

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет/Институт Физико-Технический

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
качеству образования – первый
проректор

Т.А. Хагуров
_____ *подпись*
« 30 » мая 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.04 Квантовая теория твёрдого тела

(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки/специальность 03.04.02 Физика

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль) / специализация Физика конденсированного состояния (теория, эксперимент и дидактика)

(наименование направленности (профиля) / специализации)

Форма обучения Очная
(очная, очно-заочная, заочная)

Квалификация Магистр

Краснодар 2024

Рабочая программа дисциплины Б1.О.04 Квантовая теория твёрдого тела составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки/ специальности 03.04.02 Физика (Физика конденсированного состояния (теория, эксперимент и дидактика))

Программу составил (и):

А.В. Скачедуб, доцент кафедры теор. физики
и комп. технологий, кандидат физ.- мат. наук



подпись

Рабочая программа дисциплины Б1.О.04 Квантовая теория твёрдого тела утверждена на заседании кафедры теоретической физики и компьютерных технологий

протокол № 8 от «12» апреля 2024 г.

Заведующий кафедрой (выпускающей)

Лебедев К.А.



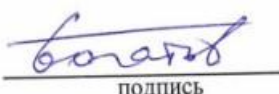
подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета

протокол № 10 от «20» апреля 2024 г.

Председатель УМК факультета

Богатов Н.М.



подпись

Рецензенты:

В.А. Никитин, к.т.н., доцент кафедры оптоэлектроники

Л.Р. Григорян, генеральный директор ООО НПФ «Мезон»
кандидат физико-математических наук

1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)

1.1 Цель освоения дисциплины

Освоение компетенций, формирование у студентов системы понятий и представлений о квантовой теории твердого тела как научно-техническом направлении, основанном на закономерностях взаимодействия интенсивного оптического излучения с изучение основ квантовой теории кристаллических твердых тел, охватывающей современную концепцию их электронных спектров, электрических, магнитных и тепловых свойств, тепло- и электропроводности (включая сверхпроводимость).

1.2 Задачи дисциплины

- основ современной квантовой теории твёрдого тела, без которой невозможно творческое использование в практической деятельности уже известных физических явлений в твёрдых телах, восприятие, а тем более, генерацию новых физических идей;

-магистрантами достижений квантово-механического описания электронной и колебательной систем кристалла, на которых базируются термодинамика, токоперенос, сверхпроводимость в твёрдых телах;

-выработка у магистрантов практических навыков по решению задач квантовой теории твёрдого тела.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.О.6 "Квантовая теория твердого тела" относится к основной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана направления подготовки 03.04.02 Физика направленности "Физика конденсированного состояния (теория, эксперимент, дидактика)".

Для успешного усвоения дисциплины студенты

должны обладать базовыми знаниями и умениями по предшествующим дисциплинам «Математический анализ», «Атомная физика», «Физика атомного ядра и частиц», «Дифференциальные, интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Электродинамика и электродинамика сплошных сред».

Дисциплина Б1.О.6 "Квантовая теория твердого тела" служит основой для понимания специальных дисциплин, изучаемых по направлению 03.04.02 Физика как в магистратуре, так и далее в аспирантуре. Студент, освоивший данный курс, подготовлен к деятельности, требующей углубленной фундаментальной и профессиональной подготовки, в том числе к научно – исследовательской, а при сочетании освоения дополнительной образовательной программы педагогического профиля – к педагогической деятельности.

Вид промежуточной аттестации: зачет.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине (<i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i>)
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	
ИОПК-1.1. Умеет оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ	Знание основных классов оптических материалов и четкое понимание особенности их применения Умение применять знания о физико-химических процессах, происходящих в оптических кристаллах на современной аппаратуре Владение современными экспериментальными методами исследования

