

# **Экспериментальные методы диагностики наночастиц и наноматериалов, часть II.**

## **VIII семестр 2010 года**

**Блок I. Методы получения физических характеристик материала – 12 час (проф. А.Н. Васильев, с.н.с. О.С. Волкова, физфак МГУ)**

**Лекция 1.** Измерения транспортных свойств - 1. Основные принципы и особенности в измерении сопротивления, магнитосопротивления и эффекта Холла. Туннельные эксперименты.

**Лекция 2.** Измерения транспортных свойств - 2 (теплопроводность, термоЭДС, характеристика функциональных термоэлектрических материалов).

**Лекция 3.** Измерения тепловых и упругих свойств функциональных наноматериалов. Методы измерения теплоемкости и упругих модулей твердых тел, основные аппроксимации. Ангармонизм колебаний решетки и параметр Грюнайзена. Коэффициент теплового расширения.

**Лекция 4.** Методы измерения магнитных свойств. Магнитная восприимчивость, намагниченность. Различные типы магнитоупорядоченных веществ и особенности проведения экспериментальных исследований на диамагнетиках, парамагнетиках, антиферромагнетиках, ферримагнетиках и ферромагнетиках.

**Лекция 5.** Основные характеристики магнетиков. Эффективный магнитный момент, намагниченность насыщения, магнитокристаллическая анизотропия, магнитострикция. Размерные эффекты в поведении магнитоупорядоченных веществ. Сквид-магнитометрия, измерения в сверхсильных магнитных полях.

**Лекция 6.** Методы измерения диэлектрических свойств материалов. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрики. Пироэлектричество. Мультиферроэлектрические материалы. Взаимосвязь электрической, магнитной и упругой подсистем в мультиферроиках.

**Блок II. Использование синхротронного излучения (СИ) в исследовании наноматериалов - (проф. Ю.Л. Словохотов, Я. Зубавичус) – 6 час**

**Лекция 7. Рентгеновская спектроскопия на СИ.**

Общая схема и ключевые параметры синхротронного центра. Встроенные магнитные устройства, особенности вырабатываемого ими излучения. Количественные характеристики синхротронного излучения и их связь с инструментальными параметрами. География центров СИ, поколения синхротронных источников. Компоненты исследовательских станций в синхротронных центрах: рентгеновские монохроматоры, фокусирующая оптика, детекторы рентгеновского излучения. Высоковакуумное оборудование для работы с мягким СИ.

Основные процессы, протекающие при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом, их сечения для легких и тяжелых элементов. Рентгеновские термы: классификация, времена жизни, направления распада. Основные рентгеноэмиссионные линии. Рентгенофлуоресцентный анализ. Рентгеноэмиссионная спектрометрия в мягкой области излучения. Понятие о рентгенофотоэлектронной спектрометрии.

**Лекция 8. Спектроскопия XAFS.**

Тонкая структура рентгеновской полосы поглощения, окологкраевая (XANES) и протяженная дальняя (EXAFS) области. Предкраевая тонкая структура и ее связь с симметрией координационного окружения. «Белая линия». Многократные рассеяния в области XANES за краем поглощения. Схема XAFS-спектрометра. Возможные режимы детектирования тонкой структуры в рентгеновских спектрах и их области применимости. Спектроскопия NEXAFS в исследованиях соединений легких элементов. Основная формула EXAFS и структурная информация, получаемая этим методом. Этапы обработки

спектра в методе XAFS. Приложения EXAFS. Использование линейной и круговой поляризации рентгеновского излучения для исследования магнитных фаз

### **Лекция 9. Дифракционные методы на СИ.**

Особенности дифракционных методов на СИ (лауэ-дифракция, порошковая и монокристаллическая дифрактометрия на монохроматическом излучении). Аномальное рассеяние рентгеновского излучения, его связь со спектрами поглощения и использование для определения абсолютной конфигурации кристалла. Дифракционные исследования с элементарным и валентным контрастом. Приложения аномального рассеяния в дифракционных и спектральных методах (MAD, DAFS). Малоугловое рентгеновское рассеяние на СИ, использование аномального рассеяния. Комбинированные методы

## **Блок III. Метод РФЭС и его применение для исследований наноматериалов – 4 час (д.х.н. Л.В. Яшина).**

### **Лекция 10. Основы РФЭС**

Одноэлектронная теория фотоэмиссии. Многоэлектронные процессы. Электронный транспорт в твердом теле и поверхностная чувствительность. Рентгеновский фотоэлектронный спектр. Характеристика пиков. Принципы количественного анализа. Химические эффекты в РФЭС: химсдвиг и Оже-параметр. Оборудование, основные части спектрометра. Аналитические характеристики: точность, чувствительность и др. Сравнение РФЭС с другими методами исследования поверхности.

### **Лекция 11. Применение РФЭС к исследованию наноматериалов.**

Планарные наноструктуры: деструктивное и недеструктивное профилирование. Нольмерные объекты: квантовые точки и кластеры металлов. Спектромикроскопия: картирование состава и зарядовых состояний атомов. 3D-анализ. Современные спектромикроскопы.

## **Блок IV. Мессбауэровская спектроскопия для диагностики нанодисперсных веществ – 4 час (проф. П. Б. Фабричный).**

### **Лекция 12. Физические принципы эффекта Мессбауэра и основные типы сверхтонких взаимодействий, проявляющиеся в мессбауэровских спектрах.**

Резонансное испускание и поглощение гамма-квантов ядрами в кристаллах. Вероятность переходов «без отдачи» ( $f$ -фактор). Естественная ширина линии. Допплеровская модуляция энергии  $\gamma$ -излучения. Мессбауэровский спектр. Варианты регистрации ядерного гамма-резонанса. Изомерный сдвиг. Допплеровский сдвиг второго порядка. Квадрупольное расщепление. Магнитное сверхтонкое расщепление. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие. Характеристическое время измерения в мессбауэровских экспериментах.

### **Лекция 13. Физико-химическая интерпретация спектральных параметров и мессбауэровская диагностика неорганических материалов.**

Зависимость изомерного сдвига от электронной конфигурации мессбауэровского атома. Происхождение градиентов электрического поля (ГЭП), ответственных за квадрупольное расщепление мессбауэровского спектра. Зависимость ГЭП от локального окружения резонансного атома. Зависимость величины магнитного сверхтонкого поля от строения электронной оболочки мессбауэровского атома. Диагностика распределения атомов мессбауэровского элемента по структурно-неэквивалентным позициям. Исследование быстрых электронных процессов. Высокодисперсные вещества. Спектральные проявления суперпарамагнитной релаксации. Анализ гранулометрического состава нанодисперсных магнетиков. Зондовая мессбауэровская спектроскопия. Исследование процессов на границы раздела твердое тело-газ с применением зондовых катионов  $5s5p$ -элементов.