

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение в физику конденсированного состояния

2. Лектор

2.1. д.физ.-мат. наук, профессор Кульбачинский Владимир Анатольевич, кафедра физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

3. Аннотация дисциплины

Цель курса – дать введение в физику конденсированного состояния вещества - как ансамбля взаимодействующих частиц. Рассматриваются элементарные частицы в квантовой механике. Структурные единицы вещества, их роль в формировании конденсированных сред. Структура электронных оболочек атомов. Изучаются атомные и молекулярные орбитали, условия их гибридизации, гибридные орбитали разного типа. Свойства молекул и силы взаимодействия между частицами. Строятся решетки Браве для двумерных и трехмерных кристаллов. Рассматривается представление Вигнера-Зейтца, обратные решетки. Вводится концепция квазичастиц, позволяющая рассматривать элементарные возбуждения сильновзаимодействующих частиц в конденсированном состоянии вещества как слабо неидеальный газ элементарных возбуждений. Рассматриваются особенности таких квазичастиц как фононы и электроны. Рассматриваются тепловые возбуждения решетки – фононы, модель Дебая. Рассчитываются плотности состояний и теплоемкости твердых тел различной размерности. Для элементарных возбуждений вводятся понятия зон Бриллюэна. Строятся зоны Бриллюэна. Демонстрируются последние достижения и открытия в области физики конденсированного состояния вещества.

4. Цели освоения дисциплины.

Цель курса - освоение студентами основных понятий и знаний в области физики конденсированного состояния вещества, кристаллических решеток, фононов и электронов, их законов дисперсии, зонной структуры твердого тела, понятий зон Бриллюэна для элементарных возбуждений.

5. Задачи дисциплины.

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния вещества как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундамент знаний в области физики конденсированного состояния;
- обучение студентов основным понятиям в физике конденсированного состояния, подготовка к изучению последующих специальных дисциплин;
- формирование подходов к выполнению самостоятельных исследований студентами в области физики конденсированного состояния вещества в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

ОНК-1, ПК-1; ОНК-5; ИК-1; ИК-2; ИК-3; ИК-4

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

ПК-2; ПК-3; ПК-6

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен знать

- современные теоретические и экспериментальные подходы в физике конденсированного состояния вещества;
- понятия фононов, теоретические модели в физике конденсированного состояния вещества и ее приложениях;
- концепцию квазичастиц в физике конденсированного состояния вещества;

уметь

- рассчитывать параметры фононов, такие как теплоемкость, средняя энергии, вероятность возбуждения фононов;
- уметь использовать и строить модели энергетического спектра фононов;

владеть

- основными методами расчета параметров фононов в кристаллах

иметь опыт деятельности

- выполнения простейших физических расчетов и подготовки научных сообщений

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр 6	Всего
Общая трудоёмкость, акад. часов	72	72
Аудиторная работа:	34	34
Лекции, акад. часов	34	34
Семинары, акад. часов	-	-
Лабораторные работы, акад. часов	-	-
Самостоятельная работа, акад. часов	38	38
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	экзамен	экзамен

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа		
		Лекции	Семинары			Лабораторные работы
1	Конденсированное состояние как ансамбль взаимодействующих частиц. Структурные единицы вещества, орбитали.	№1. 2 часа. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия, статистики структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. Повторение материала о роли ядер, электронных оболочек, статистики в формировании свойств структурных единиц	Оп, Об, Дз
		№2. 2 часа. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода. Атомные орбитали. Их гибридизация. Правила Хунда.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Повторение атома водорода, уровней энергии, волновых функций, радиусов орбит.	
		№3. 2 часа. Многоатомные частицы, молекулярные орбитали. Связывающие и разрыхляющие орбитали. Сигма и пи орбитали. Энергия молекулярных орбиталей. Прочность химической связи.			3 часа. Работа с лекционным материалом: Связывающие и разрыхляющие орбитали. Сигма и пи орбитали. Построение гибридных орбиталей.	
2	Свойства молекул, взаимодействия между частицами, жидкости и твердые тела.	№4. 2 часа. Дипольные моменты молекул. Магнитные свойства молекул. Взаимодействия молекул, ионная, ковалентная, водородная, металлическая связи. Взаимодействие Ван дер Вальса. Жидкости и твердые тела.			3 часа. Работа с лекционным материалом: Взаимодействия молекул, ионная, ковалентная, водородная, металлическая связи. Повторение материала о силах взаимодействия, приводящих к образованию кристаллов	Оп, Об

