

Экспериментальная физика наносистем

(магистерская программа, II семестр)

Тема 1. ВВЕДЕНИЕ

Конденсированное состояние вещества: твердое тело (кристаллы и аморфные вещества); жидкость; мезоморфное состояние; кластерное состояние. Дальний и ближний порядок. Нанотехнологии. Диагностика наноматериалов.

Тема 2. КРИСТАЛЛЫ

Кристаллы. Симметрия кристаллов. Решетки Бравэ. Пространственные группы симметрии. Методы выращивания кристаллов. Методы синтеза нанокристаллов

Тема 3. ДИФРАКЦИЯ НА КРИСТАЛЛАХ

Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Дифракция на периодических структурах. Закон Брэгга-Вульфа. Диагностика атомной структуры кристаллов дифракцией рентгеновских лучей и нейтронов. Нанокристаллы. Белковая кристаллография. Квазикристаллы

Тема 4. ДИФРАКЦИЯ НА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Парная радиальная функция распределения. Структурный фактор рассеяния. Дифракция на жидкостях. Малоугловое рассеяние. Плотность длины рассеяния. Контраст. Форм-фактор рассеяния. Функция распределения парных расстояний. Инварианты рассеяния: параметры Гинье и закон Порода. Фрактальные кластеры и поверхности. Малоугловое рассеяние на актуальных наносистемах.

Тема 5. ТИПЫ СВЯЗИ В КРИСТАЛЛАХ И ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ

Энергия связи. Вандерваальсово взаимодействие. Ковалентная связь. Обменное взаимодействие. Структуры со смешанными ковалентными и вандерваальсовыми связями. Ионная связь. Смешанные ионно-ковалентные связи. Водородная связь. Металлическая связь. Классификация типов связи в твердых телах. Дисперсионное взаимодействие между наночастицами в растворе. Вириальное разложение. Адсорбционные силы.

Тема 6. ДИНАМИКА КРИСТАЛЛОВ

Колебательные моды одноатомного кристалла. Акустические ветви. Колебательные моды кристалла с многоатомным базисом. Акустические и оптические ветви.

Тема 7. ТЕРМОДИНАМИКА КРИСТАЛЛОВ

Нормальные координаты. Фононы. Функция плотности фононных состояний. Фононная теплоемкость. Модели Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая. Взаимодействие фононов. Тепловое расширение. Теплопроводность. Неупругое рассеяние нейтронов на фононах.

Тема 8. ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Зонная теория твердых тел. Приближения слабой и сильной связи. Эффективная масса. Заполнение зон. Классификация кристаллов по проводимости с точки зрения зонной теории: проводники, диэлектрики, полупроводники.

Тема 9. МЕТАЛЛЫ

Модель почти свободных электронов. Термодинамика свободных электронов. Парамагнетизм Паули. Проводимость (модель Зоммерфельда). Закон Ома. Теплопроводность. Закон Видемана-Франца. Эффект Холла. Контактные эффекты. Эмиссионные эффекты. Поверхность ферми в реальных металлах

Тема 10. ПОЛУПРОВОДНИКИ

Собственная и примесная проводимость. Термодинамика полупроводников. Контактные явления. p-n переход. Зонная структура полупроводников. Зонная структура графена

Тема 11. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Магнитный момент атома. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Модель Вейса. Модель Гейзенберга. Спиновые волны. Магноны. Магнитные домены. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизм. Магнитная нейтронная дифракция. Рассеяние нейтронов на магнонах.

Тема 12. НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Суперпарамагнетизм. Способы производства магнитных наночастиц. Магнитные жидкости. Малоугловое рассеяние неполяризованных и поляризованных нейтронов. Синтез и структурные исследования магнитных жидкостей.

Литература

1. И.И.Гуревич, Л.В.Протасов. Физика нейтронов низких энергий. М.: Наука, 1965.
2. Нейтроны и твердое тело. В 3-х томах под общей редакцией Р.П.Озерова.
Том 1. Ю.З.Носик, Р.П.Озеров, К.Хенниг. Структурная нейтронография. М.: Атомиздат, 1979.
Том 2. Ю.А.Изюмов, В.Е.Найш, Р.П.Озеров. Нейтронография магнетиков. М.: Атомиздат, 1981.
Том 3. Ю.А.Изюмов, Н.А.Черноплеков. Нейтронная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. В.Л.Аксенов, Н.М.Плакида, С.Стаменкович. Рассеяние нейтронов сегнетоэлектриками. М.: Энероатомиздат, 1984.
4. Д.И.Свергун, Л.А.Фейгин. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. М.: Наука, 1986.
5. М.В.Авдеев, В.Л.Аксенов. Малоугловое рассеяние нейтронов в структурных исследованиях магнитных жидкостей. УФН, т. 180, № 1, с.109 (2010).
6. В.Л.Аксенов, А.М.Балагуров. Дифракция нейтронов на импульсных источниках. УФН, т. 186, № 3, с. 293 (2016).
7. П.А.Алексеев. Нейтронная спектроскопия и сильнокоррелированные электроны: взгляд изнутри. УФН, т. 187, № 1, с. 65 (2017).
8. А.М.Балагуров. Дифракция нейтронов для решения структурных задач. Saarbrücken: LAP. LAMBERT Ac. Publ., 2017.
9. И.Сердюк, Н.Заккаи, Дж.Заккаи. Методы в молекулярной биофизике в 2 т., М.: KDU, 2009.

Темы рефератов

к курсу «Нейтроннография наносистем и материалов» (магистры, III семестр)

1. Симметрия кристаллов.
2. Прямая и обратная решетки. Индексы Миллера. Закон Брэгга.
3. Магнетизм.
4. Сверхпроводимость.
5. Гигантское магнитное сопротивление.
6. Коллоидные системы.
7. Сверхтекучесть.
8. Фазовые переходы.
9. Полимеры.
10. Структура биологической клетки.

Литература

1. Ю.М.Ципенюк. Квантовая микро- и макро-физика. М.: Физматкнига, 2006.
2. М.Клеман, О.Д.Лаврентович. Основы физики частично упорядоченных сред. М.: Физматлит, 2007 (перевод с англ. M.Kleman, O.D.Lavrentovich. Soft Matter Physics. An Introduction. Springer, 2003).
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика в 10 т. Том V . Статистическая физика, ч. I; Том IX Статистическая физика, ч. 2. Теория конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2001.