УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
_____ И.В. Бычков
«26» 06 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)*

2.1.1.3 «Физика конденсированного состояния»

Научная специальность – 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Направленность (профиль) – Физика конденсированного состояния

Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения
очная

Челябинск, 2023

*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Программа по дисциплине «Физика конденсированного состояния» составлена в соответствии с паспортом научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и федеральными государственными требованиями (уровень образования: высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации), утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 года № 951.

Разработчики программы:

Зав. кафедрой физики конденсированного состояния,
доктор физико-математических наук, профессор _____В.Д. Бучельников

Программа одобрена на заседании кафедры физики конденсированного состояния от «18» апреля 2023 г., протокол № 06.

Программа утверждена на заседании Ученого совета физического факультета от «20» апреля 2023 г., протокол № 09.

Согласовано

И.о. декана физического факультета Д.А. Захарьевич

Зав. отделом аспирантуры
и докторантуры Н.В. Бочкарева

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Аннотация программы: Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к программам по подготовке к кандидатским экзаменам.
Дисциплина содержит сведения о строении твердых тел и жидкостях, способах их описания, об их электронных, механических, магнитных и других свойствах. История физики твердого тела. Агрегатные состояния вещества. Методология исследований. Экспериментальные и теоретические методы исследований. Классификация конденсированных сред с точки зрения расположения атомов в них. Принципы строения конденсированных систем, ближний и дальний порядок, функция радиального распределения частиц, пространственная когерентность, принципы плотной и валентной упаковок.

1. Цели и задачи освоения дисциплины.

Цель дисциплины – изучение фундаментальных основ описания конденсированного состояния вещества на основе общих методов квантовой теории, квантовой статистики и электродинамики, приобретение навыков решения и исследования конкретных физических задач. Освоение этой дисциплины позволит проводить анализ проблем современной физики, а также использовать ее методы при преподавании физических дисциплин в высших учебных заведениях.

Задачи дисциплины:

- изучение основных понятий и методов физики конденсированного состояния;
- ознакомление с основными направлениями развития в области физики конденсированного состояния и ее приложениями.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является обязательной. Преподавание дисциплины осуществляется на третьем курсе (6 семестре). Общая трудоемкость дисциплины, в том числе и промежуточная аттестация, составляет 3 зачетные единицы/108 часов, из них контактная работа с преподавателем составляет - 0,33 зачетных единиц/12 часов (практические – 12 часов), самостоятельная работа – 2,45 зачетных единиц/88 часов, контроль – 0,22 зачетных единиц/8 часов.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать фундаментальной подготовкой в области математики и физики в рамках университетского курса, а также современными методами исследований и программно-

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

вычислительными средствами.

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» призвана помочь аспирантам овладеть навыками и знаниями, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, включая выполнение кандидатской диссертации.

Требования к «входным» знаниям, умениям и опыту деятельности обучающегося, необходимые при изучении дисциплины

Знать	Уметь	Владеть
основные методы научно-исследовательской деятельности	выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач	навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования
цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов	составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты	систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно-исследовательских работ по предложенной теме
основные направления, современные проблемы теоретической физики, теории и методы, новейшие достижения в конкретной области знаний в рамках направленности	использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности	основами методологии научного познания при изучении конкретной области знаний в рамках направленности

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины:

Результаты обучения по дисциплине	
знать	основные понятия и методы физики конденсированного состояния
	основные направления, современные проблемы физики конденсированного состояния, теории и методы, новейшие достижения в конкретной области знаний в рамках направленности
уметь	формулировать задачи в области физики конденсированного состояния, применять математический аппарат, проводить анализ и интерпретацию полученных результатов
	использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности
владеть	представлениями об основных применениях в области физики конденсированного состояния, навыками решения конкретных физических задач; основами методологии научного познания при изучении конкретной области знаний в рамках направленности

4. Структура и содержание дисциплины

4.1 Структура дисциплины

Вид работы	Семестр						Всего
	1	2	3	4	5	6	
Общая трудоемкость, акад. часов	-	-	-	-	-	108	108
Контактная работа:	-	-	-	-	-	12	12
Лекции, акад. часов	-	-	-	-	-	-	-
Практические (семинары), акад. часов	-	-	-	-	-	12	12
Лабораторные работы, акад. часов	-	-	-	-	-	-	-
Самостоятельная работа, акад. часов	-	-	-	-	-	88	88
Контроль	-	-	-	-	-	8	8
Вид контроля (зачет, экзамен)	-	-	-	-	-	канд. экзамен	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

