные наноматериалы | |
| 2.1.16 | Химия и технология полимерных материалов | |
| 2.1.17 | Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ | |
| 2.1.18 | Композиционные материалы | |
| 2.1.19 | Конструирование композиционных материалов | |
| 2.1.20 | Методы исследования структур и материалов. Часть 2 | |
| 2.1.21 | Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия | |
| 2.1.22 | Специальные сплавы | |
| 2.1.23 | Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы | |
| 2.1.24 | Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы | |
| 2.1.25 | Атомное строение фаз | |
| 2.1.26 | Биохимия наноматериалов | |
| 2.1.27 | Инженерия поверхности | |
| 2.1.28 | Металловедение и термическая обработка металлов | |
| 2.1.29 | Методы исследования структур и материалов. Часть 1 | |
| 2.1.30 | Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур | |
| 2.1.31 | Наноматериалы | |
| 2.1.32 | Сверхтвердые материалы | |
| 2.1.33 | Технологии материалов с особыми физическими свойствами | |
| 2.1.34 | Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур | |
| 2.1.35 | Физика магнитных явлений | |
| 2.1.36 | Физика полупроводниковых приборов | |
| 2.1.37 | Физика прочности | |

| | |
|------------|---|
| 2.1.38 | Физика прочности и механические свойства материалов |
| 2.1.39 | Физико-химия металлов и неметаллических материалов |
| 2.1.40 | Физические основы деформации и разрушения |
| 2.1.41 | Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы |
| 2.1.42 | Материаловедение |
| 2.1.43 | Материаловедение полупроводников и диэлектриков |
| 2.1.44 | Металловедение инновационных материалов |
| 2.1.45 | Методы исследования материалов |
| 2.1.46 | Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии |
| 2.1.47 | Метрология и технические измерения функциональных материалов |
| 2.1.48 | Метрология, стандартизация и технические измерения |
| 2.1.49 | Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике |
| 2.1.50 | Основы материаловедения и методов исследования материалов |
| 2.1.51 | Разработка новых материалов |
| 2.1.52 | Фазовые равновесия и дефекты структуры |
| 2.1.53 | Физика диэлектриков |
| 2.1.54 | Физика полупроводников |
| 2.1.55 | Введение в квантовую теорию твердого тела |
| 2.1.56 | Дефекты кристаллической решетки |
| 2.1.57 | Компьютеризация эксперимента |
| 2.1.58 | Материалы альтернативной энергетики |
| 2.1.59 | Материалы наукоемких технологий |
| 2.1.60 | Основы дизайна металлических материалов |
| 2.1.61 | Планирование и организация научно-исследовательской работы |
| 2.1.62 | Планирование научного эксперимента |
| 2.1.63 | Современные проблемы материаловедения |
| 2.1.64 | Теория поверхностных явлений |
| 2.1.65 | Теория симметрии |
| 2.1.66 | Электроника |
| 2.1.67 | Кристаллография |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: |
| 2.2.1 | Аттестация и испытания высокотемпературных и сверхтвердых материалов |
| 2.2.2 | Аттестация и сертификация изделий электронной техники |
| 2.2.3 | Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве функциональных материалов |
| 2.2.4 | Материаловедение и технологии перспективных материалов |
| 2.2.5 | Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики |
| 2.2.6 | Менеджмент качества |
| 2.2.7 | Металлические материалы для крупных транспортных систем |
| 2.2.8 | Металловедение высокопрочных сплавов |
| 2.2.9 | Методология и практика определения размерных характеристик материалов |
| 2.2.10 | Методология научных исследований |
| 2.2.11 | Оптические явления в кристаллах. Часть 2 |
| 2.2.12 | Основы клеточной биологии |
| 2.2.13 | Оформление результатов научной деятельности |
| 2.2.14 | Практическое применение теории функционала электронной плотности |
| 2.2.15 | Симметрия наносистем |
| 2.2.16 | Современные компьютерные технологии в структурном анализе |
| 2.2.17 | Спектроскопические и зондовые методы |
| 2.2.18 | Термомеханическая обработка металлов и сплавов |
| 2.2.19 | Управление коллективами |
| 2.2.20 | Управление проектами |
| 2.2.21 | Химические основы биологических процессов |

| | |
|--------|--|
| 2.2.22 | Цифровое материаловедение |
| 2.2.23 | Нормы и правила оформления ВКР |
| 2.2.24 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы |
| 2.2.25 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы |
| 2.2.26 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы |
| 2.2.27 | Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы |
| 2.2.28 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы |
| 2.2.29 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы |
| 2.2.30 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы |
| 2.2.31 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям

