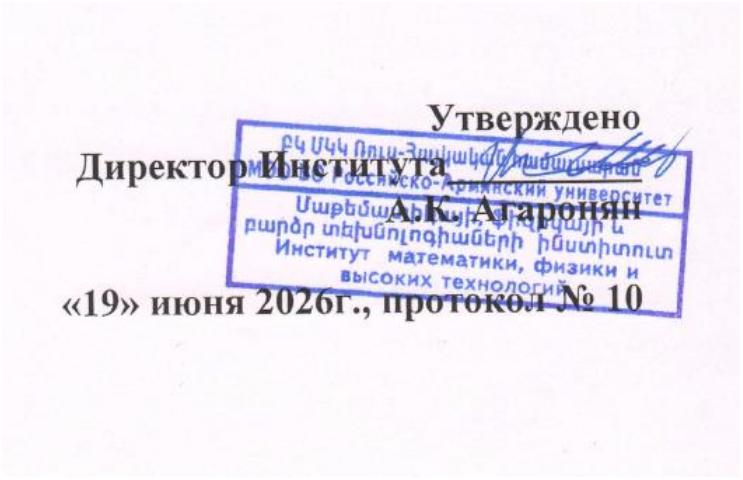
Межгосударственная образовательная организация
высшего образования
«Российско-Армянский университет»



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.08 Квантовая теория твердого тела

Автор (ы) к.ф.-м.н., старший преподаватель Костанян Артавазд Арамович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Курс квантовой теории твердого тела является одним из основополагающих, для подготовки специалистов в области физики полупроводников, квантовых наноструктур и т.д.. Данная дисциплина изучает фундаментальные квантовомеханические принципы, лежащие в основе свойств и поведения твердых тел. Основное внимание, уделяется описанию электронных, фононных и спиновых процессов в кристаллических и аморфных материалах, а также взаимодействию частиц с внешними полями.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

6 з.е. (216ч.), экзамен

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Теоретическая механика, Квантовая механика, Кинетические явления в полупроводниках.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)*	**Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)*
ПК-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию	ПК-2.1 ПК-2.2	Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач Умеет использовать алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков

		ПК-2.3	программирования Владеет навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель – формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел, металлов, полупроводников и неупорядоченных диэлектриков при создании элементов, приборов и устройств микро- и наноэлектроники.

Задачи дисциплины направлены на формирование глубокой теоретической подготовки и навыков анализа квантовых явлений в твердых телах, необходимых для исследований и разработок в области физики конденсированного состояния.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) ***(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)***

Виды учебной работы	**Всего, в акад. часах**	**Распределение по семестрам**
		1 сем
1	**2**	**3**
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	**216**	**216**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**64**	**64**
1.1.1. Лекции	**32**	**32**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**32**	**32**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**125**	**125**
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен**	**27**

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4+5+6+7	3	4
Введение			
Раздел 1. Основные приближения квантовой теории твердого тела	8	4	4
Тема 1. Общая постановка задачи		2	
Тема 2. Адиабатическое приближение		4	
Тема 3. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Одноэлектронное приближение.		2	
Раздел 2. Основы зонной теории твердых тел	12	6	6
Тема 4. Электрон в периодическом поле			
Тема 5. Периодические функции			
Тема 6. Свойства обратной решетки			
Тема 7. Теорема Блоха			
Тема 8. Волновая функция электрона в периодическом поле			
Тема 9. Граничные условия Борна-Кармана			
Тема 10. Зоны Бриллюэна.			
Тема 11. Плотность состояний			
Раздел 3. Методы расчета зонной теории	12	6	6
Тема12. Модель Кронига-Пенни			
Тема13. Приближение почти свободных (слабо связанных) электронов			
Тема14. Приближение сильно связанных электронов			
Тема15. Метод Вигнера Зейца и метод ячеек			
Тема16. Метод присоединенных плоских волн			
Тема17. Классификация кристаллов согласно зонной теории			
Тема18. Структура энергетических зон некоторых полупроводников			
Раздел 4. Взаимодействие между электронами	8	4	4
Тема 19. Формулировка с помощью теории возмущений			
Тема 20. Формула Линдхарда			
Тема 21. Экранировка статического поля			
Тема 22. Экранировка поля примеси			
Тема 23. Диэлектрическая проницаемость полупроводника			
Тема 24. Плазменные колебания			
Раздел 5. Основные уравнения движения электрона в периодическом поле	6	4	2
Тема 25. Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле			
Тема 26. Теорема Ванье			
Тема 27. Эффективная масса			

