**Рабочая программа дисциплины**

1. Название дисциплины: ***Практический курс рентгеновской дифрактометрии***

2. Уровень высшего образования – ***аспирантура***

3. Направление подготовки: ***03.04.02 Физика магнитных явлений (аспирантура)***

4. Аннотация:

Научные исследования в области физики конденсированного состояния требуют владения современными экспериментальными методиками и приемами количественного анализа структурных характеристик с использованием различных программ численной обработки эксперимента. Цель курса состоит в том, чтобы дать аспирантам практические навыки работы на современных дифрактометрах от известных фирм (Stoe, Geigerflex) с различными приставками. В курсе даются основы метода порошковой дифракции и исследований структуры в различных диапазонах температур. Далее в ходе практических занятий производится съемка рентгенограмм на тестовых/модельных образцах и практически демонстрирует общие приемы обработки порошковых рентгенограмм. Обработка экспериментальных данных с помощью прикладного пакета Full\_Prof позволяет решать типичные задачи физики конденсированного состояния: определения фазового состава образца, прецизионного определения параметров ячейки, уточнения кристаллической структуры, обнаружение малых искажений структуры при фазовом переходе.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

***Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 76 часа*** из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 2 часа групповых консультаций, 2 часа индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: базовые знания курса общей физики, основных курсов математики в объеме программы физического факультета МГУ, основных курсов по физике твердого тела и физике магнитных явлений по направлению подготовки магистра кафедры общей физики и физики конденсированного состояния. Для начала освоения данной дисциплины должны быть освоены следующие дисциплины и практики: “Математический анализ”, “Основы физики конденсированного состояния вещества”, “Введение в физику конденсированных сред”, “Квантовая теория твердого тела”, “Введение в физику магнитных явлений”

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

6. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических** часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,**  **форма промежуточной аттестации по дисциплине** | **Всего,часы** | В том числе | | | | | | | | |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося, часы**  из них | | |
| Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Групповые консультации | Индивидуальные консультации | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.\* | **Всего** | Выполнение домашних заданий | Подготовка рефератов и т.п. | **Всего** |
| ОСНОВЫ ПОРОШКОВОЙ ДИФРАКЦИИ.  1. Свойства рентгеновского излучения; непрерывные и характеристические рентгеновские спектры. Источники рентгеновских лучей: обычные герметичные источники, источники с вращающимся анодом, источники синхро­тронного излучения. Угловая расходимость и колли­мация рентгеновского излучения. Монохроматизация рентгеновского излучения. | 6.2 | 3 |  | 0.1 | 0.1 |  | 3.2 | 3 |  | 3 |
| 2. Различные типы детекторов рентгеновских лучей: точечные, линейные, зональные. Эффективность детек­тора, линейность, пропорциональность и разреше­ние. Устройство стандартного дифрактометра. Геометрия дифрактометра на просвет и на прохождение. Приставка для работы с монокристаллами. | 6.2 | 3 |  | 0.1 | 0.1 |  | 3.2 | 3 |  | 3 |
| 3. Знакомство с реальными стандартными дифрактометрами. Геометрия дифрактометра на просвет (дифрактометр Stoe), на прохождение (дифрактометр Geigerflex) и для работы с кристаллами (дифрактометр Dron). Температурные рентгеновские измерения, различ­ные типы криостатов для дифрактометров. | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 4. Рассеяние рентгеновских лучей на электронах, атомах и решетках. Коэффициент рассеяния. Геометрия дифракции на решетках. Уравнения Лауэ и закон Брэгга. Взаимная решетка и сфера Эвальда. Происхождение и представление порошковой дифракционной картины. Анализ порошковых дифракционных картин. Положения дифракционных пиков как функция размеров элемен­тарной ячейки. Другие факторы, влияющие на положения пиков. Формы дифракционных пиков на порошковых дифрактограммах. Различные функции для профиля пика. Асимметрия пика. | 8.4 | 4 |  | 0.2 | 0.2 |  | 4.4 | 4 |  | 4 |
| 5. Участие в съемке порошковой рентгенограммы стан­дартного/эталонного образца ZnO/Si (подготовка образца, выбор условий съемки, задание программы). | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 6. Знакомство с программой обработки порошковой рентгенограммы Full\_Prof\_Suite. Полнопрофильный анализ порошковой рентгенограммы стандартного/эта­лонного образца ZnO/Si – прецизионное определение параметров элементарной ячейки. | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 7. Интенсивность пиков на порошковой дифракто­грамме. Интегральная интенсивность. Масштабный коэффициент. Фактор повторяемости/кратности. Коэф­фициент поляризации Лоренца. Коэффициент погло­щения. Преимущественная ориентация. Коэффициент погасания. Структурный фактор. Структурная амп­литуда. Фактор заселенности. Температурный фактор. Коэффициент атомного рассеяния. Фазовый угол. | 8.4 | 4 |  | 0.2 | 0.2 |  | 4.4 | 4 |  | 4 |
| 8. Работа с программой обработки порошковой рентгенограммы Full\_Prof\_Suite. Анализ порошковой рентгенограммы двухфазного образца на примере YBaCo4O7+x. Определение (1) содержания малой примеси и (2) фазового состава при расслоение образца на две фазы с близкими структурами и параметрами. | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 9. Работа с программой обработки порошковой рентге­нограммы Full\_Prof\_Suite. Анализ порошковой рентге­нограммы образца при наличии небольшого искажения структуры на примере YBaCo4O7. Полнопрофильный анализ порошковой рентгенограммы – прецизионное определение параметров элементарной ячейки и степени искажения структуры. | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 10. Влияние симметрии на структурную амплитуду. Пары Фриделя и закон Фриделя. Закон Фриделя и множитель. Систематическое погасание. Пространствен­ная группа. | 6.2 | 3 |  | 0.1 | 0.1 |  | 3.2 | 3 |  | 3 |
| 11. Работа с программой Full\_Prof\_Suite. Обработка по­рошковой рентгенограммыпо по методу Ритвальда - уточнение структуры на примере YBaCo4O7.1 (распреде­ление ионов по позициям, учет тепловых факторов). | 4.2 |  | 2 | 0.1 | 0.1 |  | 2.2 | 2 |  | 2 |
| 12. Знакомство с установкой импульсных магнитных полей. Импульсный соленоид и блок питания. Темпе­ратурная вставка. Измерение и калибровка магнитного поля, магнитного сигнала, температуры. Измерение изо­терм намагниченности двухподрешеточных магнетиков DyBaCo4O7+x и YBaCo4O7+x в импульсном магнитном поле до 300 кЭ. | 8.4 | 4 |  | 0.2 | 0.2 |  | 4.4 | 4 |  | 4 |
| 13. Анализ обменных взаимодействий Co-Co, Dy-Co, Dy-Dy. Расчет намагниченности Dy подре­шетки без учета и с учетом эффективного обменного поля со стороны Co подрешетки в простой двухподрешеточной модели. | 6.2 | 3 |  | 0.1 | 0.1 |  | 3.2 | 3 |  | 3 |
| Промежуточная аттестация | 0.4 |  | 0.4 |  |  |  |  |  |  |  |
| **Итого** | **76** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