Знать:

ПК-1-33 основные принципы устройства синхротронов, рентгеновских лазеров на свободных электронах и источников

ПК-1-32 основные свойства синхротронного излучения и основные понятия физики нейтронов

ПК-1-31 основные методы исследований новых материалов с использованием синхротронного и нейтронного излучения

Уметь:

ПК-1-У2 оперировать с основными физическими формулами по теории дифракции, малоугловому рассеянию рентгеновских лучей и нейтронов, EXAFS- спектроскопии, нейтронооптическим явлениям

ПК-1-У1 правильно выбирать наиболее эффективные методы исследования конкретных материалов с использованием синхротронного и нейтронного излучения

Владеть:

ПК-1-В1 опытом проведения исследований материалов с использованием синхротронного и нейтронного излучения

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/ | Семестр / Курс | Часов | Формируемые индикаторы компетенций | Литература и эл. ресурсы | Примечание | КМ | Выполняемые работы |
|-------------|---|----------------|-------|------------------------------------|--------------------------|------------|----|--------------------|
| | Раздел 1. Раздел 1. ОСНОВЫ ФИЗИКИ ДИФРАКЦИИ | | | | | | | |
| 1.1 | Особенности дифракции рентгеновских лучей, электронов и нейтронов. Определение симметрии кристаллического вещества из дифракционной картины. Упругое и неупругое рассеяние рентгеновских лучей на электронах. /Лек/ | 10 | 2 | ПК-1-33 | Л1.2 Л1.5Л3.2 Э4 | | | |
| 1.2 | Дифракция порошков. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-У2 | Л1.2 Л1.5Л3.2 | | | Р1 |
| 1.3 | Освоение материалов раздела 1 /Ср/ | 10 | 10 | ПК-1-33 | Л1.2 Л1.5Л3.2 Э4 | | | |
| | Раздел 2. Раздел 2. СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И СИНХРОТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|----|----|--|-------------------------|--|--|----|
| 2.1 | Что такое синхротронное излучение и его особенности. Области использования синхротронного излучения. Радиационная безопасность при работе с источниками ионизирующего излучения. Закон радиоактивного распада. Активность радиоактивного вещества. Дозиметрические характеристики поля излучения. /Лек/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.4Л2.1 Э1 Э2 | | | |
| 2.2 | Устройство синхротрона. Накопительное кольцо. Вигглеры и ондуляторы. Монохроматизация синхротронного излучения. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 ПК-1-У1 ПК-1-У2 ПК-1-В1 | Л1.4 Э3 | | | Р2 |
| 2.3 | Методы диагностики материалов различных масштабов с использованием синхротронного излучения. Исследование процессов в наномире с временным разрешением. /Лек/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.4Л2.1 Э3 | | | |
| 2.4 | Лазеры на свободных электронах. Фотоэлектронная спектроскопия. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-У1 | Л1.4 | | | Р3 |
| 2.5 | EXAFS и XANES спектроскопия. физические основы и применение. Общие аспекты поглощения рентгеновского излучения. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). /Пр/ | 10 | 3 | ПК-1-33 ПК-1-У2 ПК-1-В1 | Л1.4 Э5 | | | Р4 |
| 2.6 | Освоение материалов раздела 2 /Ср/ | 10 | 10 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.4Л2.1 Э1 Э2 Э4 Э5 | | | |
| | Раздел 3. Раздел 3. НЕЙТРОНОГРАФИЯ | | | | | | | |
| 3.1 | Свойства нейтронов и их взаимодействие с веществом. Нейтронная дифрактометрия и спектроскопия. /Лек/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 | Л1.1 Л1.3 Э6 | | | |
| 3.2 | Структурный анализ моно- и поликристаллов. /Лек/ | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 | Л1.1 Э6 | | | |
| 3.3 | Источники нейтронов. Нейтронные пучки. Экспериментальная реализация дифракции нейтронов. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-У2 ПК-1-В1 | Л1.1 | | | Р5 |
