

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: ЧУМАЧЕНКО ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА
Должность: РЕКТОР
Дата подписания: 24.10.2022 14:01:25
Уникальный программный ключ:
9c9f7aaffa4840d284abe156657b8f85432bdb16



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
(ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА)

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В	Основы теоретической физики (физика твердого тела)

Код направления подготовки	44.03.05
Направление подготовки	Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)
Наименование (я) ОПОП (направленность / профиль)	Физика. Математика
Уровень образования	бакалавр
Форма обучения	очная

Разработчики:

Должность	Учёная степень, звание	Подпись	ФИО
Доцент	кандидат физико-математических наук, доцент		Свирская Людмила Моисеевна

Рабочая программа рассмотрена и одобрена (обновлена) на заседании кафедры (структурного подразделения)

Кафедра	Заведующий кафедрой	Номер протокола	Дата протокола	Подпись
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	10	15.06.2019	
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	1	10.09.2020	

Раздел 1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения образовательной программы с указанием этапов их формирования

Таблица 1 - Перечень компетенций, с указанием образовательных результатов в процессе освоения дисциплины (в соответствии с РПД)

Формируемые компетенции		Планируемые образовательные результаты по дисциплине		
Индикаторы ее достижения		знать	уметь	владеть
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности				
ПК.1.1 Знает содержание, особенности и современное состояние, понятия и категории, тенденции развития соответствующей профилю научной (предметной) области; закономерности, определяющие место соответствующей науки в общей картине мира; принципы проектирования и реализации общего и (или) дополнительного образования по предмету в соответствии с профилем обучения	3.1 знает основные положения фундаментальных физических теорий; законы и явления из различных областей физики конденсированного состояния			
ПК.1.2 Умеет применять базовые научно-теоретические знания по предмету и методы исследования в предметной области; осуществляет отбор содержания, методов и технологий обучения предмету (предметной области) в различных формах организации образовательного процесса		У.1 умеет применять базовые научно-теоретические знания в области ФТТ для анализа изучаемых явлений и решения задач		
ПК.1.3 Владеет практическими навыками в предметной области, методами базовых научно-теоретических представлений для решения профессиональных задач				В.1 владеет навыками применения методов квантовой механики, электродинамики и статистической физики для обоснования основных результатов ФТТ; способами проектирования содержания изучаемой дисциплины на школьный курс физики.

Компетенции связаны с дисциплинами и практиками через матрицу компетенций согласно таблице 2.

Таблица 2 - Компетенции, формируемые в результате обучения

Код и наименование компетенции	Вес дисциплины в формировании компетенции (100 / количество дисциплин, практик)
Составляющая учебного плана (дисциплины, практики, участвующие в формировании компетенции)	
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности	

Дискретная математика	2,38
Математическая логика	2,38
Математический анализ	2,38
Численные методы	2,38
производственная практика (преддипломная)	2,38
Электротехника	2,38
Алгебра	2,38
Астрономия	2,38
Геометрия	2,38
Математическая физика	2,38
Методика обучения и воспитания (математика)	2,38
Методика обучения и воспитания (физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (квантовая физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (механика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (оптика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм)	2,38
Основания геометрии	2,38
Основы теоретической физики (квантовая механика)	2,38
Основы теоретической физики (классическая механика)	2,38
Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика)	2,38
Основы теоретической физики (СТО)	2,38
Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц)	2,38
Основы теоретической физики (физика твердого тела)	2,38
Основы теоретической физики (электродинамика)	2,38
Теория чисел	2,38
Школьный физический кабинет	2,38
Элементарная математика	2,38
Вводный курс математики	2,38
Дифференциальные уравнения	2,38
Практикум по тригонометрии	2,38
Практикум по элементарной алгебре	2,38
Практикум по элементарной геометрии	2,38
Проективная геометрия	2,38
Методы статистической обработки информации	2,38
Образовательная электроника	2,38
Общая и экспериментальная физика (молекулярная)	2,38
Основы электроники	2,38
Теория функций комплексного и действительного переменного	2,38
учебная практика (по математике)	2,38
учебная практика (по физике)	2,38
учебная практика (проектно-исследовательская)	2,38
Химия	2,38

Таблица 3 - Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОПОП

Код компетенции	Этап базовой подготовки	Этап расширения и углубления подготовки	Этап профессионально-практической подготовки
-----------------	-------------------------	---	--

ПК-1	<p>Дискретная математика, Математическая логика, Математический анализ, Численные методы, производственная практика (преддипломная), Электротехника, Алгебра, Астрономия, Геометрия, Математическая физика, Методика обучения и воспитания (математика), Методика обучения и воспитания (физика), Общая и экспериментальная физика (квантовая физика), Общая и экспериментальная физика (механика), Общая и экспериментальная физика (оптика), Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм), Основания геометрии, Основы теоретической физики (квантовая механика), Основы теоретической физики (классическая механика), Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика), Основы теоретической физики (СТО), Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц), Основы теоретической физики (физика твердого тела), Основы теоретической физики (электродинамика), Теория чисел, Школьный физический кабинет, Элементарная математика, Вводный курс математики, Дифференциальные уравнения, Практикум по тригонометрии, Практикум по элементарной алгебре, Практикум по элементарной геометрии, Проективная геометрия, Методы статистической обработки информации, Образовательная электроника, Общая и экспериментальная физика (молекулярная), Основы электроники, Теория функций комплексного и действительного переменного, учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика</p>		<p>производственная практика (преддипломная), учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика (проектно-исследовательская)</p>
------	--	--	--

Раздел 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 4 - Показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения учебной дисциплины (в соответствии с РПД)

№	Раздел		
Формируемые компетенции			
Показатели сформированности (в терминах «знать», «уметь», «владеть»)		Виды оценочных средств	
1	Статические и динамические свойства кристалла		
	ПК-1		
	Знать знает основные положения фундаментальных физических теорий; законы и явления из различных областей физики конденсированного состояния	Конспект по теме	
	Уметь умеет применять базовые научно-теоретические знания в области ФТТ для анализа изучаемых явлений и решения задач	Задача Коллоквиум Конспект по теме	
	Владеть владеет навыками применения методов квантовой механики, электродинамики и статистической физики для обоснования основных результатов ФТТ; способами проектирования содержания изучаемой дисциплины на школьный курс физики.	Задача Коллоквиум	
2	Электрические и магнитные свойства твердых тел		
	ПК-1		
	Знать знает основные положения фундаментальных физических теорий; законы и явления из различных областей физики конденсированного состояния	Конспект по теме	
	Уметь умеет применять базовые научно-теоретические знания в области ФТТ для анализа изучаемых явлений и решения задач	Задача Коллоквиум Конспект по теме Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе	
	Владеть владеет навыками применения методов квантовой механики, электродинамики и статистической физики для обоснования основных результатов ФТТ; способами проектирования содержания изучаемой дисциплины на школьный курс физики.	Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе	

Таблица 5 - Описание уровней и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Код	Содержание компетенции			
Уровни освоения компетенции	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня (критерии оценки сформированности)	Пятибалльная шкала (академическая оценка)	% освоения (рейтинговая оценка)
ПК-1	ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деят...			