*\* Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений**

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

А. С. Илюшин, А. П. Орешко, “Дифракционный структурный анализ”, Москва, 2013.

Д. М. Хейкер, Л. С. Зевин, “Рентгеновская дифрактометрия”, М., Физматгиз, 1963.

Г. С. Жданов, А. С. Илюшин, С. В. Никитина, “Дифракционный и резонансный структурный анализ”, М. Наука, 1980.

V. K. Pecharsky, P. Y. Zavalij, “Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials”, Springer, 2005.

Ю. А. Изюмов, Р. П. Озеров, Магнитная нейтронография, М., Наука, 1966.

Г. В. Фетисов, “Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества”, М. Физматлит, 2007.

Г. С. Кринчик, "Физика магнитных явлений", Москва, Издательство Московского университета, 1976.

С. Крупичка, "Физика ферритов и родственных им соединений", Москва, "Мир", 1976.

Дополнительная литература

Л. И. Миркин, “Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов”, М., ГИФМЛ, 1961.

М. П. Шаскольская, “Кристаллография”, М., Высш. школа, 1976.

International Tables for X-Ray crystallography. V. A, A1, B, C, D, E, F, G. 2003.

К. Тейлор, М. Дарби, "Физика редкоземельных соединений", Москва, "Мир", 1974.

А. К. Звездин, В. М. Матвеев, А. А. Мухин, А. И. Попов, "Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах", M.: Наука, 1985.

Р. Уайт, "Квантовая теория магнетизма", Москва, "Мир", 1985.

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

* http://kazei.plms.ru/
* электронная версия курса (презентация) выложена на страничке лектора

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические разработки с упражнениями и контрольными вопросами для выполнения практических работ по курсу (изданы силами кафедры, тираж 10 экз.).

12.Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Курс имеет электронную версию презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Студентам предоставляется электронная версия конспекта лекций. Занятия могут проходить на русском или английском языках.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Современные рентгеновские дифрактометры с различной геометрией (дифрактометры Stoe, Geigerflex, Dron) с набором температурных приставок. Установка импульсных магнитных полей с температурной вставкой.

Компьютерный класс кафедры (ауд. 3-50): 7 современных компьютеров, объединенных локальной сетью и контролируемым выходом в интернет, на которых инсталлирован прикладной пакет Full\_Prof. Вывод результатов численного расчета и моделирования на экраны мониторов, принтер. Компьютер лектора с большим монитором, мультимедиа проектор.