Код и наименование индикатора*	Результаты обучения по дисциплине (<i>знает, умеет, владеет (навыки и/или опыт деятельности)</i>)
	методиками исследования основных оптических и/или физико-химических свойств оптических кристаллов.
ИОПК-1.2. Использует отечественный и международный опыт в области физики конденсированного состояния	Знание основ современных представлений о структуре, оптических, физических и физико-химических свойствах оптических материалов различных классов, определяющих сферу их применения
	Умеет учитывать условие фазового согласования кристаллах с двулучепреломлением
	Владеет навыками выполнения алгебраических расчетов свойств оптических материалов
ПК-4. Способен осуществлять профессиональную деятельность в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования и высшего образования	
ИПК-4.1. Использует современные методы проведения исследований и разработок	Знает суть и границы применимости адиабатического приближения в разделении электронного и ядерного движений в кристалле, самосогласованных методов Хартри и Хартри-Фока, циклических граничных условий Борна-Кармана, изучение общих свойств электронов в периодическом поле, приближения почти свободных электронов и сильной связи, принципов построения поверхности Ферми в металлах, приближения эффективной массы в законе дисперсии
	Умеет объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в курсе, связь между явлениями, представить математическое описание явлений, решать задачи по квантовой теории твёрдого тела
	Владеет навыками решения задач по квантовой физике твёрдого тела и применения основных методов математической и теоретической физики к анализу и количественной оценке свойств твёрдых тел
ИПК-4.2. Умеет использовать средства и практику планирования, организации, проведения и внедрения научных исследований и разработок	Знает математическое описание колебаний решётки с применением нормальных координат и обобщенных импульсов, гармонического приближения, динамической матрицы, связь закона дисперсии колебаний со структурой и размерностью кристаллической решётки, квантование колебаний
	электрон-фонон-электронное взаимодействие в применении к описанию сверхпроводимости, идей Бардина, Купера, Шриффера и Боголюбова
	Владеет методами учета и оценки вынужденного стоксова и антистоксова комбинационного рассеяния

*Вид индекса индикатора соответствует учебному плану.

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов), их распределение по видам работ и разделам представлено в таблице

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Раздел 1. Зонная теория. Общие свойства энергетического спектра электрона в идеальном	17	2		6	9

	кристалле					
2.	Расдел 2. Методы расчета зонной структуры	19	4		6	9
3.	Расдел 3. Применение симметрии к определению зонной структуры кристаллов	14	2		3	9
4.	Расдел 4. Метод эффективной массы	14	2		3	9
5.	Расдел 5. Взаимодействие между электронами	15	2		4	9
6.	Расдел 6. Колебания кристаллической решетки	15	2		4	9
7.	Расдел 7. Взаимодействие электронов с колебаниями решетки	13,8	2		4	7,8
	ИТОГО по разделам дисциплины	107,8	16		30	61,8
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	46,2				
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,2				
	Подготовка к текущему контролю	-				
	Общая трудоемкость по дисциплине	108				

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

Курсовой проект: не предусмотрен

Форма проведения аттестации по дисциплине: зачет

2.2 Содержание разделов (тем) дисциплины

2.2.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Зонная теория. Общие свойства энергетического спектра электрона в идеальном кристалле	1.1. Описание структуры кристалла 1.2. Свободные электроны 1.3. Электроны в периодическом поле кристаллической решетки 1.4. Свойства квазиимпульса 1.5. Симметрия обращения времени	Контрольная работа
2.	Методы расчета зонной структуры	2.1. Энергетические зоны в приближении сильной связи 2.2. Энергетические зоны в приближении слабой связи 2.3. Пример двумерной квадратной решетки 2.4. Методы численных расчетов зонной структуры	Контрольная работа

3.	Применение симметрии к определению зонной структуры кристаллов	3.1. Элементы симметрии 3.2. Симметрия квадрата 3.3. Математическая формулировка операций симметрии 3.4. Точечная симметрия гамильтониана электрона в кристалле 3.5. Классификация электронных волновых функций в первой зоне Бриллюэна 3.6. Классификация электронных волновых функций в точке Г для кристалла с симметрией тетраэдра Td 3.7. Классификация электронных волновых функций в точке X зоны Бриллюэна 3.8. Модель «пустой» решетки	Контрольная работа
4.	Метод эффективной массы	4.1. Приближение эффективной массы: случай невырожденных зон 4.2. Приближение эффективной массы для вырожденных зон 4.3. Учет спин–орбитального взаимодействия 4.4. Гамильтониан Латтинжера 4.5. Модель Кейна 4.6. Понятие дырки	Контрольная работа
5.	Взаимодействие между электронами	5.1. Газовый параметр 5.2. Диэлектрическая проницаемость электронного газа 5.3. Экранирование поля заряженного примесного центра 5.4. Плазменные колебания 5.5. Диэлектрическая проницаемость полупроводника 5.6. Экситон 5.7. Переход Мотта металл – диэлектрик 5.8. Сильно легированные полупроводники 5.9. Ферми–жидкость	Контрольная работа
6.	Колебания кристаллической решетки	6.1. Колебания трехмерной кристаллической решетки 6.2. Функция распределения частот 6.3. Динамика решетки ионных кристаллов 6.4. Соотношение Лиддена–Закса–Теллера 6.5. Квантовая теория колебаний 6.6. Колебания кристалла с дефектами	Контрольная работа
7.	Взаимодействие электронов с колебаниями решетки	7.1. Адиабатическое приближение 7.2. Электрон–фононное взаимодействие	Контрольная работа

2.2.2 Занятия семинарского типа (практические занятия)

не предусмотрены

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии в соответствии с ФГОС ВО.