Раздел 3. Типовые контрольные задания и (или) иные материалы, необходимые для оценки планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

1. Оценочные средства для текущего контроля

Раздел: Статические и динамические свойства кристалла

Задания для оценки знаний

1. Конспект по теме:

1. Описание электрона в периодическом поле кристалла.

а) Теорема Блоха. Волновые функции Блоха.

Проиллюстрируйте существенное отличие волновой функции свободного электрона от волновой функции Блоха с помощью наглядной картинки.

б) Что такое квазимпульс? Почему в кристалле вместо импульса вводится квазимпульс?

в) Докажите, что оператор кинетической энергии электрона в кристалле определяется суммой импульса и квазимпульса (Электронная теория вещества, с. 23).

г) Каковы особенности энергетического спектра электрона в кристалле? Нарисуйте периодическую зонную схему.

д) Заполните сравнительную таблицу характеристик свободного электрона, электрона в атоме водорода и электрона в периодическом поле кристалла.

2. Приближение почти свободных электронов.

а) Энергетический спектр (формула и иллюстрации: расширенная зонная схема и схема приведённых зон).

б) В каких точках к – пространства возникают разрывы в энергетическом спектре? Какова физическая причина появления этих разрывов?

3. Приближение сильной связи.

а) Энергетический спектр электрона в приближении сильной связи и его иллюстрация (формула и рисунок).

б) Какова физическая причина образования энергетических зон в кристалле?

в) Как влияет величина интеграла переноса на ширину разрешённой зоны?

г) Что такое циклические граничные условия Борна-Кармана, и зачем они вводятся?

д) Как с точки зрения зонной теории объясняется существование различных типов электропроводности кристаллов (металлы, полуметаллы, изоляторы, полупроводники)? Приведите соответствующие зонные схемы.

4. Определение типа электропроводности следующих кристаллов:

а) литий;

б) магний;

в) криптон;

г) поваренная соль NaCl .

5. Недостатки зонной теории кристаллов.

Пайерлсовский и моттовский переходы металл-изолятор.

Задания для оценки умений

1. Задача:

Тема № 1: «Физическая природа межатомного и межмолекулярного взаимодействия в твёрдых телах. Симметрия и структура кристаллов»

І. Вопросы для письменного ответа

1. Известно, что ионную связь образуют разноимённо заряженные ионы, а ковалентную – нейтральные атомы. Однако, несмотря на различие в природе этих типов связи, величина энергии связи оказывается одного и того же порядка. Как это можно объяснить?

2. Чем объясняется высокая электропроводность металлов?

3. В узлах решётки молекулярных кристаллов находятся нейтральные молекулы или атомы инертных газов. Какие силы ответственны за существование этих кристаллов? Какова природа этих сил?

4. Какова физическая природа водородной связи, и какую роль играет эта связь в твердых телах?

5. Какова роль гибридизации атомных состояний в наблюдаемом многообразии кристаллических структур? Какие виды гибридизации Вам известны?

ІІ. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.:

№ 1.23; 1.27; 1.35; 1.36; 1.42.

Типовая задача:

Доказать, что в бесконечной кристаллической решётке возможны оси симметрии второго, третьего, четвёртого и шестого порядков.

Тема № 2: «Геометрия кристаллической решётки. Обратная решётка. Зоны Бриллюэна»

I. Вопросы для письменного ответа.

1.Что такое обратная решётка кристалла?

1.1 Формула вектора обратной решетки.

1.2. Базисные вектора обратной решетки для линейной цепочки атомов и в трёхмерном случае.

1.3. Связь объёмов прямой и обратной решётки кристалла.

2. Что такое зоны Бриллюэна?

2.1. Границы первой зоны Бриллюэна. Почему она называется приведённой зоной?

2.2. Какая существует связь между приведённой зоной и центрально-симметричной ячейкой Вигнера-Зейтца прямой решётки?

2.3. Каков размер (объём – в трёхмерном случае) каждой зоны Бриллюэна?

3. По указанным параметрам элементарной ячейки определите тип кристаллографической системы.

4.Приведите примеры металлов с ОЦК-, ГЦК- и гексагональной решетками:

5. Простые кристаллические структуры:

поваренная соль (NaCl), алмаз, вюрцит, цинковая обманка, флюорит, рутил.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 2.9; 2.12; 2.13; 2.14; 2.19.

Типовая задача:

Найти связь между объёмами параллелепипедов, построенных на базисных векторах прямой и обратной решёток.

Тема № 3: «Зонная теория кристаллов»

I.Теоретические вопросы

1.Описание электрона в периодическом поле кристалла.

а) Сформулируйте теорему Блоха. Что такое блоховские волновые функции?

Проиллюстрируйте существенное отличие волновой функции свободного электрона от волновой функции Блоха с помощью наглядной картинки.

б) Что такое квазимпульс? Почему в кристалле вместо импульса вводится квазимпульс?

в) Докажите, что оператор кинетической энергии электрона в кристалле определяется суммой импульса и квазимпульса (Электронная теория вещества, с. 23).

г) Каковы особенности энергетического спектра электрона в кристалле? Нарисуйте периодическую зонную схему.

д) Заполните сравнительную таблицу характеристик свободного электрона, электрона в атоме водорода и электрона в периодическом поле кристалла:

№ Характеристики Свободный электрон Электрон в атоме водорода Электрон в кристалле

1 Квантовые числа

2 Волновая функция

3 Энергия

4 Скорость

5 Импульс

6 Масса

2. Приближение почти свободных электронов.

а) Энергетический спектр (формула и иллюстрации: расширенная зонная схема и схема приведённых зон).

б) В каких точках к – пространства возникают разрывы в энергетическом спектре? Какова физическая причина появления этих разрывов?

3. Приближение сильной связи.

а) Энергетический спектр электрона в приближении сильной связи и его иллюстрация (формула и рисунок).

б) Какова физическая причина образования энергетических зон в кристалле?

в) Как влияет величина интеграла переноса на ширину разрешённой зоны?

г) Что такое циклические граничные условия Борна-Кармана, и зачем они вводятся?

д) Как с точки зрения зонной теории объясняется существование различных типов электропроводности кристаллов (металлы, полуметаллы, изоляторы, полупроводники)? Приведите соответствующие зонные схемы.

4. Определите тип электропроводности следующих кристаллов:

а) литий;

б) магний;

в) криптон;

г) поваренная соль NaCl.

5. В чём заключаются недостатки зонной теории кристаллов?

Что такое пайерлсовский и моттовский переходы металл-изолятор?

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 2.25; 2.31; 2.33; 2.40; 2.41.

Типовая задача:

Показать, что существование разрывов в энергетическом спектре электрона на границах зоны Бриллюэна эквивалентно условию брэгговского отражения электронных волн.