| 3.4 | Магнитная нейтронография. Дифракция нейтронов и наноструктуры. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 | Л1.1 Л1.3 | | | Р6 |
| 3.5 | Освоение материалов раздела 3 /Ср/ | 10 | 10 | ПК-1-31 ПК-1-32 | Л1.1 Л1.3 Э6 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|----|----|-------------------------|----------|--|-----|----|
| | Раздел 4. Раздел 4. ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОТРОННОГО И НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ | | | | | | | |
| 4.1 | Применение синхротронного и нейтронного излучения в практической медицине. Применение синхротронного и нейтронного излучения в области биологически наук. Особенности биологического воздействия нейтронного излучения. /Лек/ | 10 | 3 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.4 | | | |
| 4.2 | Применение синхротронного излучения для археологических исследований. Рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAS). Применение нейтронных методов для археологических исследований. Общее описание. Нейтронная визуализация. Методы радиационного захвата. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-У1 ПК-1-В1 | Л1.4Л2.1 | | | Р7 |
| 4.3 | Освоение материалов раздела 4. Контрольная работа по разделам 1-4 /Ср/ | 10 | 10 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.4 | | КМ1 | |
| | Раздел 5. Раздел 5. ЯДЕРНАЯ ГАММА- РЕЗОНАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|-------------------------|-------------------|--|--|--|
| 5.1 | <p>Эффект Мёссбауэра – физические принципы. Спектры поглощения, эмиссионные спектры, спектры отражения, спектры «на электронах конверсии». Форма резонансного пика. Факторы, влияющие на время регистрации мессбауэровского спектра, обеспечивающее возможность корректного расчета его параметров. Параметры мессбауэровских спектров. Динамические параметры: f-фактор, температурный сдвиг (доплеровский сдвиг второго порядка). Сверхтонкие параметры. Изомерный (химический) сдвиг. Изомерные сдвиги ^{57}Fe. Пересчет значений изомерных сдвигов, полученных с разными источниками и относительно различных «стандартных поглотителей». Квадрупольное расщепление. Квадрупольные моменты ядер и их взаимодействие с градиентом электрического поля (ГЭП) в кристаллах. ГЭП, обусловленный окружающими ионами. ГЭП, обусловленный валентными электронами. Влияние температуры. Знак константы квадрупольного взаимодействия. /Лек/</p> | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.1Л2.2Л3.1 Л3.3 | | | |
| 5.2 | <p>Магнитное сверхтонкое расщепление мессбауэровских спектров. Спектры ^{57}Fe. Диаграмма подуровней основного и первого возбужденного состояния. Относительная интенсивность спектральных линий. Расчет значений магнитного сверхтонкого поля. Происхождение магнитного сверхтонкого поля на ядрах железа. Знак сверхтонкого поля. Условия появления магнитной структуры спектров ^{57}Fe. Особенности спектров ферро-, ферри- и антиферромагнетиков. /Лек/</p> | 10 | 2 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.1Л2.2Л3.1 Л3.3 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|---|----|----|-------------------------|---|--|-----|----|
| 5.3 | Мессбауэровская спектроскопия конверсионных электронов (МСКЭ). Взаимодействие электронов с веществом. Электроны конверсии и фотоэлектроны. Селективная по глубине МСКЭ (СГМСКЭ): весовые функции. СГМСКЭ с использованием газоразрядных пропорциональных детекторов. /Пр/ | 10 | 2 | ПК-1-В1 | Л1.1 | | | Р8 |
| 5.4 | Освоение материалов раздела 5. Контрольная работа по разделу 5 /Ср/ | 10 | 14 | ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-33 | Л1.1Л2.2Л3.1 Л3.3 | | КМ2 | |
| 5.5 | Подготовка домашнего задания в форме реферата по курсу /Ср/ | 10 | 20 | ПК-1-31 ПК-1-33 ПК-1-У1 | Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 | | | Р9 |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