2.2.3 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

не предусмотрены

2.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины для выполнения самостоятельной работы
1	Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	Методические указания по организации аудиторной и самостоятельной работ, утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г
2	Подготовка к текущему контролю	Методические рекомендации для подготовки к практическим, семинарским и лабораторным занятиям, утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа,

в форме аудиофайла. Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, практические занятия, проблемное обучение, модульная технология, подготовка письменных аналитических работ, самостоятельная работа студентов.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, анализа педагогических задач, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование

информационных ресурсов, доступных в информационно- телекоммуникационной сети Интернет.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины Б1.О.6 "Квантовая теория твердого тела"

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме отчетов по лабораторным работам и **промежуточной аттестации** в форме вопросов к зачету.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
Примерный перечень вопросов и заданий. Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации(зачет)

Записать уравнение Шредингера для кристалла. Объяснить физический смысл слагаемых оператора Гамильтона.

В адиабатическом приближении разделить переменные в уравнении Шредингера для кристалла, получить уравнения для электронной и ядерной частей.

Оценить порядок слагаемых уравнения Шредингера для кристалла, которыми пренебрегают при разделении электронного и ядерного движений в адиабатическом приближении.

Показать, что модулирующая часть $u_k(r)$ волновой функции электрона $\Psi_k(r)=u_k(r)\cdot\exp(ikr)$ в периодическом поле кристалла является периодической функцией в реальном пространстве, т.е. $u_k(r+n)=u_k(r)$, где n – вектор трансляции решетки.

Показать, что энергия электрона в кристалле является четной и периодической функцией волнового вектора в обратном k -пространстве.

Показать, что кулоновская и обменная части потенциала электрона в приближении Хартри-Фока являются периодическими функциями, если использовать волновые функции электронов в форме функций Блоха $\Psi_k(r)=u_k(r)\exp(ikr)$.

Показать, что волновой вектор электрона в периодическом поле определен неоднозначно.

Показать, что в центре и на некоторых гранях зоны Бриллюэна энергия электрона E в зависимости от волнового вектора k имеет экстремум. На каких гранях зоны Бриллюэна градиент $E = 0$.

Показать, что обратная решетка простой кубической решетки также является простой кубической.

Показать, что решетка, обратная гранецентрированной, объемцентрирована, и наоборот, решетка, обратная объемцентрированной, гранецентрирована.

Найти структуру решетки, обратной решетке со структурой алмаза.

Найти объем элементарной ячейки обратной решетки.

В приближении сильной связи, полагая атомные волновые функции электронов s -функциями, найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в простой кубической решетке. Показать, что у дна и потолка получившейся при этом разрешенной зоны изоэнергетические поверхности

сферически симметричны. Найти эффективные массы электронов у дна и потолка зоны. Рассмотреть случай объемцентрированной решетки; гранецентрированной решетки.

Показать, что условие отражения электронов от атомных плоскостей (аналог условия Вульфа-Брегга) эквивалентно равенству длин волн падающей и отраженной.

Вычислить поправки к энергии и волновой функции в приближении свободных электронов в первом и втором приближениях. Показать, что они стремятся к бесконечности на границе зон Бриллюэна.

Построить первые четыре зоны Бриллюэна для простой квадратной решетки, кубической решетки.

Какую долю зоны Бриллюэна отсекает поверхность Ферми в одновалентном, двухвалентном металле с простой кубической решеткой?

Построить методом Харрисона поверхности Ферми для простой квадратной решетки для одно-, двух-, трехвалентных металлов.

Показать, что в металлах возможна одновременно и электронная, и дырочная проводимость.

Запишите в гармоническом приближении выражение для потенциальной энергии атомов решетки в общем случае трехмерной решетки с несколькими атомами в элементарной ячейке. Покажите как это выражение упрощается при переходе к простой решетке, к двумерной, одномерной решетке.

