

Федеральное государственное учреждение
«Федеральный научно-исследовательский центр
«Кристаллография и фотоника»
Российской академии наук»
(ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Принято на Ученом совете ИК РАН

Протокол № 2 от 24.05.2022

«...ерждаю»

О.А. Алексеева
_____ мая _____ 2022 г.

ПРОГРАММА

вступительного испытания для поступающих на обучение по
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре

1.3. Физические науки

Научная специальность: 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Форма обучения:

Очная

Срок обучения: 4 года

Москва

I. Общие положения

Настоящая программа вступительного испытания предназначена для поступающих в аспирантуру Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук» (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН) и содержит требования к вступительному испытанию по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Программа разработана на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета и программам магистратуры.

II. Содержание вступительного испытания

Механика

Движение материальной точки и системы материальных частиц в механике Ньютона. Интегралы движения и законы сохранения. Движение в центральном поле. Общее решение задачи 3-х тел в квадратурах. Упругое рассеяние частиц. Формула Резерфорда.

Движение при наличии связей. Уравнения Лагранжа 1-го и 2-го рода. Интегралы движения и законы сохранения. Принцип наименьшего действия. Теорема Нетер. Собственные (линейные) колебания механических систем. Нормальные координаты. Нелинейные колебания. Функция Лагранжа твердого тела. Тензор инерции.

Канонические уравнения (Гамильтона). Скобки Пуассона. Канонические преобразования. Метод Гамильтона-Якоби. Адиабатические инварианты.

Замкнутая система уравнений гидродинамики. Тензоры деформаций и напряжений. Интегралы Бернулли и Коши. Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Ударные волны.

Литература

1. Ольховский. И.И. Курс теоретической механики для физиков. М.: Изд-во МГУ, 1978.
2. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1988.
3. Халилов В.Р., Чижов Г.А. Динамика классических систем. М.: Изд-во МГУ, 1993.
4. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1988.
5. Петкевич Б.В. Теоретическая механика. М.: Наука, 1989.

Молекулярная физика

Термодинамические (ТД) потенциалы и их свойства. Условия ТД-равновесия и устойчивости. Фазовые переходы.

Смешанное состояние. Матрица плотности. Канонические распределения Гиббса. Переход к статистической механике классических систем. Идеальный и неидеальный газ. Вириальное разложение. Системы с кулоновским взаимодействием. Дебаевское экранирование. Идеальные газы Ферми и Бозе и их ТД-свойства. Теплоемкость двухатомного газа. Равновесное излучение. Формула Планка. Теплоемкость твердых тел по Дебаю.

Квази-ТД теория флуктуаций. Случайный стационарный марковский гауссовский процесс и его временная корреляционная функция. Уравнение Смолуховского и уравнение Фоккера-Планка.

Кинетические уравнения Больцмана. H-теорема. Уравнение Власова. Плазменные волны. Затухание Ландау.

Литература

1. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: Изд-во МГУ, 1991.
2. Квасников И. А. Теория неравновесных систем. М.: Из-во МГУ, 1987.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. 1976.

Электричество и магнетизм

Уравнения Максвелла в вакууме. Уравнения для потенциалов при калибровке Лоренца. Разложение потенциалов электромагнитного поля для стационарных систем по мультиполям. Решение уравнений для потенциалов в виде запаздывающих потенциалов.

Излучение электромагнитных волн в электрическом дипольном приближении, интенсивность и угловое распределение, поляризация. Радиационное трение. Рассеяние электромагнитных волн на зарядах.

Законы преобразования плотностей заряда и тока, потенциалов и полей при преобразованиях Лоренца. Преобразования частоты и волнового вектора электромагнитной волны, эффект Допплера. Законы преобразования энергии и импульса, связь энергии, импульса, массы и скорости релятивистской частицы. Функции Лагранжа для электромагнитного поля при заданных зарядах и токах. Уравнение движения релятивистской заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле.

Уравнения Максвелла в среде, материальные уравнения и граничные условия. Пространственная и временная дисперсии. Закон сохранения энергии и

электродинамике покоящихся тел.

Квазистационарное приближение в макроскопической электродинамике, основные уравнения и границы применимости. Скин-эффект.

