

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.С. Гуц / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
1.3.8 Физика конденсированного состояния

Красноярск 2023

Основная часть

1. Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГТТУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера -Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана -Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Елоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри -Вейсса.

Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

10. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Дополнительная часть

1. Структура твердых тел

Неупорядоченные твердые тела. Способы их получения.

Позиционный беспорядок. Ориентационный беспорядок. Беспорядок в молекулярных кристаллах. Аморфные диэлектрики. Дальний и ближний порядок. Радиус корреляции. Физические свойства неупорядоченных твердых тел. Фракталы.

2. Энергетический спектр кристаллов

Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Эффект де Гааза-ван Альфена. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле.

Эффект Ахаронова-Бома. Квантовый эффект Холла.

Электронные системы с сильными корреляциями. Модель Хаббарда. Тяжелые фермионы.

3. Электронные кинетические свойства твердых тел

Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные столкновения. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.

Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий и кремний. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости, p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Эффект Ганна.

4. Диэлектрики

Электронная энергетическая структура диэлектриков. Электростатика и термодинамика диэлектриков. Внутреннее поле. Электронная, ионная и ориентационная поляризуемость. Диэлектрическая релаксация и диэлектрические потери.

Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.

5. Фазовые переходы

Равновесие фаз. Фазовые переходы II рода и флуктуации. Фазовые переходы в магнитных системах, кристаллах, сегнетоэлектриках, сверхпроводниках, жидких кристаллах, растворах. Фазовые переходы I рода, гистерезис и кинетика фазового превращения.

Спонтанное нарушение симметрии. Параметр порядка. Дальний и ближний порядок. Корреляции. Флуктуационно-диссипативная теорема. Теорема Мермина-Вагнера. Теорема Голдстоуна. Технологические фазовые переходы.

Переходы металл-диэлектрик в системе электронов. Переход Андерсона. Край подвижности в электронном спектре. Переход Мотта.

Теория протекания. Фракталы.

6. Экспериментальные методы физики твердого тела

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Синхронное излучение и его использование. Электронография и электронная микроскопия. Туннельная спектроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра. ЭПР, ЯМР. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках. Оптические методы исследования; возможности, связанные с использованием лазерных источников света. Способы исследования атомно-неупорядоченных (аморфных) твердых тел. Калориметрия и дилатметрия.

Основная литература

1. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела. Учеб, пособие для вузов. М.: Издательство физико-математической литературы, 2001.
2. Артамонов, В.А. Группы и их приложения в физике, химии, кристаллографии/ В.А. Артамонов, Ю.Л. Словохотов // М.: Издательский центр “Академия”. - 2005. -512 с.
3. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Часть 1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц// М.: ФИЗМАТЛИТ.-2010. -616 с.
4. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц// М.: ФИЗМАТЛИТ.-2004. -800 с.
5. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд / под ред. К.М. Рабе,
6. Ч.Г. Ана, Ж.-М. Трискона; пер. с англ.// М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2011.-440 с.
7. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
8. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1, II. М.: Мир, 1979.
9. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
10. Займан Дж, Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
11. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш, шк., 2000.
12. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
13. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
14. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

Дополнительная литература

1. Артамонов, В.А. Группы и их приложения в физике, химии, кристаллографии/ В.А. Артамонов, Ю.Л. Словохотов /М.: Издательский центр “Академия”. - 2005. -512 с.
2. Ч. Киттель Введение в физику твердого тела. Физматгиз, 1983.
3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М: Мир, 1979
4. У. Уэрт, Р. Томпсон. Физика твердого тела. М: Мир, 1969
5. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. Изд.2, М: Мир, 1974
6. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. М.: Наука, 1976
7. Р. Уайт, Т.Джебел. Дальний порядок в твердых телах. М: Мир, 1982.
8. Л. Д. Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика. М.: Наука, 1976
9. Ю.И.Сиротин, М.П. Шастокольская. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979
10. Ю.А.Келли, Г.Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах. М.: Мир, 1974
11. Б.И.Шкловский, А.Л. Эфрос. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979.
12. Т. Мосс, Г.Баррел, Б.Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир, 1976.
13. А. Роуз-Инс, Е. Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1924
14. Г.А. Смоленский и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. М.: Наука, 1971

15. В.Г.Вакс. Введение в микроскопическую теорию сегнетоэлектричества. М.: Наука, 1973.
16. С.К. Ма. Современная теория критических явлений. М.: Мир, 1981.
17. Н. Парсонидж, Л. Стейли. Беспорядок в кристаллах. М.: Мир, 1982.
18. Дж. Займан. Модели беспорядка. М.: Мир, 1982.
19. А.Л. Эфрос. Физика и геометрия беспорядка. М.: Наука, 1983
20. И.М. Соколов. Размерности и другие критические показатели в теории протекания//УФН Т.150, в.2, 1986.
21. Л.А. Резницкий. Калоритметрия твердого тела . М.: МГУ, 1981.
22. С.И. Новикова Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука, 1974
23. И. А. Киселева, Л.П., Огородова. Термохимия минералов и неорганических материалов. М.: Научный мир. 1997.

Источники Интернет

1. Доступ к библиотечному фонду СФУ <http://bik.sfu-kras.ru/>
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
3. ЭБС «Лань» <http://elanbook.com>
4. ЭБС Znanium <http://znanium.com>
5. Успехи физических наук Журнал Физического института им. П.Н.Лебедева РАН <http://fian.ru>
6. Сайт Института физики им. Л.В.Киренского КНЦ СО РАН www.kirensky.ru

Разработчик

канд. физ.-мат. наук, заведующий базовой кафедрой
физики твердого тела и нанотехнологий



П.П.Турчин