Покажите, что среди кубических операторов ангармоничности гамильтониана возможны только четыре типа, соответствующих четырем типам рассеяния. Изобразите эти процессы рассеяния графически с помощью фейнмановских диаграмм.

Объясните, почему запрещены процессы взаимодействия фононов, описываемые произведениями операторов вторичного квантования, содержащими только операторы рождения фононов или эрмитово сопряженными таким произведениям.

Объясните, почему нормальные процессы рассеяния фононов не влияют на теплосоппротивление кристаллов, почему конечная величина решеточного теплосоппротивления определяется процессами переброса.

Изобразите графически в пространстве волнового вектора фононов нормальный процесс рассеяния и процесс рассеяния с перебросом в схемах приведенных и расширенных зон.

Объясните, почему при низких температурах решеточное теплосоппротивление кристаллов быстро спадает с уменьшением температуры по экспоненциальному закону $\exp(-E_0/kT)$. Чем определяется энергия E_0 в этом выражении?

Исходя из правил действия операторов рождения и уничтожения фононов на состояния фононной системы, выведите коммутационные соотношения для этих операторов

Исходя из правил действия операторов рождения и уничтожения фермионов на состояния фермионной системы, выведите антикоммутационные соотношения для операторов.

Запишите операторы рождения и уничтожения фононов и состояния фононной системы в матричной форме.

Покажите, что число фононов является собственным значением оператора. Найдите собственное значение оператора.

Покажите, что число фермионов является собственным значением оператора.

Покажите, что операторы рождения и уничтожения для фононов не являются эрмитовыми по отношению друг к другу.

Запишите операторы кинетической и потенциальной энергии системы электронов в

представлении вторичного квантования.

Изобразите с помощью диаграмм Фейнмана процессы рассеяния электронов, описываемые этим оператором.

Изобразите в схемах расширенных и приведенных зон нормальное рассеяние электронов на фононах и рассеяние с перебросом в металле в пространстве волнового вектора.

Представьте в матричной форме и в графической форме диаграммой Фейнмана процесс виртуального испускания и поглощения фонона при движении электрона в кристалле.

Перечень вопросов к зачету:

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, ГПУ, 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. Ангармонические 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. Блоховские 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.

Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценивания по экзамену
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене; при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень учебной литературы, информационных ресурсов и технологий

5.1. Учебная литература

1. Демидов Е.С. Задачи и вопросы по квантовой теории твёрдого тела. Н. Новгород: ННГУ, 1997.
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твёрдого тела. Н.Новгород: ННГУ, 1993.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твёрдого тела. М.: Мир, 1979.
4. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках. М.: Наука, 1972.
5. Давыдов А.С. Теория твёрдого тела. М.: Наука, 1976.
6. Киттель Ч. Квантовая теория твёрдых тел. М.: Наука, 1967.
7. Брандт Н. Б., Кульбачинский В. А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния, М., ФМЛ, 2005, 632 с.
8. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук; под ред. Н.К. Мышкина. - Минск: Белорусская наука, 2009. - 648 с. – Режим доступа: URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93309>.
9. Синтез, структурные и спектральные свойства активных кристаллических материалов: монография. /В.А. Исаев // Краснодар: Кубанский гос. ун - т, 2015. - 173 с.
10. Басалаев Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия / Ю.М. Басалаев. - Ке- мерово: Кемеровский государственный университет, 2014. - 403 с. – Режим доступа: URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278304>.

5.2. Периодическая литература

Указываются печатные периодические издания из «Перечня печатных периодических изданий, хранящихся в фонде Научной библиотеки КубГУ» <https://www.kubsu.ru/ru/node/15554>, и/или электронные периодические издания, с указанием адреса сайта электронной версии журнала, из баз данных, доступ к которым имеет КубГУ:

- Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
- Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>
- ScienceDirect – ведущая информационная платформа Elsevier <https://www.elsevier.com/>
- Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>

- Известия высших учебных заведений. Радиофизика.
 - Информатизация и связь
 - Успехи физических наук
- Журнал экспериментальной и теоретической физики
- Письма в "Журнал экспериментальной и теоретической физики"
 - Радиотехника и электроника

5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Электронно-библиотечные системы (ЭБС):

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

Профессиональные базы данных:

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect www.sciencedirect.com
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks: <https://link.springer.com/>
17. "Лекториум ТВ" <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

Информационные справочные системы:

1. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

Ресурсы свободного доступа:

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал "Российское образование" <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>;
7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school->

collection.edu.ru/ .