Тема № 4: "Динамика кристаллической решётки"

I. Вопросы для письменного ответа.

1. Какова физическая причина теплового расширения кристалла? Какую роль играет ангармонизм колебаний решётки в этом явлении?
2. Как зависит теплоёмкость кристалла от температуры в области низких температур
 - а) в классической теории теплоёмкости;
 - б) в квантовой теории А. Эйнштейна; в) в квантовой теории П. Дебая?Как влияет размерность кристалла на его теплоёмкость?
3. Каков физический смысл дебаевской частоты и дебаевской температуры? Оцените дебаевскую частоту для кристаллов золота и алмаза, используя значения их дебаевских температур.
4. Что такое фонон? Приведите примеры других известных Вам квазичастиц. Как зависит концентрация фононов от температуры
 - а) в области высоких температур;
 - б) в области низких температур?
5. Как можно экспериментально проверить закон дисперсии фононов? (Электронная теория вещества, § 11). Почему для получения закона дисперсии фононов удобно использовать нейтроны, а фотоны для этого непригодны? Чтобы подчеркнуть факт этого различия двух частиц (нейтронов и фотонов), Рейсленд - автор книги «Физика фононов» прибегает к языку поэзии и приводит отрывок из стихотворения Элизабет Браунинг (с. 314):

Как непохожи друг на друга мы,
Как непохожи, о, сердце благородное!
И как несхожи занятия и судьбы наши.
В полёте крыльями столкнувшись,
Взирают с удивленьем друг на друга
Два наших ангела-хранителя.
.....
Елей на голову твою, а на мою – роса.
И смерти лишь дано всё уравнять.

Проведите сравнение энергий и импульсов нейтронов и фононов на примере кристалла меди, используя следующие данные: энергия нейтронов $E \sim 0.1$ эВ, скорость звука $v = 4700$ м/с, а массу нейтрона Вы, конечно, знаете сами.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

3.7; 3.10; 3.13; 3.20; 3.26.

Типовая задача:

Для некоторого элемента, находящегося в кристаллическом состоянии, теплоёмкость при постоянном объёме и температуре $T_1 = 373$ К равна 16 Дж/(моль·К). Считая температуру Дебая постоянной, найти значение теплоёмкости при температуре $T_2 = 173$ К. (Использовать табличные значения функции Дебая).

Тема № 5: "Электронный газ в металле"

I. Вопросы для письменного ответа.

1. Перечислите успехи и затруднения классической электронной теории металлов Друде-Лоренца.
2. Дайте теоретическое обоснование закона Джоуля-Ленца на основе классической электронной теории Друде-Лоренца (учебник Свирского М.С., § 16).
3. Характеристики электронного газа в металле.

а) Что такое поверхность Ферми металла? Почему эта поверхность существует?
б) Какой функцией распределения описываются электроны металла? Покажите графически её поведение в двух случаях: а) при $T=0$; б) при $T \neq 0$.

- в) Электроны в металле имеют следующие характерные скорости:
- скорость теплового хаотического движения (тепловая скорость);
- скорость дрейфа;
- скорость на поверхности Ферми (скорость Ферми).

Дайте определение этих скоростей; укажите соответствующие формулы, с помощью которых эти скорости определяются; расположите эти скорости в порядке возрастания их типичных числовых значений.

г) Заполните таблицу "Основные параметры поверхности Ферми в модели газа свободных электронов" и проиллюстрируйте их значения на примере лития:

4. Электропроводность металлов в квантовой теории Зоммерфельда.

- а) Кинетическое уравнение Больцмана для электронов в металле в приближении времени релаксации (линеаризованное). Какую роль играют столкновения электронов с кристаллической решёткой в электропроводности металла?
- б) Объясните понятие времени релаксации, используя график зависимости от времени отклонения функции распределения от равновесного значения.
- в) В чём состоит существенное отличие классического и квантового выражений для коэффициента удельной электропроводности металлов?
- г) Какова температурная зависимость электросопротивления металлов в области высоких и низких температур? Проиллюстрируйте это графически.

д) Почему закон Видемана-Франца хорошо выполняется при высоких температурах, но нарушается в области низких температур? Что такое «горячие» и «холодные» электроны?

5. Поведение электронов металла во внешнем магнитном поле.

а) В чём заключается квантующее влияние магнитного поля на газ электронов в металле? Что такое диамагнетизм Ландау? Каков вид электронного энергетического спектра в магнитном поле без учёта спина?

б) Чем обусловлены осцилляционные эффекты в металлах при низких температурах?

в) Проиллюстрируйте возникновение спинового парамагнетизма (парамагнетизма Паули) с помощью графика, отложив по оси абсцисс квадрат плотности электронных состояний, а по оси ординат – энергию. Нарисуйте три картинки:

1) в отсутствие внешнего магнитного поля;

2) в магнитном поле до установления статистического равновесия;

3) в магнитном поле после установления статистического равновесия, когда выравниваются химические потенциалы (уровни Ферми) состояний с положительной и отрицательной проекциями спинов.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 4.1; 4.3; 4.8; 4.17; 4.29.

Типовая задача:

В таблицах имеется значение постоянной Холла для алюминия. Сколько электронов в расчёте на один атом участвуют в проводимости? Какие сведения можно отсюда извлечь относительно энергетической зонной структуры кристаллического алюминия?

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 1

1. Кристаллографические системы. Решетки Браве.

2. Обратная решётка. Зоны Бриллюэна.

3. Движение электрона в периодическом поле кристалла.

а) волновые функции Блоха;

б) квазимпульс;

в) особенности энергетического спектра и квантовые числа электронов в кристалле.

4. Приближение почти свободных электронов.

5. Расщепление атомных энергетических уровней и образование энергетических зон в приближении сильной связи.

6. Классификация кристаллов по типу проводимости на основе зонной теории.

7. Квантование колебаний кристаллической решётки. Метод квазичастиц.

8. Классическая теория теплоемкости твёрдых тел и её затруднения.

9. Квантовая теория теплоемкости кристаллов (по Эйнштейну и Дебаю).

10. Ангармонизм и тепловое расширение кристаллов.

3. Конспект по теме:

1. Описание электрона в периодическом поле кристалла.

а) Теорема Блоха. Волновые функции Блоха.

Проиллюстрируйте существенное отличие волновой функции свободного электрона от волновой функции Блоха с помощью наглядной картинки.

б) Что такое квазимпульс? Почему в кристалле вместо импульса вводится квазимпульс?

в) Докажите, что оператор кинетической энергии электрона в кристалле определяется суммой импульса и квазимпульса (Электронная теория вещества, с. 23).

г) Каковы особенности энергетического спектра электрона в кристалле? Нарисуйте периодическую зонную схему.

д) Заполните сравнительную таблицу характеристик свободного электрона, электрона в атоме водорода и электрона в периодическом поле кристалла.

2. Приближение почти свободных электронов.

а) Энергетический спектр (формула и иллюстрации: расширенная зонная схема и схема приведённых зон).

б) В каких точках к – пространства возникают разрывы в энергетическом спектре? Какова физическая причина появления этих разрывов?

3. Приближение сильной связи.

а) Энергетический спектр электрона в приближении сильной связи и его иллюстрация (формула и рисунок).

б) Какова физическая причина образования энергетических зон в кристалле?

в) Как влияет величина интеграла переноса на ширину разрешённой зоны?

г) Что такое циклические граничные условия Борна-Кармана, и зачем они вводятся?

д) Как с точки зрения зонной теории объясняется существование различных типов электропроводности кристаллов (металлы, полуметаллы, изоляторы, полупроводники)? Приведите соответствующие зонные схемы.

4. Определение типа электропроводности следующих кристаллов:

- а) литий;
- б) магний;
- в) криптон;
- г) поваренная соль NaCl .