Тема 28. $\vec{kp}$ возмущение			
Раздел 6. Локализованные состояния электрона в кристалле	8	4	4
Тема 29. Функции Ванье			
Тема 30. Движение электрона в поле примеси			
Тема 31. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке			
Тема 32. Экситоны			
Тема 33. Поляроны			
Раздел 7. Колебания решетки	10	4	6
Тема 34. Классическая теория динамики решетки			
Тема 35. Колебания и волны в кристаллах в приближении изотропного континуума			
Тема 36. Квантование колебаний кристаллической решетки			
Тема 37. Простой гармонический осциллятор			
Тема 38. Операторы уничтожения и рождения			
Тема 39. Линейная цепочка связанных осциллятров			
Тема 40. Трехмерные решетки			
Тема 41. Понятие о фононах. Их статистика, число и энергия			
Тема 42. Теория теплоемкости кристаллической решетки			
Тема 43. Фонон-фононное взаимодействие			
Тема 44. Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела			
ИТОГО	**64**	**32**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Введение

Раздел 1. Основные приближения квантовой теории твердого тела.

Общая постановка задачи. Адиабатическое приближение. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Одноэлектронное приближение.

Литература:

1. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. О. Маделунг. Теория твердого тела. -М.: Наука, 1980.

Раздел 2. Основы зонной теории твердых тел.

Электрон в периодическом поле. Периодические функции. Свойства обратной решетки. Теорема Блоха. Волновая функция электрона в периодическом поле. Граничные условия Борна-Кармана. Зоны Бриллюэна. Плотность состояний.

Литература:

1. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. Ч. Киттель. Квантовая теория вердых тел. -М.: Наука, 1967.
3. Дж. Займан. Принципы физики твердого тела. .- М.: Мир, 1974.

Раздел 3. Методы расчета зонной теории.

Модель Кронига-Пенни. Приближение почти свободных (слабо связанных) электронов. Приближение сильно связанных электронов. Метод Вигнера Зейца и метод ячеек. Метод присоединенных плоских волн. Классификация кристаллов согласно зонной теории. Структура энергетических зон некоторых полупроводников.

Литература:

1. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. Ա.Ա. Կիրակոսյան, Պինդ մարմնի ֆիզիկայի ներածություն – Մաս II, 1999թ.,Երևան

Раздел 4. Взаимодействие между электронами.

Формулировка с помощью теории возмущений. Формула Линдхарда. Экранировка статического поля. Экранировка поля примеси. Диэлектрическая проницаемость полупроводника. Плазменные колебания.

Литература:

1. Дж. Займан. Принципы физики твердого тела. .- М.: Мир, 1974.

Раздел 5. Основные уравнения движения электрона в периодическом поле.

Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле. Теорема Ванье. Эффективная масса. $\vec{kp}$ возмущение.

Литература:

1. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. Ч. Киттель. Квантовая теория вердых тел. -М.: Наука, 1967.

Раздел 6. Локализованные состояния электрона в кристалле.

Функции Ванье. Движение электрона в поле примеси. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке. Экситоны. Поляроны.

Литература:

1. А.И. Ансельм. “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. Ч. Киттель. Квантовая теория вердых тел. -М.: Наука, 1967.
3. ***Раздел 7. Колебание решетки.***

Классическая теория динамики решетки. Колебания и волны в кристаллах в приближении изотропного континуума. Квантование колебаний кристаллической решетки. Простой гармонический осциллятор. Операторы уничтожения и рождения. Линейная цепочка связанных осциллятров. Трехмерные решетки. Понятие о фононах. Их статистика, число и энергия. Теория теплоемкости кристаллической решетки. Фонон-фононное взаимодействие. Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела.