Дисперсия диэлектрической проницаемости, физический смысл комплексной диэлектрической проницаемости. Формула Крамерса-Кронига. Излучение Вавилова-Черенкова.

Литература

1. Власов А.А. Макроскопическая электродинамика. М.: Гостехиздат, 1955.
2. Денисов В.И. Введение в электродинамику сплошных сред. М.: Изд-во МГУ, 1989.
3. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982.

Оптика

Основы электромагнитной теории света. Волновое уравнение. Энергия и импульс оптических волн, световое давление. Поляризация света.

Интерференция света. Временная и пространственная когерентность. Интерферометры.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля, интеграл Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Спектральные приборы. Дифракционная теория формирования изображений.

Дисперсия света. Рассеяние света. Распространение оптических волн в анизотропных средах.

Основы теории излучения. Законы теплового излучения конденсированных сред, формула Планка. Излучение света атомами и молекулами. Двухуровневая система, спонтанные и вынужденные переходы. Усиление света, лазеры.

Нелинейно-волновые явления: генерация гармоник и комбинационных частот, самовоздействие.

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М. 1976.
2. Калитеевский Н.И. Волновая оптика, М.: Высшая школа. 1978.
3. Бутиков Б.И. Оптика. М.: Высшая школа, 1986.

Квантовая физика

Постоянная Планка и ее экспериментальное определение. Опыт Штерна и Герлаха. Уравнение Шредингера и его свойства. Законы изменения и сохранения физических величин. Принцип неопределенности Гейзенберга. Чистые и смешанные состояния, матрица плотности, определение физических величин в чистом и смешанном состояниях. Энергетические спектры гармонического осциллятора и атома водорода в нерелятивистском приближении; спектр углового момента. Туннельный эффект.

Первый порядок теории возмущений в отсутствие и при наличии вырождения. Эффект Штарка. Сечение упругого рассеяния частиц в борновском приближении. Роль обменных эффектов при рассеянии тождественных частиц.

Гамильтонова и ковариантная форма уравнения Дирака, его свойства. Тонкая структура атома, лэмбовский сдвиг уровней, эффект Зеемана.

Система тождественных частиц, симметричные и антисимметричные состояния. Молекула водорода, силы Ван-дер-Ваальса.

Вторичное квантование в случае Бозе- и Ферми-частиц; оператор Гамильтона в представлении вторичного квантования. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля; интенсивности излучения и поглощения фотонов в дипольном приближении. Простейшие диаграммы Фейнмана и сопоставление им матричных элементов. Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул.

Литература

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1973.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1974.
3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. М.: Наука, 1983.
4. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. М.: Просвещение, 1965.
5. Мессиа А. Квантовая механика. т.1,2. Наука, 1978.

Физика конденсированного состояния

1. Кристаллическая решетка, фононы

1.1. Простые и сложные кристаллические решетки. Прямая и обратная решетки кристалла. Зоны Бриллюэна.

1.2. Природа сил взаимодействия атомов в кристалле. Колебания и волны в простой решетке. Нормальные координаты, фононы. Взаимодействие фононов.

1.3 Тепловые свойства решетки. Теплоемкость, тепловое расширение и теплопроводность, параметр Грюнайзена.

2. Нормальные и квантовые жидкости. Сверхтекучесть

- 2.1. Нормальные жидкости. Элементарные возбуждения в нормальных жидкостях, фононы.
- 2.2. Квантовая бозе-жидкость. Элементарные возбуждения в квантовой бозе-жидкости. Фононы и ротоны. Сверхтекучесть.
- 2.3. Вырожденный почти идеальный бозе-газ. Преобразование Боголюбова. Волновая функция конденсата.

3. Электронные состояния

- 3.1. Электрон в периодическом поле. Теорема Блоха. Приближение почти свободных и сильносвязанных электронов.
- 3.2. Металлы, диэлектрики и полупроводники.
- 3.3. Локализованные состояния электрона в кристалле. Функции Ванье. Движение электрона в поле примеси. Экситоны. Поляроны.
- 3.4. Статистическое равновесие свободных электронов в металлах и полупроводниках. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Концепция квазичастиц. Ферми-жидкость.
- 3.5. Теплоемкость свободных электронов в металлах и полупроводниках.
- 3.6. Полупроводниковые кристаллы, собственная и примесная проводимость. Полупроводниковые приборы.