5. Недостатки зонной теории кристаллов.

Пайерловский и моттовский переходы металл-изолятор.

Задания для оценки владений

1. Задача:

Тема № 1: «Физическая природа межатомного и межмолекулярного взаимодействия в твёрдых телах. Симметрия и структура кристаллов»

I. Вопросы для письменного ответа

1. Известно, что ионную связь образуют разноимённо заряженные ионы, а ковалентную – нейтральные атомы. Однако, несмотря на различие в природе этих типов связи, величина энергии связи оказывается одного и того же порядка. Как это можно объяснить?

2. Чем объясняется высокая электропроводность металлов?

3. В узлах решётки молекулярных кристаллов находятся нейтральные молекулы или атомы инертных газов. Какие силы ответственны за существование этих кристаллов? Какова природа этих сил?

4. Какова физическая природа водородной связи, и какую роль играет эта связь в твердых телах?

5. Какова роль гибридизации атомных состояний в наблюдаемом многообразии кристаллических структур? Какие виды гибридизации Вам известны?

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.:

№ 1.23; 1.27; 1.35; 1.36; 1.42.

Типовая задача:

Доказать, что в бесконечной кристаллической решётке возможны оси симметрии второго, третьего, четвёртого и шестого порядков.

Тема № 2: «Геометрия кристаллической решетки. Обратная решётка. Зоны Бриллюэна»

I. Вопросы для письменного ответа.

1. Что такое обратная решётка кристалла?

1.1 Формула вектора обратной решетки.

1.2. Базисные вектора обратной решетки для линейной цепочки атомов и в трёхмерном случае.

1.3. Связь объёмов прямой и обратной решётки кристалла.

2. Что такое зоны Бриллюэна?

2.1. Границы первой зоны Бриллюэна. Почему она называется приведённой зоной?

2.2. Какая существует связь между приведённой зоной и центрально-симметричной ячейкой Вигнера-Зейтца прямой решётки?

2.3. Каков размер (объём – в трёхмерном случае) каждой зоны Бриллюэна?

3. По указанным параметрам элементарной ячейки определите тип кристаллографической системы.

4. Приведите примеры металлов с ОЦК-, ГЦК- и гексагональной решётками:

5. Простые кристаллические структуры:

поваренная соль (NaCl), алмаз, вюрцит, цинковая обманка, флюорит, рутил.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 2.9; 2.12; 2.13; 2.14; 2.19.

Типовая задача:

Найти связь между объёмами параллелепипедов, построенных на базисных векторах прямой и обратной решёток.

Тема № 3: «Зонная теория кристаллов»

I. Теоретические вопросы

1. Описание электрона в периодическом поле кристалла.

а) Сформулируйте теорему Блоха. Что такое блоховские волновые функции?

Проиллюстрируйте существенное отличие волновой функции свободного электрона от волновой функции Блоха с помощью наглядной картинки.

б) Что такое квазимпульс? Почему в кристалле вместо импульса вводится квазимпульс?

в) Докажите, что оператор кинетической энергии электрона в кристалле определяется суммой импульса и квазимпульса (Электронная теория вещества, с. 23).

г) Каковы особенности энергетического спектра электрона в кристалле? Нарисуйте периодическую зонную схему.

д) Заполните сравнительную таблицу характеристик свободного электрона, электрона в атоме водорода и электрона в периодическом поле кристалла:

№ Характеристики Свободный электрон Электрон в атоме водорода Электрон в кристалле

- 1 Квантовые числа
 - 2 Волновая функция
 - 3 Энергия
 - 4 Скорость
 - 5 Импульс
 - 6 Масса
2. Приближение почти свободных электронов.
- а) Энергетический спектр (формула и иллюстрации: расширенная зонная схема и схема приведённых зон).
 - б) В каких точках к – пространства возникают разрывы в энергетическом спектре? Какова физическая причина появления этих разрывов?
3. Приближение сильной связи.
- а) Энергетический спектр электрона в приближении сильной связи и его иллюстрация (формула и рисунок).
 - б) Какова физическая причина образования энергетических зон в кристалле?
 - в) Как влияет величина интеграла переноса на ширину разрешённой зоны?
 - г) Что такое циклические граничные условия Борна-Кармана, и зачем они вводятся?
 - д) Как с точки зрения зонной теории объясняется существование различных типов электропроводности кристаллов (металлы, полуметаллы, изоляторы, полупроводники)? Приведите соответствующие зонные схемы.
4. Определите тип электропроводности следующих кристаллов:
- а) литий;
 - б) магний;
 - в) криптон;
 - г) поваренная соль NaCl .
5. В чём заключаются недостатки зонной теории кристаллов?
- Что такое пайерлсовский и моттовский переходы металл-изолятор?
- II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.
- № 2.25; 2.31; 2.33; 2.40; 2.41.
- Типовая задача:
- Показать, что существование разрывов в энергетическом спектре электрона на границах зоны Бриллюэна эквивалентно условию брэгговского отражения электронных волн.
- Тема № 4: "Динамика кристаллической решетки"
- I. Вопросы для письменного ответа.
1. Какова физическая причина теплового расширения кристалла? Какую роль играет ангармонизм колебаний решётки в этом явлении?
 2. Как зависит теплоёмкость кристалла от температуры в области низких температур
 - а) в классической теории теплоёмкости;
 - б) в квантовой теории А. Эйнштейна; в) в квантовой теории П. Дебая?
 3. Каков физический смысл дебаевской частоты и дебаевской температуры? Оцените дебаевскую частоту для кристаллов золота и алмаза, используя значения их дебаевских температур.
 4. Что такое фонон? Приведите примеры других известных Вам квазичастиц. Как зависит концентрация фононов от температуры
 - а) в области высоких температур;
 - б) в области низких температур?
 5. Как можно экспериментально проверить закон дисперсии фононов? (Электронная теория вещества, § 11). Почему для получения закона дисперсии фононов удобно использовать нейтроны, а фотоны для этого непригодны? Чтобы подчеркнуть факт этого различия двух частиц (нейтронов и фотонов), Рейсленд - автор книги «Физика фононов» прибегает к языку поэзии и приводит отрывок из стихотворения Элизабет Браунинг (с. 314):

Как непохожи друг на друга мы,
 Как непохожи, о, сердце благородное!
 И как несхожи занятия и судьбы наши.
 В полёте крыльями столкнувшись,
 Взирают с удивлением друг на друга
 Два наших ангела-хранителя.

.....

Елей на голову твою, а на мою – роса.
 И смерти лишь дано всё уравнять.

Проведите сравнение энергий и импульсов нейтронов и фононов на примере кристалла меди, используя следующие данные: энергия нейтронов $E \sim 0.1$ эВ, скорость звука $v = 4700$ м/с, а массу нейтрона Вы, конечно, знаете сами.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

3.7; 3.10; 3.13; 3.20; 3.26.

Типовая задача:

Для некоторого элемента, находящегося в кристаллическом состоянии, теплоёмкость при постоянном объёме и температуре $T_1 = 373$ К равна $16 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$. Считая температуру Дебая постоянной, найти значение теплоёмкости при температуре $T_2 = 173$ К. (Использовать табличные значения функции Дебая).