8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина "Образование на русском" <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал "Русский язык" <http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал "Учеба" <http://www.ucheba.com/>;
14. Законопроект "Об образовании в Российской Федерации". Вопросы и ответы http://xn--273--84d1f.xn--p1ai/voprosy_i_otvety

Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru/>;
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ" <http://icdau.kubsu.ru/>

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Лекция является одной из форм изучения теоретического материала по дисциплине. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных подходов и теорий. В тетради для конспектирования лекций необходимо иметь поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. Записи должны быть избирательными. В конспекте применяют сокращение слов, что ускоряет запись.

Вопросы, возникающие в ходе лекции, если не заданы сразу, рекомендуется записывать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснением к преподавателю. Необходимо активно работать с конспектом лекции: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения.

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, подготовки к выполнению лабораторных работ и оформлению технических отчётов по ним, а так же подготовки к практическим занятиям изучением краткой теории в задачниках и решении домашних заданий. Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Время и место самостоятельной работы выбираются студентами по своему усмотрению планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять равномерно на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Самостоятельную работу над дисциплиной следует начинать с изучения программы, которая содержит основные требования к знаниям, умениям и навыкам обучаемых. Обязательно следует вспомнить рекомендации преподавателя, данные в ходе установочных занятий. Затем следует приступить к изучению отдельных разделов и тем в порядке, предусмотренном программой. Получив представление об основном содержании раздела, темы, необходимо изучить материал по теме, изложенный в учебнике. Целесообразно составить краткий конспект или схему, отображающую смысл и связи основных понятий данного раздела и включенных в него тем (или более продуктивно – дополнить конспект лекции).

Обязательно следует записывать возникшие вопросы, на которые не удалось ответить самостоятельно. Необходимо изучить список рекомендованной литературы и убедиться в её наличии в личном пользовании или в подразделениях библиотеки в бумажном или электронном

виде. Всю основную учебную литературу желательно изучать с составлением конспекта. Чтение литературы, не сопровождаемое конспектированием, мало результативно. Цель написания конспекта по дисциплине – сформировать навыки поиска, отбору, анализу и формулированию учебного материала. Эти навыки обязательны для любого специалиста с высшим образованием независимо от выбранного направления.

Написание конспекта должно быть творческим – нужно не переписывать текст из источников, но пытаться кратко излагать своими словами содержание ответа, при этом максимально его структурируя и используя символы и условные обозначения (в этом Вам помогут вопросы выносимые на зачетное тестирование и экзамен). Копирование и заучивание неосмысленного текста трудоемко и по большому счету не имеет познавательной и практической ценности. При работе над конспектом обязательно выявляются и отмечаются трудные для самостоятельного изучения вопросы, с которыми уместно обратиться к преподавателю при посещении занятий и консультаций, либо в индивидуальном порядке.

При чтении учебной и научной литературы необходимо всегда следить за точным и полным пониманием значения терминов и содержания понятий, используемых в тексте. Всегда следует уточнять значения по словарям или энциклопедиям, при необходимости записывать.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)

По всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины используются аудитории, кабинеты и лаборатории, оснащенные необходимым специализированным и лабораторным оборудованием.

При заполнении таблицы учитывать все виды занятий, предусмотренные учебным планом по данной дисциплине: лекции, занятия семинарского типа (практические занятия, лабораторные работы), а также курсовое проектирование, консультации, текущий контроль и промежуточную аттестацию.

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа 300С, 201С, 227С, 114С, 209 С, 315 С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер	Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft “Enrollment for Education Solutions” для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов,
		Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 227С, 114С, 209 С, 315 С, 133 С	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: экран, проектор, компьютер Оборудование:	Операционная система MS Windows. Офисный пакет приложений Microsoft Office. Система MATLAB

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-

образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
<p>Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)</p>	<p>Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет(проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	<p>Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft “Enrollment for Education Solutions” для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.</p>
<p>Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд.207С)</p>	<p>Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет(проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	<p>Программное обеспечение в рамках программы компании Microsoft “Enrollment for Education Solutions” для компьютеров и серверов Кубанского государственного университета и его филиалов, Антивирусная защита физических рабочих станций и серверов: Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.</p>