4. Неупорядоченные системы

- 4.1. Точечные дефекты кристаллической решетки. Статистика дефектов. Процессы рекомбинации на дефектах решетки.
- 4.2. Локализованные колебания решетки, локальные моды. Электрон-фононное взаимодействие на дефектах кристаллической решетки.
- 4.3. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке. Локализация Андерсона. Длина локализации. Плотность состояний.
- 4.4. Явления переноса в неупорядоченной решетке. Перенос по распространенным состояниям. Вероятность перескока. Перескоки постоянной и переменной длины. Проводимость в примесных зонах и в аморфных полупроводниках.
- 4.5. Спиновые стекла. Теплопроводность и теплоемкость стекол.

5. Кинетические свойства металлов и полупроводников

- 5.1. Проводимость и теплопроводность. Концепция длины свободного пробега.
- 5.2. Процессы рассеяния. Рассеяние на примесях. Рассеяние на фононах. Процессы переброса.
- 5.3. Гальваномагнитные свойства. Эффект Холла в слабом и сильном магнитных полях.

5.4. Термомагнитные и термоэлектрические явления. Термоэдс. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.

6. Оптические свойства

- 6.1. Дисперсия и поглощение света кристаллами.
- 6.2. Оптические свойства металлов и полупроводников.
- 6.3. Межзонные переходы.
- 6.4. Поглощение света свободными носителями.

7. Диамагнетизм и парамагнетизм

- 7.1. Намагниченность и восприимчивость. Восприимчивость диэлектриков с полностью заполненными оболочками. Ларморовский диамагнетизм. Правила Хунда. Восприимчивость диэлектриков с частично заполненными оболочками. Парамагнетизм.
- 7.2. Термодинамические свойства парамагнитных диэлектриков. Адиабатическое размагничивание.
- 7.3. Восприимчивость металлов. Парамагнетизм Паули. Диамагнетизм Ландау.
- 7.4. Эффект Де Газа - Ван Альфвена и Шубникова - Де Гааза. Измерение парамагнитной восприимчивости Паули методом ЯМР.

8. Магнетизм

- 8.1. Магнитные свойства двухэлектронной системы. Синглетные и триплетные состояния. Спиновый Гамильтониан, и модель Гейзенберга.
- 8.2. Прямой обмен, сверхобмен, косвенный обмен и обмен между делокализованными электронами.
- 8.3. Магнитные взаимодействия в газе свободных электронов. Модель Хаббарда. Минимум электросопротивления и теория Кондо.
- 8.4. Типы магнитных структур. Основное состояние Гейзенберговского ферромагнетика. Основное состояние Гейзенберговского антиферромагнетика. Спиновые волны. Домены

9. Сверхпроводимость

- 9.1. Эффективное взаимодействие между электронами. Куперовские пары.
- 9.2. Основное состояние сверхпроводника и спектр элементарных возбуждений. Температура сверхпроводящего перехода. Теплоемкость. Ядерная релаксация. Затухание ультразвука. Инфракрасное поглощение.
- 9.3. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Сверхпроводники первого и второго рода. Длина когерентности и глубина проникновения. Термодинамическое критическое поле. Верхнее и нижнее критические поля. Структура Абрикосовских вихрей
- 9.4. Эффект Джозефсона. Квантование потока. Сверхпроводящие квантовые

интерферометры. Туннельные эффекты

10. Экспериментальные методы физики твердого тела

- 10.1. Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры
- 10.2. Электронография и электронная микроскопия.
- 10.3. Эффект Мессбауэра.
- 10.4. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
- 10.5. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.
- 10.6. Оптические методы исследования, возможности, связанные с использованием лазерных источников света. Комбинационное рассеяние света.