Тема № 5: "Электронный газ в металле"

I. Вопросы для письменного ответа.

1. Перечислите успехи и затруднения классической электронной теории металлов Друде-Лоренца.
2. Дайте теоретическое обоснование закона Джоуля-Ленца на основе классической электронной теории Друде-Лоренца (учебник Свирского М.С., § 16).
3. Характеристики электронного газа в металле.

а) Что такое поверхность Ферми металла? Почему эта поверхность существует?

б) Какой функцией распределения описываются электроны металла? Покажите графически её поведение в двух случаях: а) при $T=0$; б) при $T\neq 0$.

в) Электроны в металле имеют следующие характерные скорости:

- скорость теплового хаотического движения (тепловая скорость);
- скорость дрейфа;

- скорость на поверхности Ферми (скорость Ферми).

Дайте определение этих скоростей; укажите соответствующие формулы, с помощью которых эти скорости определяются; расположите эти скорости в порядке возрастания их типичных числовых значений.

г) Заполните таблицу "Основные параметры поверхности Ферми в модели газа свободных электронов" и проиллюстрируйте их значения на примере лития:

4. Электропроводность металлов в квантовой теории Зоммерфельда.

а) Кинетическое уравнение Больцмана для электронов в металле в приближении времени релаксации (линеаризованное). Какую роль играют столкновения электронов с кристаллической решёткой в электропроводности металла?

б) Объясните понятие времени релаксации, используя график зависимости от времени отклонения функции распределения от равновесного значения.

в) В чём состоит существенное отличие классического и квантового выражений для коэффициента удельной электропроводности металлов?

г) Какова температурная зависимость электросопротивления металлов в области высоких и низких температур? Проиллюстрируйте это графически.

д) Почему закон Видемана-Франца хорошо выполняется при высоких температурах, но нарушается в области низких температур? Что такое «горячие» и «холодные» электроны?

5. Поведение электронов металла во внешнем магнитном поле.

а) В чём заключается квантующее влияние магнитного поля на газ электронов в металле? Что такое диамагнетизм Ландау? Каков вид электронного энергетического спектра в магнитном поле без учёта спина?

б) Чем обусловлены осцилляционные эффекты в металлах при низких температурах?

в) Проиллюстрируйте возникновение спинового парамагнетизма (парамагнетизма Паули) с помощью графика, отложив по оси абсцисс квадрат плотности электронных состояний, а по оси ординат – энергию. Нарисуйте три картинки:

1) в отсутствие внешнего магнитного поля;

2) в магнитном поле до установления статистического равновесия;

3) в магнитном поле после установления статистического равновесия, когда выравниваются химические потенциалы (уровни Ферми) состояний с положительной и отрицательной проекциями спинов.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 4.1; 4.3; 4.8; 4.17; 4.29.

Типовая задача:

В таблицах имеется значение постоянной Холла для алюминия. Сколько электронов в расчёте на один атом участвуют в проводимости? Какие сведения можно отсюда извлечь относительно энергетической зонной структуры кристаллического алюминия?

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 1

1. Кристаллографические системы. Решетки Браве.
2. Обратная решётка. Зоны Бриллюэна.
3. Движение электрона в периодическом поле кристалла.
 - а) волновые функции Блоха;
 - б) квазимпульс;
 - в) особенности энергетического спектра и квантовые числа электронов в кристалле.
4. Приближение почти свободных электронов.
5. Расщепление атомных энергетических уровней и образование энергетических зон в приближении сильной связи.

6. Классификация кристаллов по типу проводимости на основе зонной теории.
7. Квантование колебаний кристаллической решетки. Метод квазичастиц.
8. Классическая теория теплоемкости твердых тел и её затруднения.
9. Квантовая теория теплоемкости кристаллов (по Эйнштейну и Дебаю).
10. Ангармонизм и тепловое расширение кристаллов.

Раздел: Электрические и магнитные свойства твердых тел

Задания для оценки знаний

1. Конспект по теме:

1. Работы А.Г. Столетова, Я.Г. Дорфмана, Я.И. Френкеля по ферромагнетизму.
2. Основы s-d (f) обменной модели Шубина – Вонсовского.
3. Реализация промежуточной квантовой статистики в магнитных системах (работы С.В. Вонсовского, М.С. Свирского).
4. Развитие теории сверхпроводимости, возможные механизмы ВТСП.
5. Экспериментальные успехи на пути решения проблемы ВТСП.

Задания для оценки умений

1. Задача:

Тема № 6: «Полупроводники»

I. Вопросы для письменного ответа

1. Дайте определение следующим понятиям:

- 1) полупроводник с собственной и примесной проводимостью;
- 2) многодолинный полупроводник;
- 3) фотопроводимость;
- 4) экситоны (Ванье - Мотта и Френкеля);
- 5) дырочно-электронный переход.

2. Дайте физическое обоснование температурных зависимостей подвижности токоносителей в полупроводниках с разным типом проводимости для невырожденного и вырожденного электронного газа (См. учебник М.С. Свирского, 1980 г., с. 135).

3. Для полупроводника с собственной проводимостью укажите температурную зависимость
а) концентрации носителей тока;

б) коэффициента удельной электропроводности;

в) электросопротивления. Какова физическая причина такой зависимости?

4. Дайте объяснение эффекта Холла в полупроводниках в рамках классической электронной теории (см. учебник Свирского М.С., § 24).

А что Вам известно о квантовом эффекте Холла?

5. Дайте объяснение несимметричного вида вольт-амперной характеристики p-n перехода (см. §25 учебника Свирского М.С.).

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 5.3; 5.10; 5.17; 5.19; 5.22 .

Типовая задача:

В некотором образце германия, у которого подвижность электронов в 2.1 раза больше подвижности дырок, эффект Холла не наблюдается. Найти для такого образца отношение концентрации электронов к концентрации дырок и долю электропроводности, обусловленную электронами.

Тема № 7: Магнитные свойства вещества

I. Вопросы для письменного ответа

1. Заполните сравнительную таблицу слабомагнитных (магнитонеупорядоченных) веществ:

№ Характеристики Диамагнетики Парамагнетики

- 1 Определение
- 2 Поясняющий рисунок
- 3 Физическая природа эффекта
- 4 Формула для намагниченности
- 5 Магнитная восприимчивость
- 6 Примеры веществ

2. Проведите сравнение ферро- и антиферромагнетизма согласно следующей таблице:

№ Характеристики Ферромагнетики Антиферромагнетики

- 1 Определение
- 2 Поясняющий рисунок в пределах одного домена
- 3 Физическая природа данного магнитного упорядочения, знак обменного интеграла

- 4 Зависимость намагниченности от напряженности внешнего магнитного поля
- 5 Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости
- 6 Температура перехода в парамагнитное состояние
- 7 Примеры веществ
3. Опишите кратко 3-4 основных экспериментальных метода наблюдения доменной структуры ферромагнетиков (см., напр., Вонсовский С.В. МАГНЕТИЗМ).
4. Дайте объяснение графикам, иллюстрирующим некоторые свойства магнитных материалов.
5. Рассмотрев задачу о молекуле водорода, получите критерий существования ферромагнитного и антиферромагнитного состояний с учетом их обменной природы. Можно воспользоваться учебником: Свирская Л.М. Квантовая механика. Курс лекций («Лекции Свирских»), часть II, с. 131-138).
- II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.
- № 7.6; 7.21; 7.24; 7.31; 7.36; 7.43.