| Код КМ | Контрольное мероприятие | Проверяемые индикаторы компетенций | Вопросы для подготовки |
|--------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| КМ1 | Контрольная работа по разделам 1-4 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33 | <p>Вопросы для самоподготовки</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Природа, история открытия и развитие теории и применение синхротронного излучения (СИ). 2. Преобразования Лоренца. Эффект абберации в СИ. 3. Спектр СИ. Вывод из качественных соображений и качественный анализ. 4. Критическая частота, мощность и энергия излучения - качественный анализ. 5. Формула Лармора и её релятивистское обобщение. 6. Интеграл излучения. 7. Угловое распределение излучения заряда. 8. Спектр излучения релятивистского заряда в магнитном поле. 9. Угловое распределение дифференциальной энергии и интенсивности СИ. 10. Интегралы Эйри, функции Бесселя и дифференциальная интенсивность СИ. 11. Распределение полной интенсивности СИ по углам $dI/d\Omega$ 12. Распределение полной интенсивности СИ по частотам $dI/d\omega$ 13. Поляризация излучения электрона при движении по окружности. 14. Критическая частота СИ и критический угол. 15. Параметр СИ и анализ его влияния на СИ. 16. СИ в низкочастотной области. 17. СИ в высокочастотной области. 18. Какие различия между структурной нейтронографией, нейтронной спектроскопией и магнитной нейтронографией? 19. Какие требования предъявляются к образцам для исследования при помощи нейтронографии? 20. Какие различия в природе результатов, получаемых рентгено-, нейтроно- и электронографически? |

| | | | |
|-----|---------------------------------|-------------------------|--|
| КМ2 | Контрольная работа по разделу 5 | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33 | <p>Вопросы для самоподготовки</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Информация о внутреннем строении вещества, получаемая из спектров ЯМР. 2. Зависимость вида спектров ЯМР от агрегатного состояния вещества. Главное отличие спектров ЯМР твердых тел и жидкостей и причина различия. 3. Прямые диполь-дипольные взаимодействия между ядерными магнитными моментами и их роль в формировании спектров ЯМР. 4. Энергетические уровни двух ядер, связанных диполь-дипольным взаимодействием и вероятности релаксационных переходов между ними. 5. Перенос намагниченности и его влияние на релаксационные процессы. Эффект Оверхаузера. 6. Химические сдвиги линий в спектрах ядерного магнитного резонанса. Магнитное экранирование ядер в атомах и молекулах (качественное рассмотрение). Использование результатов измерения химических сдвигов для определения химической структуры молекул. Вид гамильтониана, описывающего взаимодействие системы ядер в молекуле с внешним магнитным полем с учетом магнитного экранирования. 7. Природа косвенного скалярного спин-спинового взаимодействия между неэквивалентными ядрами в молекуле (качественное рассмотрение). Роль вращательного теплового движения молекул. Мультиплетная структура спектров ЯМР в жидкостях. Информация о конформации молекул по данным о константах скалярного взаимодействия. 8. Вид гамильтониана, описывающего взаимодействие системы ядер в молекуле с внешним магнитным полем с учетом магнитного экранирования и косвенного спин-спинового взаимодействия. 9. Селективные высокочастотные импульсы. Условие селективности, классификация применительно к спектрам ЯМР. 10. Методы упрощения спектров: спиновая развязка. 11. Энергетические уровни системы двух различных ядер, связанных скалярным взаимодействием, и их населенности в равновесном состоянии. 12. Усиление интенсивности спектральных линий ЯМР от ядер с малым гиромагнитным отношением с помощью селективной инверсии. 13. Усиление интенсивности спектральных линий ЯМР путем переноса ядерной намагниченности (поляризации) от ядер с большим гиромагнитным отношением на ядра с малым гиромагнитным отношением с помощью специальной импульсной последовательности («INEPT»). 14. Использование метода развязки одновременно с переносом намагниченности: «рефокусированный INEPT» 15. Общая идеология и методы получения двумерных спектров. Основные фазы эксперимента по получению двумерного спектра. 16. Разделение химических сдвигов и скалярных взаимодействий на основе эксперимента Джинера со спиновым эхом. Двумерный спектр двух связанных скалярным взаимодействием различных ядер, получаемый в этом случае. 17. Классический анализ изменения населенностей системы энергетических уровней скалярно связанных ядер типа «AX» под действием двух 90-градусных импульсов. 18. Получение гетероядерного двумерного корреляционного спектра пары ядер, связанных скалярным взаимодействием (импульсная последовательность, классический вывод). 19. Гомоядерная двумерная корреляционная спектроскопия (качественно). Определение цепочек скалярно взаимодействующих ядер из двумерного корреляционного спектра (пример). Получение информации о первичной и вторичной структуре белковых молекул. 20. Импульсная последовательность для получения двумерного спектра, измененного за счет кросс-релаксаций («NOESY»). Поведение ядерной намагниченности под воздействием импульсов этой последовательности. Роль процессов спин-решеточной и кросс-релаксации в фазе смешивания. 21. Применение двумерных спектров на основе эффекта |
|-----|---------------------------------|-------------------------|--|