Литература:

1. А.И. Ансельм. “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
2. Дж. Займан. Принципы физики твердого тела. .- М.: Мир, 1974.
3. Է.Մ. Ղազարյան, Ա.Լ. Վարդանյան, Պինդ մարմնի քվանտային տեսություն, 1997թ., Երևան

2.3.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для эффективного освоения курса используется следующее материально-техническое обеспечение:

1. **Учебные и методические материалы**
   - Лекционные презентации и конспекты.
   - Электронные учебники и монографии по квантовой теории твердого тела.
   - Доступ к онлайн-базам научных статей (Scopus, Web of Science, arXiv).
2. **Программное обеспечение и вычислительные ресурсы**
   - Программы для моделирования электронных структур.
   - Пакеты для анализа экспериментальных данных (Origin, MATLAB, Python с библиотеками NumPy, SciPy).

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)	Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля	Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей	Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля

Вид учебной работы/контроля	**М1[1]**	**М2**	**М1**	**М2**	**М1**	**М2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				
Устный опрос *(при наличии)*								
Тест *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Реферат *(при наличии)*								
Эссе *(при наличии)*								
Проект *(при наличии)*								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**

3. Теоретический блок *(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)*

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и)

1. Ч. Киттель. Квантовая теория вердых тел. -М.: Наука, 1967.
2. А.И. Ансельм - “Введение в теорию полупроводников”, М. “Наука”,1978г.
3. Н.Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела.- М.: Мир, 1979, Т.1,2.
4. Дж. Блекмор. Физика твердого тела. .- М.: Мир, 1988
5. Дж. Займан. Принципы физики твердого тела. .- М.: Мир, 1974.
6. Дж. Каллуэй. Теория энергетической зонной структуры.- М.: Мир, 1969.

[1] Учебный Модуль

7. Г.Джонс. Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристалле. - М.: Мир, 1968.
8. Дж. Слэтер. Методы самосогласованного поля для молекул и твердых тел. -М.: Мир, 1978
9. В.В. Немошкаленко и В.И. Антонов. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. - Киев: Наукова Думка, 1985.
10. О. Маделунг. Теория твердого тела. -М.: Наука, 1980.

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я)

1. Ա.Ա. Կիրակոսյան, Պինդ մարմնի ֆիզիկայի ներածություն – Մաս II, 1999թ.,Եր
2. Է.Մ. Ղազարյան, Ա.Լ. Վարդանյան, Պինդ մարմնի քվանտային տեսություն, 1997թ., Երևան

4. Фонды оценочных средств ***(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).***

4.1. Планы практических занятий

1. Общая постановка задачи
2. Адиабатическое приближение
3. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Одноэлектронное приближение.
4. Электрон в периодическом поле
5. Периодические функции
6. Свойства обратной решетки
7. Теорема Блоха
8. Волновая функция электрона в периодическом поле
9. Граничные условия Борна-Кармана
10. Зоны Бриллюэна.
11. Плотность состояний
12. Модель Кронига-Пенни
13. Приближение почти свободных (слабо связанных) электронов
14. Приближение сильно связанных электронов
15. Метод Вигнера Зейца и метод ячеек
16. Метод присоединенных плоских волн
17. Классификация кристаллов согласно зонной теории
18. Структура энергетических зон некоторых полупроводников
19. Формулировка с помощью теории возмущений
20. Формула Линдхарда
21. Экранировка статического поля
22. Экранировка поля примеси
23. Диэлектрическая проницаемость полупроводника
24. Плазменные колебания
25. Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле
26. Теорема Ванье
27. Эффективная масса

28. Возмущение
29. Функции Ванье
30. Движение электрона в поле примеси
31. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке
32. Экситоны
33. Поляроны
34. Классическая теория динамики решетки
35. Колебания и волны в кристаллах в приближении изотропного континуума
36. Квантование колебаний кристаллической решетки
37. Простой гармонический осциллятор
38. Операторы уничтожения и рождения
39. Линейная цепочка связанных осцилляторов
40. Трехмерные решетки
41. Понятие о фононах. Их статистика, число и энергия
42. Теория теплоемкости кристаллической решетки
43. Фонон-фононное взаимодействие
44. Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Задачники (практикумы);

1. К. Киттель – "Введение в физику твердого тела"
2. Н. Ашкрофт, Н. Мермин – "Физика твердого тела".