Типовая задача:

Показать, что в квазиклассическом приближении диамагнитная восприимчивость газа свободных электронов равна нулю.

Тема № 8: "Сверхпроводимость"

I. Вопросы для письменного ответа

1. Что такое сверхпроводимость? Опишите экспериментальные факты, относящиеся к явлению сверхпроводимости:
 - а) Нарисуйте график температурной зависимости электросопротивления сверхпроводника.
 - б) В чём заключается эффект Мейсснера - Окссенфельда?
 - в) Что такое изотопический эффект?
 - г) Что такое сверхпроводники 1 и 2 рода?
 - д) В чём заключается явление квантования магнитного потока в сверхпроводниках?
2. Запишите 2 основных уравнения электродинамики сверхпроводников в первой феноменологической теории сверхпроводимости (уравнения Ф. и Г. Лондонов). Каков их физический смысл? Что такое лондоновская глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник?
3. Что такое куперовские пары в сверхпроводниках? Каким способом удается компенсировать взаимное «отвращение» электронов, не нарушая закона Кулона?
 - а) Приведите поясняющий рисунок и объясните роль виртуальных фононов.
 - б) Запишите функцию распределения электронных пар и сравните её поведение в зависимости от энергии с электронной функцией распределения в нормальном металле.
 - в) Какова длина когерентности (характерное расстояние, на котором осуществляется коррелированное движение электронов в куперовской паре)?
 - г) Что такое энергетическая щель в спектре одночастичных возбуждений сверхпроводника?
 - д) Запишите выражение для критической температуры сверхпроводящего перехода согласно микроскопической теории Бардина - Купера - Шраффера (БКШ). От чего она зависит?
4. Какова температурная зависимость следующих характеристик сверхпроводника:
 - а) напряжённости критического магнитного поля;
 - б) глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник;
 - в) энергетической щели?
5. Что такое высокотемпературная (ВТСП) и комнатотемпературная сверхпроводимость (КТСП)? Приведите примеры сверхпроводников с достаточно высокими значениями критической температуры сверхпроводящего перехода.

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.:

№ 8.3; 8.9; 8.16; 8.22; 8.25.

Типовая задача:

В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром 0.1 мм, в котором захвачено 10 квантов магнитного потока. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля в отверстии.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

1. Поверхность Ферми металлов.
2. Квантовая теория электропроводности металлов.
3. Электропроводность полупроводников.
4. Полярные диэлектрики и температурная зависимость их диэлектрической постоянной.
5. Нормальная и аномальная дисперсия. Физический смысл вещественной и мнимой части показателя преломления света.
6. Классическая теория диамагнетизма.
7. Классическая теория парамагнетизма. Функция Ланжевена.
8. Обменная природа ферромагнетизма.
9. Явление сверхпроводимости. Основные опытные факты.
10. Природа явления сверхпроводимости. Пары Купера.

3. Конспект по теме:

1. Работы А.Г. Столетова, Я.Г. Дорфмана, Я.И. Френкеля по ферромагнетизму.
2. Основы s-d (f) обменной модели Шубина – Вонсовского.
3. Реализация промежуточной квантовой статистики в магнитных системах (работы С.В. Вонсовского, М.С. Свирского).
4. Развитие теории сверхпроводимости, возможные механизмы ВТСП.
5. Экспериментальные успехи на пути решения проблемы ВТСП.

4. Контрольная работа по разделу/теме:

1. Для кристалла калия
 - нарисуйте схему образования возможных энергетических зон;
 - определите число состояний в каждой зоне;
 - определите степень заполнения электронами каждой зоны;
 - установите тип электропроводности этого кристалла с точки зрения зонной теории.
2. Используя квадратичный закон дисперсии, определите волновое число на поверхности Ферми и энергию Ферми для магния. Концентрация электронов равна . Эффективную массу принять равной массе свободного электрона.
3. Найти лондоновскую глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник для рения. Каков её физический смысл? ($\rho=20.5 \text{ г/} [\text{см}]^3$)
4. По медной проволоке с площадью поперечного сечения $S=0.01 [\text{см}]^2$ проходит ток 20 А. Оцените скорость дрейфа электронов в электрическом поле и сравните её со скоростью теплового хаотического движения при комнатной температуре. Считать, что эффективная масса равна массе свободного электрона.
5. Оценить величину энергии обменного взаимодействия электронов соседних узлов кристаллической решетки для железа, если температура Кюри составляет 1043 К.
6. Как меняется вид волновой функции электрона в кристалле по сравнению со свободным электроном? Что конкретно меняется, и какова причина этого изменения?
7. Как можно отличить металл от полупроводника по виду температурной зависимости электросопротивления? (Приведите соответствующие графики и формулы).
8. Какой вид магнетизма будет иметь электронный газ в металле в постоянном магнитном поле?
 - а) без учёта спина электрона;
 - б) с учётом спина?
9. В чём заключается эффект Мейсснера-Оксенфельда в сверхпроводниках? Каким уравнением он описывается?
10. В чём заключается метод квазичастиц, широко применяемый в физике твёрдого тела? Какие квазичастицы Вам известны?

5. Отчет по лабораторной работе:

Отчет по лабораторной работе:

1. Заполнить таблицу "Основные параметры поверхности Ферми в модели газа свободных электронов" и проиллюстрировать их значения на примере лития.
2. Кvantующее влияние магнитного поля на газ электронов в металле. Каков вид электронного энергетического спектра в магнитном поле без учёта спина?
3. Осцилляционные эффекты в металлах при низких температурах. Установить связь периода осцилляций магнитной восприимчивости с площадью экстремального сечения поверхности Ферми.
4. Объяснение возникновения спинового парамагнетизма Паули.
5. Температурная зависимость электросопротивления металлов в области высоких и низких температур.

Задания для оценки владений

1. Задача:

Тема № 6: «Полупроводники»

I. Вопросы для письменного ответа

1. Дайте определение следующим понятиям:

- 1) полупроводник с собственной и примесной проводимостью;
- 2) многодолинный полупроводник;
- 3) фотопроводимость;
- 4) экситоны (Ванье - Мотта и Френкеля);
- 5) дырочно-электронный переход.

2. Дайте физическое обоснование температурных зависимостей подвижности токоносителей в полупроводниках с разным типом проводимости для невырожденного и вырожденного электронного газа

(См. учебник М.С. Свирского, 1980 г., с. 135).

3. Для полупроводника с собственной проводимостью укажите температурную зависимость
 - а) концентрации носителей тока;
 - б) коэффициента удельной электропроводности;
 - в) электросопротивления. Какова физическая причина такой зависимости?
4. Дайте объяснение эффекта Холла в полупроводниках в рамках классической электронной теории (см. учебник Свирского М.С., § 24).

А что Вам известно о квантовом эффекте Холла?

5. Дайте объяснение несимметричного вида вольт-амперной характеристики р-п перехода (см. §25 учебника Свирского М.С.).

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 5.3; 5.10; 5.17; 5.19; 5.22 .