| | | | Оверхаузера для определения межъядерных расстояний и получения информации о структуре белка. |
|---|---|---|---|
| КМЗ | Зачет с оценкой | ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-33 | Вопросы для самоподготовки приведены в перечне вопросов для контрольных работ |
| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | Практическое занятие. Дифракция порошков | ПК-1-У2 | Дифракция порошков |
| P2 | Практическое занятие. Устройство синхротрона. Накопительное кольцо. Вигглеры и ондуляторы. Монохроматизация синхротронного излучения. | ПК-1-32;ПК-1-33;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-У2;ПК-1-В1 | Устройство синхротрона. Накопительное кольцо. Вигглеры и ондуляторы. Монохроматизация синхротронного излучения. |
| P3 | Практическое занятие. Лазеры на свободных электронах. Фотоэлектронная спектроскопия. | ПК-1-31;ПК-1-У1 | Лазеры на свободных электронах. Фотоэлектронная спектроскопия. |
| P4 | Практическое занятие. EXAFS и XANES спектроскопия. физические основы и применение. Общие аспекты поглощения рентгеновского излучения. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). | ПК-1-33;ПК-1-У2;ПК-1-В1 | EXAFS и XANES спектроскопия. физические основы и применение. Общие аспекты поглощения рентгеновского излучения. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). |
| P5 | Практическое занятие. Источники нейтронов. Нейтронные пучки. Экспериментальная реализация дифракции нейтронов. | ПК-1-У2;ПК-1-В1 | Источники нейтронов. Нейтронные пучки. Экспериментальная реализация дифракции нейтронов. |
| P6 | Практическое занятие. Магнитная нейтронография. Дифракция нейтронов и наноструктуры. | ПК-1-У1;ПК-1-В1 | Магнитная нейтронография. Дифракция нейтронов и наноструктуры. |

| | | | |
|--|--|-------------------------|---|
| P7 | Практическое занятие. Применение синхротронного излучения для археологических исследований. Рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAS). Применение нейтронных методов для археологических исследований. Общее описание. Нейтронная визуализация. Методы радиационного захвата. | ПК-1-У1;ПК-1-В1 | Применение синхротронного излучения для археологических исследований. Рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAS). Применение нейтронных методов для археологических исследований. Общее описание. Нейтронная визуализация. Методы радиационного захвата. |
| P8 | Практическое занятие. Мессбауэровская спектроскопия конверсионных электронов (МСКЭ). Взаимодействие электронов с веществом. Электроны конверсии и фотоэлектроны. Селективная по глубине МСКЭ (СГМСКЭ): весовые функции. СГМСКЭ с использованием газоразрядных пропорциональных детекторов. | ПК-1-В1 | Мессбауэровская спектроскопия конверсионных электронов (МСКЭ). Взаимодействие электронов с веществом. Электроны конверсии и фотоэлектроны. Селективная по глубине МСКЭ (СГМСКЭ): весовые функции. СГМСКЭ с использованием газоразрядных пропорциональных детекторов. |
| P9 | Домашнее задание по курсу в форме мультимедийного доклада | ПК-1-У1;ПК-1-31;ПК-1-33 | Примеры тем докладов (тематика согласуется с преподавателем) 1. Основные принципы устройства синхротронов, рентгеновских лазеров на свободных электронах и источников нейтронного излучения 2. Информация о внутреннем строении вещества, получаемая из спектров ЯМР. 3. Общая идеология и методы получения двумерных спектров. Основные фазы эксперимента по получению двумерного спектра. |
| 5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.) | | | |
| Экзамен программой курса не предусмотрен | | | |