4.3. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

1. **Общая постановка задачи**
   - Определите основные принципы квантовой теории твердого тела.
2. **Адиабатическое приближение**
   - Проанализируйте условия применимости адиабатического приближения.
3. **Метод Хартри-Фока**
   - Решите задачу на применение метода самосогласованного поля.
4. **Электрон в периодическом поле**
   - Опишите влияние периодического потенциала на движение электрона.
5. **Обратная решетка и зоны Бриллюэна**
   - Постройте обратную решетку для данной кристаллической структуры.
6. **Теорема Блоха**
   - Доказать теорему Блоха и применить ее к расчету волновой функции.
7. **Модель Кронига-Пенни**
   - Рассчитать энергетические зоны в данной модели.
8. **Экранировка электрического поля**
   - Оцените влияние экранировки на примесные атомы в полупроводнике.
9. **Фононы и их свойства**
   - Опишите статистику фононов и их вклад в теплоемкость твердого тела.
10. **Экситоны и поляроны**
    - Объясните физическую природу экситонов и поляронов.
11. **Эффективная масса электрона**

- Рассчитайте эффективную массу электрона в полупроводнике.

12. **Функции Ванье**
    - Определите свойства функций Ванье и их применение в квантовой теории.
13. **Кванты колебаний кристаллической решетки**
    - Решите задачи на квантование колебаний и построение модели фононов.
14. **Теплопроводность твердых тел**
    - Исследуйте влияние фонон-фононного взаимодействия на теплопроводность.

Задания включают теоретические вопросы, расчетные задачи и моделирование физических процессов.

4.4. Перечень вопросов для экзамена

1. Общая постановка задачи.
2. Адиабатическое приближение
3. Классическая теория динамики решетки.
4. Колебания и волны в кристаллах в приближении изотропного континуума.
5. Квантование колебаний кристаллической решетки.
6. Простой гармонический осциллятор.
7. Операторы уничтожения и рождения.
8. Линейная цепочка связанных осцилляторов.
9. Трехмерные решетки.
10. Понятие о фононах. Их статистика, число и энергия.
11. Теория теплоемкости кристаллической решетки.
12. Фонон-фононное взаимодействие.
13. Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела.
14. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока.
15. Одноэлектронное приближение.
16. Электрон в периодическом поле.
17. Периодические функции. Свойства обратной решетки.
18. Теорема Блоха.
19. Волновые функции электрона в периодическом поле.
20. Граничные условия Борна-Кармана.
21. Зоны Бриллюэна.
22. Плотность состояний электронов.
23. Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле.
24. $\vec{k}\vec{p}$ возмущение.
25. Эффективная масса.
26. Модель Кронига-Пенни.
27. Приближение почти свободных (слабо связанных) электронов.
28. Приближение сильно связанных электронов.
29. Классификация кристаллов согласно зонной теории.
30. Структура энергетических зон некоторых полупроводников.
31. Теорема Ванье.
32. Функции Ванье.
33. Движение электрона в поле примеси.
34. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке.
35. Экситоны.

36. Поляроны.
37. Формулировка с помощью теории возмущений.
38. Формула Линдхарда.
39. Экранировка статического поля.
40. Экранировка поля примеси.
41. Диэлектрическая проницаемость полупроводника.
42. Плазменные колебания.

4.5. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Квантовая теория твердого тела
(бакалавриат IV-ый курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Простой гармонический осциллятор (квант. мех. рассмотрение).
2. Приближение сильно связанных электронов.

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20 г.