3	Кристаллические решетки Браве. Обратные решетки. Ячейка Вигнера –Зейтца.	№5. 2 часа. Кристаллическая структура и ее описание. Трехмерные кристаллические решетки Браве. Элементы симметрии кристаллических решеток Браве. Энергия связи кристалла и ее расчет. Построение ячеек Вигнера-Зейтца. Построение обратных решеток для трехмерных решеток Браве.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Кристаллическая структура и ее описание. Рассмотрение материала о кристаллических решетках двумерных кристаллов. Рассмотрение материала о кристаллических решетках трехмерных кристаллов. Построение кристаллических решеток с указанием всех элементов симметрии. Решение задач на тему “Энергия связи кристалла”	Оп, Об, Дз
4.	Зоны Бриллюэна.	№7. 2 часа. Зоны Бриллюэна. Построение зон Бриллюэна для двумерных плоских решеток.			2 часа. Работа с лекционным материалом: зоны Бриллюэна. Построение вторых и третьих зон Бриллюэна для различных решеток. Подготовка к контрольной работе.	КР, Оп, Об
		№8. 2 часа. Построение зон Бриллюэна для различных трехмерных кристаллических решеток.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Построение зон Бриллюэна. Работа с лекционным материалом. Построение зон Бриллюэна для различного типа решеток.	
5.	Тепловые возбуждения решетки. Фононы.	№9. 2 часа. Основное состояние кристалла. Нулевые колебания. Методы описания тепловых колебаний решетки. Одномерная цепочка атомов. Фононы. Стоячие волны, бегущие волны.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Нулевые колебания. Решение задач на тему "Колебания одномерной цепочки атомов"	Оп, Об, Дз
		№10. 2 часа. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов. Учет взаимодействия вторых соседей.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов.	
		№11. 2 часа. Акустические фононы в трехмерных решетках. Энергетический спектр акустических фононов. Спектральная плотность акустических фононов.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Акустические фононы в трехмерных материалах. Решение задач на тему "Акустические фононы"	Дз, Оп, Об

		№12. 2 часа. Спектральная плотность акустических фононов в двумерных и одномерных системах. Особенности ван Хова в трехмерных, двумерных и одномерных системах.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Спектральная плотность акустических фононов.	
		№13. 2 часа Статистика акустических фононов. Среднее число фононов, средняя энергия фононов, температура Дебая.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Статистика акустических фононов. Построение поверхностей Ферми для различного типа решеток и валентностей металлов	
6.	Оптические фононы.	№14. 2 часа. Закон дисперсии оптических фононов для одномерной цепочки чередующихся атомов двух сортов с одной степенью свободы. Закон дисперсии оптических фононов для одномерной цепочки чередующихся атомов двух сортов с тремя степенями свободы.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Закон дисперсии оптических фононов. Решение задач на тему "Расчет фазовой и групповой скоростей фононов"	Дз, Оп, Об
		№15. 2 часа. Оптические фононы в кристаллах. Статистика оптических фононов. Спектральная плотность оптических фононов.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Спектральная плотность оптических фононов. Подготовка к контрольной работе	
7.	Теплоемкость решетки	№16. 2 часа. Энергия тепловых колебаний решетки. Модель Дебая. Закон Дюлонга – Пти. Температурная зависимость теплоемкости.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Модель Дебая для фононов. Решение задач на тему "Энергия тепловых колебаний решетки".	Оп, Об, Кр
		№17. 2 часа Теплоемкость низкоразмерных кристаллических решеток – двумерных и одномерных.			2 часа. Работа с лекционным материалом: Теплоемкость двумерных и одномерных кристаллических решеток.	

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является обязательной.
2. Вариативная часть, профессиональный блок, модуль «Дисциплины профиля».
3. Курс является теоретическим базисом к специальному физическому практикуму, последующим дисциплинам специализации и неразрывно связан с дисциплинами общей физики и математики младших курсов.

3.1. Курс базируется на дисциплинах: Термодинамика, Механика, Электромагнетизм, Оптика, Введение в квантовую физику, Физика атомного ядра и частиц, Математический анализ, Теория функций комплексной переменной, Дифференциальные уравнения.

3.2. Этот курс необходим как предшествующий для специального физического практикума, научно-исследовательской практики, научно-исследовательской работы, дисциплин: «Экспериментальные методы физики низких температур», «Введение в физику сверхпроводимости», "Квантовая теория твердого тела", "Основы физики полупроводников", "Экспериментальные методы физики низких температур", "Упругие и тепловые свойства твердых тел", "Экспериментальные методы физики конденсированного состояния".

10. Образовательные технологии

использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса, преподавание дисциплины в форме авторского курса по программе, составленной на основе результатов исследований научной группы профессора В.А. Кульбачинского.