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По курсу предусмотрен зачет с оценкой. Зачет с оценкой проставляется на основе оценок текущего контроля (двух контрольных работ и домашнего задания).

Шкала оценивания знаний обучающихся:

Оценка «отлично»

– обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу.

Оценка «хорошо»

– обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно»

– обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.

Оценка «неудовлетворительно»

– обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные или некорректные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «не явка» студент не явился на контрольные мероприятия в семестре.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------------|--------------------------------|
| Л1.1 | Жданов Г. С., Илюшин А. С., Никитина С. В., Жданов Г. С. | Дифракционный и резонансный структурный анализ: Рентгено-, электроно-, нейтроно-мессбауэрография и мессбауэровская спектроскопия: Учеб. пособие для вузов | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1980 |
| Л1.2 | Бокий Г. Б. | Кристаллохимия | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1971 |
| Л1.3 | Кривоглаз М. А. | Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами | Библиотека МИСиС | М.: Наука, 1967 |
| Л1.4 | Фетисов Г. В., Асланов Л. А. | Синхротронное излучение: методы исследования структуры веществ: учебное пособие | Электронная библиотека | Москва: Физматлит, 2007 |
| Л1.5 | Бокий Г. Б. | Рентгеноструктурный анализ: монография | Электронная библиотека | Москва: Издательство МГУ, 1964 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|---|------------------------|---|
| Л2.1 | Минкина Т. М., Солдатов А. В., Невидомская Д. Г., Цицуашвили В. С. | Синхротронное рентгеновское излучение и его применение для исследования почв и растений: возможности и перспективы: учебное пособие | Электронная библиотека | Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2018 |
| Л2.2 | Гольданский В. И. | Эффект Мёссбауэра и его применения в химии: монография | Электронная библиотека | Москва: Издательство Академии Наук СССР, 1963 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------------------|--|------------------------|--|
| Л3.1 | Бельская Н. П., Ельцов О. С. | Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика: учебное пособие | Электронная библиотека | Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014 |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|--|--|------------------------|-----------------------|
| ЛЗ.2 | Скаков Юрий Александрович, Варли Кирилл Владимирович, Эпштейн Григорий Наумович, Скаков Юрий Александрович | Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: Разд.: Рентгенографические методы анализа: учеб. пособие для студ. спец. 0401, 0404, 0408 | Библиотека МИСиС | М.: Учеба, 1985 |
| ЛЗ.3 | | Ядерный магнитный резонанс в структурных исследованиях: монография | Электронная библиотека | Москва: КРАСАНД, 2016 |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