Литература

1. Ашкрофт Н. Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979.
2. Абрикосов А.А. Введение в теорию нормальных металлов. М.: Наука, 1972.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
4. Тинкхам М. Введение в сверхпроводимость. М.: Наука, 1980.
5. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика, часть 2. М.: Наука, 1978.
6. Маделунг О. Физика твердого тела: локализованные состояния, часть 2. М.: Наука, 1978.
7. Брус А., Каули Р. Структурные фазовые переходы. М.: Мир, 1984.
8. Киттель У. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
9. Кацнельсон А.А. Введение в физику твердого тела. М.: Изд. МГУ, 1984.
10. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990.
11. Сиротин С.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979.
12. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
13. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1972.
14. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. Физика мощного лазерного излучения. М.: Наука, 1991.

Структурные аспекты кристаллического состояния

1. Отличительные особенности твердофазного состояния тел. Различные типы классификации твердых тел. Структурные типы твердого состояния: кристаллический, поликристаллический, аморфный.
2. Трансляционная инвариантность кристалла. Простые и сложные решетки. Основные типы простых решеток. Индексы Миллера.
3. Сингонии (кристаллические системы) и решетки Бравэ. Точечные группы. Элементы точечной симметрии.
4. Пространственные группы. Таблица сингоний и типов решеток Бравэ.

5. Формулы Лауэ и Вульфа-Брегга для дифракции рентгеновских лучей в кристалле.
6. Обратная решетка. Ячейка Вигнера-Зейтца и первая зона Бриллюэна для обратной решетки.
7. Химическая связь в кристаллах и энергия решетки. Ионные кристаллы. Постоянная Маделунга.
8. Вырожденный идеальный ферми-газ в металлах. Абсолютный нуль температуры. Статистическая трактовка природы сил отталкивания (на примере идеального вырожденного электронного газа).
9. Гибридизация электронных орбиталей в ковалентных кристаллах. Направленные p-орбитали. sp-3 и sp-2 - гибридизация. Природа обменных сил (на примере молекулы водорода).
10. Фазовая проблема РСА. Прямые методы расшифровки кристаллических структур. Паттерсоновские методы расшифровки кристаллических структур.
11. Принцип плотной упаковки. Плотнейшие упаковки шаров. Метод дискретного моделирования упаковок молекул в кристаллах.

Основы зонной теории

1. Общая постановка задачи об энергетическом спектре электронов твердого тела. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация.
2. Одноэлектронное приближение и самосогласованное поле Хартри-Фока. Образование энергетических зон в упрощенной модели кристалла..
3. Теорема Блоха. Условие Борна-Кармана. Выражение волнового вектора электрона через векторы обратной решетки. Зоны Бриллюэна.
4. Зонная теория проводимости (проводники и диэлектрики, полупроводники). Локализованные состояния электрона в кристалле. Теория мелких примесных уровней донора и акцептора. Экситоны.

Колебания атомов кристаллической решетки

1. Потенциалы межатомных взаимодействий. Уравнение движения узла простой линейной решетки. Распространение звуковой волны в упругой среде.
2. Решение уравнения движения для узла простой атомной цепочки. Дисперсионное соотношение. Фазовая и групповая скорости.
3. Нормальные координаты системы связанных осцилляторов. Выражение энергии решетки через нормальные координаты. Нормальные колебания. Квантование энергии нормальных колебаний.
4. Колебания атомов в сложных решетках. Система уравнений движения. Степенное уравнение для частот колебаний в сложной решетке.
5. Дисперсионные соотношения для сложной решетки. Акустическая и оптическая ветви нормальных колебаний.
6. Анализ дисперсионных соотношений для акустических и оптических мод в области больших длин волн.

7. Колебания атомов в трехмерной решетке. Квантование энергии нормальных колебаний. Фононы. Равновесное число фононов в моде. Полная энергия решетки.
8. Функция распределения числа нормальных колебаний по частотам. Полная энергия и теплоемкость решетки в модели Дебая. Температура Дебая.

Литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
6. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988. – 608 с.
7. Физика твердого тела /Под ред. И.К.Верещагина. М.: Высшая школа, 2001. – 237с.
8. Современная кристаллография /Под ред. Б.К. Вайнштейна, А.А.Чернова, Л.А.Шувалова. М.: Наука, 1979.