

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института 
А.А. Саркисян
«21» июля 2023г.



Инженерно-физический институт

Кафедра Общей физики и квантовых наноструктур

Автор(ы): д.ф.-м.н., профессор Казарян Эдуард Мушегович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.О.21 Квантовая теория твердого тела

Направление: 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

ЕРЕВАН

1. Аннотация

1.1. Выписка из ФГОС ВО РФ по минимальным требованиям к дисциплине – данный курс является специальным и не включен в ФГОС ВО РФ.

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

Курс квантовой теории твердого тела является одним из основополагающих, для подготовки специалистов в области физики полупроводников, квантовых наноструктур и т.д.. Учебный материал этого курса широко используется при преподавании таких дисциплин, как “Физические основы наноэлектроники”, “Оптические свойства полупроводников”, “Квантовые наноструктуры во внешних полях” и т.д..

1.3. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Для прохождения данной дисциплины студент должен обладать знаниями по теории поля, квантовой механике, уравнениям математической физики. Он должен пользоваться методом разделения переменных при решении уравнений в частных производных. Уметь вычислять средние значения квантомеханических величин. Решать уравнение Шредингера в различных координатных системах. Обладать начальными навыками анализа полученных физических результатов.

1.4. Предварительное условие для прохождения (дисциплина(ы), изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Физика твердого тела, Квантовая механика, Теоретическая механика и электродинамика.

1.5. Взаимодействие с другими дисциплинами специальности:

Физика твердого тела, Квантовая механика, Теоретическая механика и электродинамика, Методы математической физики.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины

Учебная дисциплина «Квантовая теория твердого тела» имеет своей целью 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. Трудоемкость дисциплины 4 зач. ед..

Цель предлагаемого курса состоит в том, чтобы дать будущему инженеру-исследователю базовые представления о строении и классификации твердых тел, показать влияние дефектов кристаллической структуры на их свойства, рассмотреть квантовую теорию в применении к твердому телу, продемонстрировать возможности современных методов исследования электронных спектров в кристаллах, на основе которых интерпретируется широкий набор различных физико-механических свойств. Возникает потребность в специалистах в области микро- и нанoeлектроники, которые владели бы аппаратом квантовой механики, и его приложениями к теории твердого тела.

Отметим некоторые особенности данного курса. С фундаментальной точки зрения невозможно точно описать поведение электрона в твердом теле, поэтому необходимо воспользоваться упрощающей физической идеей. Формулируются основные положения, которые позволяют свести многоэлектронную задачу к одночастичной. Вводятся основные понятия зонной теории. Даются представления о современных методах зонной теории. Сложность данного раздела - пояснить студентам, что представление волновых функций в кристалле - это сильное ограничение, а строгая периодичность - это идеализация. Поэтому задача искусственно разбивается на две части: рассмотрение гипотетического идеального кристалла и изучение влияния на свойства этого кристалла всевозможных отклонений от полной периодичности, которые рассматриваются как малые возмущения. В заключении дается представление об электрон-электронном взаимодействии и явлениях, которые невозможно описать в простом приближении самосогласованного поля.

Квантовая теория твердого тела является одним из основных элементов базового физического образования. По квантовой теории твердого тела издана обширная библиография, охватывающая практически все ее аспекты. Переведены книги выдающихся ученых, таких как Займан, Слэтер, Киттель, Ашкрофт и многих других. Кроме того в последние годы появились издания, в которых изучение квантовой теории твердого тела сопровождается компьютерным моделированием, что открывает широкие возможности студенту-физику усовершенствовать свои знания в данной области. Положительным является и то, что это постоянно развивающаяся наука, которая заставляет отслеживать не только вновь появляющиеся монографии, но и оригинальные статьи, особенно по методам расчетов электронных и фононных состояний в кристаллах.

2.2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (какие компетенции (знания, умения и навыки) должны быть сформированы у студента ПОСЛЕ прохождения данной дисциплины)

После изучения курса выпускник бакалавриата должен:

- иметь целостное представление о процессах и явлениях, происходящих в твердом теле,
- понимать возможности современных научных методов познания твердого тела на микроскопическом уровне
- владеть знаниями фундаментальных явлений и процессов в твердом теле, в объяснении которых используются квантовые эффекты.

2.3. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)

Общая трудоемкость данной программы составляет (включая лекции, практические занятия и самостоятельную работу) 108 академических часов, 4 зачетных единицы (18 недель).