| | | |
|----|--|---|
| Э1 | Проведение синхротронных и нейтронных исследований: Учебное пособие / Р.Г. Батулин, Н.В. Болтакова, Е.Н. Дулов, Л.Д. Зарипова, Д.Р. Исламов, А.Г. Киямов, С.В. Покровский, И.А. Руднев, К.С. Усачев. – Казань: Казан. ун-т, 2021. – 176 с. | https://kpfu.ru/portal/docs/F1802716850/Provedenie.sinkhrotronnykh.i.nei_tronnykh.issledovaniy_.pdf |
| Э2 | Описание крупнейшего в мире импульсного источника нейтронов (Spallation Neutron Source) и проводящихся нейтронных исследований | https://neutrons.ornl.gov/sns |
| Э3 | Раздел сайта Национального института стандартов и технологий, посвященный нейтронным исследованиям. Содержит описания установок и ведущихся исследований, а также образовательные пособия по нейтронографии и методу малоуглового рассеяния. | https://www.nist.gov/ncnr/neutron-instruments |
| Э4 | Богдан Т. В. Основы рентгеновской дифрактометрии: учебно-методическое пособие к общему курсу "Кристаллохимия". – Москва: МГУ. 2012. – 64 с. – URL: http://www.chem.msu.ru/rus/lab/phys/crychem/lectures/man_bogdan.pdf (дата обращения 10.11.21). – Режим доступа: свободный. | http://www.chem.msu.ru/rus/lab/phys/crychem/lectures/man_bogdan.pdf |
| Э5 | XFEL: гибрид микроскопа с ускорителем. – URL: https://naked-science.ru/article/nakedscience/xfel-gibrid-mikroskopa-s?mode=full | https://naked-science.ru/article/nakedscience/xfel-gibrid-mikroskopa-s?mode=full |
| Э6 | Чистяков В.А., Садыков Э.К., Ивойлов Н.Г. и др. Практикум по ядерной физике. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань, 2004. – 154 с. – URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F360793019/Nuclear.lab.2004.pdf (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: свободный. | https://kpfu.ru/portal/docs/F360793019/Nuclear.lab.2004.pdf |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|--------------------------|
| П.1 | ESET NOD32 Antivirus |
| П.2 | Win Pro 10 32-bit/64-bit |
| П.3 | Microsoft Office |
| П.4 | LMS Canvas |
| П.5 | MS Teams |

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

| | |
|-----|---|
| И.1 | Полнотекстовые российские научные журналы и статьи: |
| И.2 | — Научная электронная библиотека eLIBRARY https://elibrary.ru/ |
| И.3 | — Полнотекстовые деловые публикации информгентств и прессы по 53 отраслям https://polpred.com/news |
| И.4 | Иностраные базы данных (доступ с IP адресов МИСиС): |
| И.5 | — аналитическая база (индексы цитирования) Web of Science https://apps.webofknowledge.com |
| И.6 | — аналитическая база (индексы цитирования) Scopus https://www.scopus.com/ |
| И.7 | — наукометрическая система InCites https://apps.webofknowledge.com |

| | |
|-----|---|
| И.8 | — научные журналы издательства Elsevier https://www.sciencedirect.com/ |
|-----|---|

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

| Ауд. | Назначение | Оснащение |
|--------------------------------|--|---|
| Б-413 | Учебная аудитория | проектор; мультимедийная доска; маркерная доска, документ-камера; компьютер преподавателя; компьютерный класс на 14 компьютеров, пакет лицензионных программ MS Office, комплект учебной мебели |
| Б-400 | УНЛ "Центр рентгеноструктурных исследований и диагностики материалов": | дифрактометры: ДРОН-4, Rigaku MiniFlex, Rigaku Ultima IV, Rigaku SmartLab; установка измерения физических свойств Quantum Design PPMS; вакуумные печи; высококоэнергетические мельницы; мессбауэровский спектрометр |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Любой корпус Мультимедийная | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий: | комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus |
| Читальный зал №3 (Б) | | комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus. |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

При изучении курса большое внимание следует уделить самостоятельной работе с учебниками, справочной литературой и текущими публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах по рассматриваемым темам курса. Большую часть вопросов, возникающих в процессе самостоятельной подготовки, рекомендуется выносить для обсуждения на практических занятиях для наиболее полного понимания современных методов.

Обучение проводится в один семестр и организуется в соответствии с настоящей программой. Самостоятельная работа студентов осуществляется и контролируется с помощью:

- вопросов для самоконтроля,
- домашнее задания,

Перед началом занятий студенты получают на текущий семестр календарный план проведения практических занятий, график выдачи и сдачи домашних заданий.

Для успешного освоения изучаемой дисциплины для студентов организуются еженедельные консультации преподавателей в компьютерном классе.

Для проведения лабораторных работ используется Учебный комплекс по структурной диагностике и материаловедческой экспертизе неорганических материалов методами рентгеновской дифракции и электронной микроскопии.