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Образцы домашних заданий:

1. Построить p-орбитали.
2. Построить d-орбитали: d_{z^2} ($m=0$, сечение в плоскости xz); d_{xz} ($m=+1$, сечение в плоскости xz); d_{zy} ($m=-1$, сечение в плоскости yz); $d_{x^2-y^2}$ ($m=+2$, сечение в плоскости xy); d_{xy} ($m=-2$, сечение в плоскости xy);
3. Какова вероятность возбуждения двух фононов с максимальной частотой при температуре Дебая?
4. Вывести плотность состояний фононов в трехмерном случае в модели Дебая.
5. Какова вероятность возбуждения трех фононов с максимальной частотой при температуре в два раза меньшей температуры Дебая?
6. Вывести плотность состояний фононов в двухмерном случае.
7. Построить ячейку Вигнера-Зейтца для решетки ОЦК.
8. Указать все элементы симметрии решеток ГЦК.

Пример вопросов для опроса

1. Необходимые условия для гибридизации орбиталей.
2. От каких факторов зависит пространственная симметрия орбиталей.
3. Построить гибридную пи-орбиталь, сигма-орбиталь и указать принципиальные их отличия.
4. Получить зависимость фазовой скорости фононов от волнового вектора в первой и последующих зонах Бриллюэна.
5. Основные положения модели Дебая колебаний кристаллической решетки.
6. Понятия зон Бриллюэна для фононов.

Пример тем для обсуждения

1. Общая картина колебаний кристаллической решетки.
2. Ангармонизм колебаний кристаллической решетки и его связь с тепловым расширением.
3. Роль нулевых колебаний в свойствах кристаллов.

Пример письменной контрольной работы:

1. Нарисовать все Браве и перечислить все возможные элементы симметрии.
2. Какова вероятность возбуждения одного фонона с максимальной частотой при температуре Дебая ?
3. Вывести плотность состояний фононов в модели Дебая.
5. Изобразить графически волну оптического колебания для цепочки атомов двух сортов (расположенных через один), находящихся на расстоянии a друг от друга, при длине волны $\lambda=10a$.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества.
2. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия, статистики структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред.
3. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода.
4. Геометрия волновых функций s, p, d, f состояний. Атомные орбитали.
5. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда.
6. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей, π , σ и δ связи.
7. Молекулярные орбитали: связывающие, разрыхляющие и несвязывающие, многоцентровые и двухцентровые орбитали.
8. Энергия молекулярных орбиталей и валентных связей. Прочность химической связи.
9. Дипольные моменты молекул.
10. Магнитные свойства молекул.
11. Различные типы взаимодействий в конденсированных средах
12. Жидкости
13. Кристаллическая структура и ее описание. Кристаллические решетки Браве.
14. Ячейка Вигнера-Зейтца, ее построение.
15. Обратная решетка. Построение обратных решеток для трехмерных решеток Браве.
16. Квазичастицы, Основные характеристики квазичастиц.
17. Основное состояние кристалла. Нулевые колебания.
18. Методы описания тепловых колебаний кристаллической решеток. Фононы. Стоячие волны. Бегущие волны.
19. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с двумя ближайшими соседями.
20. Закон дисперсии акустических фононов в одномерной цепочке атомов при учете взаимодействия атома с четырьмя ближайшими соседями.
21. Энергетический спектр акустических фононов. Статистика акустических фононов, средняя энергия фононов. Среднее число фононов.
22. Температура Дебая.
23. Теплоемкость решетки. Модель Дебая.
24. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях.
25. Особенности распространения звуковых волн в трехмерных кристаллах. Зоны Бриллюэна.
26. Поверхности постоянной частоты фононов.
27. Оптические фононы. Закон дисперсии оптических фононов для линейной цепочки двух чередующихся сортов атомов с одной степенью свободы.
28. Закон дисперсии оптических фононов для линейной цепочки двух чередующихся сортов атомов с тремя степенями свободы. Оптические фононы в трехмерных кристаллах.
29. Спектральная плотность оптических фононов.
30. Общая картина спектра колебаний кристаллической решетки.
31. Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс Ферми.

32. Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Зонная структура твердого тела.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния, Москва, Физматлит, 2016, 634 стр.

Дополнительная литература:

1. Ч. Киттель, Квантовая теория твердых тел, Москва, Наука, Главная редакция физ. мат. литературы, 1967, 492 стр.

13. Материально-техническое обеспечение

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

Лекции читаются в криогенном корпусе (кафедра физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ, ул. академика Хохлова, строение 8, 2 этаж, аудитория 2-05. В аудитории имеется проекционное оборудование, ноутбук, экран, доска.