2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

2.3.2. 2.3.3.	Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1.	Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	216 / 6 кр.
1.1.	Аудиторные занятия, в т. ч.:	86
1.1.1.	Лекции	52
1.1.2.	Практические занятия, в т. ч.	34
1.1.2.1.	Контрольные работы	-
1.1.3.	Семинары	-
1.2.	Самостоятельная работа, в т. ч.:	95
1.2.1.	Подготовка к экзаменам	-
1.2.1.1.	Эссе и рефераты	-
1.3.	Консультации	-
1.4.	Другие методы и формы занятий	-
	Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	Экзамен 35

2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. занятия (ак. часов)	Семина-ры (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)	Другие виды занятий (ак. часов)
1	2=3 +4+ 5+6 +7	3	4	5	6	7
Модуль 1.						
Введение						
Раздел 1. Основные приближения квантовой теории твердого тела	9	5	4			
Тема 1. Общая постановка задачи		1	-			
Тема 2. Адиабатическое приближение		2	2			
Тема 3. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Одноэлектронное приближение.		2	2			
Раздел 2. Основы зонной теории твердых тел	13	8	5			
Тема 4. Электрон в периодическом поле		1	1			
Тема 5. Периодические функции		-	1			
Тема 6. Свойства обратной решетки		1	1			
Тема 7. Теорема Блоха		1	-			
Тема 8. Волновая функция электрона в периодическом поле		2	-			
Тема 9. Граничные условия Борна-Кармана		1	-			
Тема 10. Зоны Бриллюэна.		1	1			
Тема 11. Плотность состояний		1	1			
Раздел 3. Методы расчета зонной теории	13	8	5			
Тема12. Модель Кронига-Пенни		-	2			
Тема13. Приближение почти свободных (слабо связанных) электронов		2	-			
Тема14. Приближение сильно связанных электронов		2	-			
Тема15. Метод Вигнера Зейца и метод ячеек		1	1			
Тема16. Метод присоединенных плоских волн		2	-			
Тема17. Классификация кристаллов согласно зонной теории		1	-			
Тема18. Структура энергетических зон некоторых полупроводников		-	2			
Раздел 4. Взаимодействие между электронами	10	6	4			
Тема 19. Формулировка с помощью теории возмущений		2	-			
Тема 20. Формула Линдхарда		1	-			
Тема 21. Экранировка статического поля		-	2			
Тема 22. Экранировка поля примеси		-	1			
Тема 23. Диэлектрическая проницаемость полупроводника		2	-			
Тема 24. Плазменные колебания		1	1			
Раздел 5. Основные уравнения движения электрона в периодическом поле	9	4	5			
Тема 25. Квантомеханическая средняя скорость электрона в периодическом поле		2	-			
Тема 26. Теорема Ванье		2	-			
Тема 27. Эффективная масса		-	2			
Тема 28. Γ kp возмущение		-	3			
Раздел 6. Локализованные состояния электрона в кристалле	10	9	1			
Тема 29. Функции Ванье		1	1			
Тема 30. Движение электрона в поле примеси		2	-			

Тема 31. Локализованные состояния электрона в неидеальной решетке		2	-			
Тема 32. Экситоны		2	-			
Тема 33. Поляроны		2	-			
Раздел 7. Колебания решетки	22	12	10			
Тема 34. Классическая теория динамики решетки		-	2			
Тема 35. Колебания и волны в кристаллах в приближении изотропного континуума		-	2			
Тема 36. Квантование колебаний кристаллической решетки		2	-			
Тема 37. Простой гармонический осциллятор		-	2			
Тема 38. Операторы уничтожения и рождения		-	2			
Тема 39. Линейная цепочка связанных осцилляторов		2	-			
Тема 40. Трехмерные решетки		1	-			
Тема 41. Понятие о фононах. Их статистика, число и энергия		2	-			
Тема 42. Теория теплоемкости кристаллической решетки		2	-			
Тема 43. Фонон-фононное взаимодействие		1	1			
Тема 44. Тепловое расширение и теплопроводность твердого тела		2	1			
ИТОГО	86	52	34			

2.3.3 Содержание разделов и тем дисциплины

Модуль 1

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 твердых 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. Շիրափույան, 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. $\frac{\hbar}{k\rho}$ 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.Ս. Ղազարյան, Ա.Լ. Վարդանյան, Պինդ մարմնի քվանտային տեսություն, 1997թ., Երևան

2.4. Распределение весов по модуля и формам контроля

Веса и формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Веса форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа				0	1	1		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
Письменные домашние задания								
Эссе								
Обзор научной литературы								
Письменная работа	0	0	0					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0	0		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей т.д.							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)								0.5
	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

3. Теоретический блок

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.
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. Неможкаленко 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.Ս. Ղազարյան, Ա.Լ. Վարդանյան, Պինդ մարմնի քվանտային տեսություն, 1997թ., Երևան

4. Материалы по оценке и контролю знаний

4.1. Перечень экзаменационных вопросов

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. $\frac{1}{k\rho}$ 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.

4.2. Образцы экзаменационных билетов

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

Инженерно-физический институт

Направление: Электроника и наноэлектроника (IV курс, I семестр)

Дисциплина: Квантовая теория твердого тела.

Экзаменационный билет №

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

дата:

Зав.кафедрой _____ Д.Б. Айрапетян