Типовая задача:

В некотором образце германия, у которого подвижность электронов в 2.1 раза больше подвижности дырок, эффект Холла не наблюдается. Найти для такого образца отношение концентрации электронов к концентрации дырок и долю электропроводности, обусловленную электронами.

Тема № 7: Магнитные свойства вещества

I. Вопросы для письменного ответа

1. Заполните сравнительную таблицу слабомагнитных (магнитонеупорядоченных) веществ:

№ Характеристики Диамагнетики Парамагнетики

- 1 Определение
- 2 Поясняющий рисунок
- 3 Физическая природа эффекта
- 4 Формула для намагниченности
- 5 Магнитная восприимчивость
- 6 Примеры веществ

2. Проведите сравнение ферро- и антиферромагнетизма согласно следующей таблице:

№ Характеристики Ферромагнетики Антиферромагнетики

- 1 Определение
 - 2 Поясняющий рисунок в пределах одного домена
 - 3 Физическая природа данного магнитного упорядочения, знак обменного интеграла
 - 4 Зависимость намагниченности от напряженности внешнего магнитного поля
 - 5 Температурная зависимость парамагнитной восприимчивости
 - 6 Температура перехода в парамагнитное состояние
 - 7 Примеры веществ
3. Опишите кратко 3-4 основных экспериментальных метода наблюдения доменной структуры ферромагнетиков (см., напр., Вонсовский С.В. МАГНЕТИЗМ).

4. Дайте объяснение графикам, иллюстрирующим некоторые свойства магнитных материалов.

5. Рассмотрев задачу о молекуле водорода, получите критерий существования ферромагнитного и антиферромагнитного состояний с учетом их обменной природы. Можно воспользоваться учебником: Свирская Л.М. Квантовая механика. Курс лекций («Лекции Свирских»), часть II, с. 131-138).

II. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.

№ 7.6; 7.21; 7.24; 7.31; 7.36; 7.43.

Типовая задача:

Показать, что в квазиклассическом приближении диамагнитная восприимчивость газа свободных электронов равна нулю.

Тема № 8: "Сверхпроводимость"

I. Вопросы для письменного ответа

1. Что такое сверхпроводимость? Опишите экспериментальные факты, относящиеся к явлению сверхпроводимости:

- а) Нарисуйте график температурной зависимости электросопротивления сверхпроводника.
 - б) В чём заключается эффект Мейсснера - Оксенфельда?
 - в) Что такое изотопический эффект?
 - г) Что такое сверхпроводники 1 и 2 рода?
 - д) В чём заключается явление квантования магнитного потока в сверхпроводниках?
2. Запишите 2 основных уравнения электродинамики сверхпроводников в первой феноменологической теории сверхпроводимости (уравнения Ф. и Г. Лондонов). Каков их физический смысл? Что такое лондоновская глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник?
3. Что такое куперовские пары в сверхпроводниках? Каким способом удается компенсировать взаимное «отвращение» электронов, не нарушая закона Кулона?
- а) Приведите поясняющий рисунок и объясните роль виртуальных фононов.
 - б) Запишите функцию распределения электронных пар и сравните её поведение в зависимости от энергии с электронной функцией распределения в нормальном металле.

- в) Какова длина когерентности (характерное расстояние, на котором осуществляется коррелированное движение электронов в куперовской паре)?
- г) Что такое энергетическая щель в спектре одночастичных возбуждений сверхпроводника?
- д) Запишите выражение для критической температуры сверхпроводящего перехода согласно микроскопической теории Бардина - Купера - Шриффера (БКШ). От чего она зависит?
4. Какова температурная зависимость следующих характеристик сверхпроводника:
- напряжённости критического магнитного поля;
 - глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник;
 - энергетической щели?
5. Что такое высокотемпературная (ВТСП) и комнатнотемпературная сверхпроводимость (КТСП)? Приведите примеры сверхпроводников с достаточно высокими значениями критической температуры сверхпроводящего перехода.

П. Задачи по задачнику Серовой Ф.Г. и Янкиной А.А.:

№ 8.3; 8.9; 8.16; 8.22; 8.25.

Типовая задача:

В массивном сверхпроводнике имеется цилиндрическое отверстие диаметром 0.1 мм, в котором захвачено 10 квантов магнитного потока. Определить индукцию и напряжённость магнитного поля в отверстии.

2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

- Поверхность Ферми металлов.
- Квантовая теория электропроводности металлов.
- Электропроводность полупроводников.
- Полярные диэлектрики и температурная зависимость их диэлектрической постоянной.
- Нормальная и аномальная дисперсия. Физический смысл вещественной и мнимой части показателя преломления света.
- Классическая теория диамагнетизма.
- Классическая теория парамагнетизма. Функция Ланжевена.
- Обменная природа ферромагнетизма.
- Явление сверхпроводимости. Основные опытные факты.
- Природа явления сверхпроводимости. Пары Купера.

3. Контрольная работа по разделу/теме:

- Для кристалла калия
 - нарисуйте схему образования возможных энергетических зон;
 - определите число состояний в каждой зоне;
 - определите степень заполнения электронами каждой зоны;
 - установите тип электропроводности этого кристалла с точки зрения зонной теории.
- Используя квадратичный закон дисперсии, определите волновое число на поверхности Ферми и энергию Ферми для магния. Концентрация электронов равна . Эффективную массу принять равной массе свободного электрона.
- Найти лондоновскую глубину проникновения магнитного поля в сверхпроводник для рения. Каков её физический смысл? ($\rho=20.5 \text{ г/} [\text{см}]^3$)
- По медной проволоке с площадью поперечного сечения $S=0.01 [\text{см}]^2$ проходит ток 20 А. Оцените скорость дрейфа электронов в электрическом поле и сравните её со скоростью теплового хаотического движения при комнатной температуре. Считать, что эффективная масса равна массе свободного электрона.
- Оценить величину энергии обменного взаимодействия электронов соседних узлов кристаллической решетки для железа, если температура Кюри составляет 1043 К.
- Как меняется вид волновой функции электрона в кристалле по сравнению со свободным электроном? Что конкретно меняется, и какова причина этого изменения?
- Как можно отличить металл от полупроводника по виду температурной зависимости электросопротивления? (Приведите соответствующие графики и формулы).
- Какой вид магнетизма будет иметь электронный газ в металле в постоянном магнитном поле?
- а) без учёта спина электрона; б) с учётом спина?
- В чём заключается эффект Мейсснера-Оксенфельда в сверхпроводниках? Каким уравнением он описывается?
- В чём заключается метод квазичастиц, широко применяемый в физике твёрдого тела? Какие квазичастицы Вам известны?

4. Отчет по лабораторной работе:

Отчет по лабораторной работе:

1. Заполнить таблицу "Основные параметры поверхности Ферми в модели газа свободных электронов" и проиллюстрировать их значения на примере лития.
2. Кvantующее влияние магнитного поля на газ электронов в металле. Каков вид электронного энергетического спектра в магнитном поле без учёта спина?
3. Осцилляционные эффекты в металлах при низких температурах. Установить связь периода осцилляций магнитной восприимчивости с площадью экстремального сечения поверхности Ферми.
4. Объяснение возникновения спинового парамагнетизма Паули.
5. Температурная зависимость электросопротивления металлов в области высоких и низких температур.

2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

1. Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Типы связей атомов в твердых телах.
2. Геометрия кристаллической решетки. Решетки Бравэ.
3. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
4. Движение электрона в периодическом поле кристалла. Волновые функции Блоха. Квазимпульс.
5. Энергетический спектр и квантовые числа электронов в кристалле.
6. Приближение почти свободных электронов.
7. Расщепление атомных энергетических уровней и образование энергетических зон в приближении сильной связи.
8. Классификация кристаллов по типу проводимости на основе зонной теории.
9. Квантование колебаний кристаллической решетки. Метод квазичастиц. Фононы.
10. Квантовая теория теплоемкости кристаллов по Эйнштейну.
11. Квантовая теория теплоемкости кристаллов по Дебаю.
12. Ангармонизм и тепловое расширение кристаллов.
13. Закон дисперсии квазимпульса и метод эффективной массы.
14. Поверхность Ферми металлов.
15. Диамагнетизм газа свободных электронов.
16. Парамагнетизм Паули.
17. Закон Ома в дифференциальной форме.
18. Закон Джоуля - Ленца в дифференциальной форме.
19. Закон Видемана-Франца.
20. Эффект Холла в металлах.
21. Затруднения классической электронной теории проводимости металлов.
22. Кинетическое уравнение Больцмана для электронов в металле.
23. Температурная зависимость электропроводности металлов согласно квантовой теории.
24. Собственная проводимость полупроводников и ее температурная зависимость.
25. Понятие о примесной проводимости полупроводников..
26. Эффективное поле в диэлектриках.
27. Формулы Клаузиуса - Мессоти и Лоренц - Лорентца.
28. Полярные диэлектрики и температурная зависимость их диэлектрической постоянной.
29. Микроструктура диэлектрической постоянной.
30. Нормальная и аномальная дисперсия. Физический смысл вещественной и мнимой части показателя преломления света.
31. Классическая теория диамагнетизма.
32. Классическая теория парамагнетизма. Функция Ланжевена.
33. Классическая теория ферромагнетизма. Молекулярное поле Вейсса.
34. Обменная природа ферромагнетизма.
35. Спиновые волны. Магноны. Закон 3/2 Блоха для намагниченности.
36. Понятие об антиферромагнетизме.
37. Явление сверхпроводимости. Основные опытные факты.
38. Уравнения Лондонов. Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник.
39. Природа явления сверхпроводимости. Пары Купера. Энергетическая щель в спектре одночастичных возбуждений сверхпроводника. Критическая температура сверхпроводящего перехода.
40. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости.

Практические задания:

1. Используя зависимость напряжённости критического магнитного поля от температуры, определить максимальную силу тока в оловянной проволоке диаметром $d=2\text{мм}$ при температуре $T_1 = 2\text{К}$, если критическая напряжённость поля при абсолютном нуле 24400 А/м и критическая температура перехода из нормального состояния в сверхпроводящее составляет 3.7 К . При каком диаметре проволоки по ней может протекать ток 200 А без перехода в нормальное состояние?

Раздел 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

1. Для текущего контроля используются следующие оценочные средства:

1. Задача

Задачи позволяют оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины;

умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.

Алгоритм решения задач:

1. Внимательно прочтите условие задания и уясните основной вопрос, представьте процессы и явления, описанные в условии.
2. Повторно прочтите условие для того, чтобы чётко представить основной вопрос, проблему, цель решения, заданные величины, опираясь на которые можно вести поиск решения.
3. Произведите краткую запись условия задания.
4. Если необходимо, составьте таблицу, схему, рисунок или чертёж.
5. Установите связь между искомыми величинами и данными; определите метод решения задания, составьте план решения.
6. Выполните план решения, обосновывая каждое действие.
7. Проверьте правильность решения задания.
8. Произведите оценку реальности полученного решения.
9. Запишите ответ.

2. Коллоквиум

Коллоквиум - вид учебно-теоретических занятий, представляющий собой групповое обсуждение под руководством преподавателя достаточно широкого круга проблем, например, относительно самостоятельного большого раздела лекционного курса.

Подготовка к данному виду учебных занятий осуществляется в следующем порядке: преподаватель дает список вопросов, ответы на которые следует получить при изучении определенного перечня научных источников; студентам во внеаудиторное время необходимо прочитать специальную литературу, выписать из нее ответы на вопросы, которые будут обсуждаться на коллоквиуме, мысленно сформулировать свое мнение по каждому из вопросов, которое они высажут на занятии.

3. Конспект по теме

Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника.

Различаются четыре типа конспектов.

План-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то теме (вопросу).

В процессе изучения материала источника, составления конспекта нужно обязательно применять различные выделения, подзаголовки, создавая блочную структуру конспекта. Это делает конспект легко воспринимаемым, удобным для работы.

Этапы выполнения конспекта:

1. определить цель составления конспекта;
2. записать название текста или его части;
3. записать выходные данные текста (автор, место и год издания);
4. выделить при первичном чтении основные смысловые части текста;
5. выделить основные положения текста;
6. выделить понятия, термины, которые требуют разъяснений;
7. последовательно и кратко изложить своими словами существенные положения изучаемого материала;
8. включить в запись выводы по основным положениям, конкретным фактам и примерам (без подробного описания);
9. использовать приемы наглядного отражения содержания (абзацы «ступеньками», различные способы подчеркивания, шрифт разного начертания, ручки разного цвета);
10. соблюдать правила цитирования (цитата должна быть заключена в кавычки, дана ссылка на ее источник, указана страница).

4. Контрольная работа по разделу/теме

Контрольная работа выполняется с целью проверки знаний и умений, полученных студентом в ходе лекционных и практических занятий и самостоятельного изучения дисциплины. Написание контрольной работы призвано установить степень усвоения студентами учебного материала раздела/темы и формирования соответствующих компетенций.

Подготовку к контрольной работе следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данному разделу/теме и конспектов лекций.

Контрольная работа выполняется студентом в срок, установленный преподавателем в письменном (печатном или рукописном) виде.

При оформлении контрольной работы следует придерживаться рекомендаций, представленных в документе «Регламент оформления письменных работ».

5. Отчет по лабораторной работе

При составлении и оформлении отчета следует придерживаться рекомендаций, представленных в методических указаниях по выполнению лабораторных работ по дисциплине.

2. Описание процедуры промежуточной аттестации

Оценка за зачет/экзамен может быть выставлена по результатам текущего рейтинга. Текущий рейтинг – это результаты выполнения практических работ в ходе обучения, контрольных работ, выполнения заданий к лекциям (при наличии) и др. видов заданий.

Результаты текущего рейтинга доводятся до студентов до начала экзаменационной сессии.

Экзамен преследует цель оценить работу обучающегося за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять их для решения практических задач.

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой (или в форме компьютерного тестирования). Экзаменационный билет включает в себя два вопроса и задачи. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения обучающихся не позднее чем за один месяц до экзаменационной сессии.

В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп.

При любой форме проведения экзаменов по билетам экзаменатору предоставляется право задавать студентам дополнительные вопросы, задачи и примеры по программе данной дисциплины. Дополнительные вопросы также, как и основные вопросы билета, требуют развернутого ответа.