4.2. Содержание разделов дисциплины

№ раздела	Наименование раздела	Количество часов						Форма текущего контроля
		Всего	Контактная работа				Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические, семинары	Лаб. работы	Контроль		
1	Квазичастицы	5		1			4	выполнение контрольных работ в соответствии с предложенными разделами дисциплины
2	Динамика электронов	9		1			8	
3	Кинетические свойства	16		2			14	
4	Оптические свойства	13		1			12	
5	Металлы в магнитном поле	16		2			14	
6	Полупроводники	16		2			14	
7	Дополнительные вопросы физики конденсированного состояния	14		2			12	
8	Реферат по диссертационному исследованию	11		1			10	
9	Контроль	8				8		кандидат. экзамен
	Итого:	**108**		**12**		**8**	**88**	

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела*
1	Квазичастицы	Адиабатический принцип Борна-Эренфеста. Состояния электронов в кристаллической решетке. Зоны Бриллюэна, энергетические зоны. Акустические и оптические фононы. Плазмоны. Экситоны Френкеля и Ваннье.
2	Динамика электронов	Общие принципы описания динамики электронов. Функции Ваннье. Уравнение движения в представлении Ваннье. Пример решения уравнения движения в представлении Ваннье. Донорные примеси. Квазиклассическая динамика электронов. Тензор массы

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		электронов. Электроны и дырки. Экситоны. Адиабатический принцип. Рассеяние электронов на фононах. Полярон Фрелиха.
3	Кинетические свойства	Уравнение Больцмана. Линеаризованное уравнение Больцмана. Электропроводность. Теплопроводность. Термоэлектрические эффекты. Эффект Холла.
4	Оптические свойства	Оптические свойства. Постановка задачи. Межзонные прямые оптические переходы. Непрямые межзонные оптические переходы. Фотон – фононные переходы. Поляритоны. Взаимодействие электромагнитного поля с электронами проводимости.
5	Металлы в магнитном поле	Динамика электронов в магнитном поле. Циклотронный резонанс. Виды орбит электронов в магнитном поле. Магнетоакустический эффект. Квантование орбит электронов в магнитном поле. Эффект де Гааза – ван – Альфена.
6	Физика конденсированного состояния вещества	Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Теория фазовых переходов.
7	Полупроводники	Примеси и примесные уровни. Дефекты. Статистика носителей заряда. Неравновесные электроны и дырки. Теория p перехода. Емкость p-n- перехода. Время релаксации носителей заряда в p-n- переходе. Полупроводниковый диод. Полупроводниковый транзистор. Фотоэлектрический эффект в полупроводниках. Генерация света на p-n-переходе.
8	Дополнительные вопросы физики конденсированного состояния	Конденсация бозонов. Сверхтекучесть. Сверхпроводимость. Поверхностные состояния электронов. Состояния электронов в структурах с пониженной размерностью.

*Содержание разделов составлено в соответствии с паспортом научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

5. Образовательные технологии

- информационно-коммуникационные технологии;
- исследовательские методы в обучении;
- интерактивные технологии;
- применение новых методов обучения, связанных с использованием возможностей виртуальной информационной среды (мультимедийные технологии).

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

В соответствии с утвержденной основной образовательной программой по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (направленность (профиль) – Физика конденсированного состояния) программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков у обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- создание диалогического пространства в организации учебного процесса;
- использование принципов социально-психологического обучения в учебной и научной деятельности;
- формирование психологической готовности преподавателей к использованию интерактивных форм обучения, направленных на развитие внутренней активности аспиранта и достижения ряда важнейших образовательных целей: стимулирование мотивации и интереса в области углубленного изучения теоретической физики в общеобразовательном и профессиональном плане; повышение уровня активности и самостоятельности научно-исследовательской работы; развитие навыков анализа, критичности мышления, научной коммуникации.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

№	Контролируемые разделы дисциплины	Результаты обучения	Наименование оценочного средства
1	Квазичастицы	знать: динамика решетки. Адиабатическое приближение. Энергия кристаллической решетки. Роль трансляционной инвариантности. Колебания линейных цепочек. Общая классификация колебательных мод. Акустические и	изучение основной и дополнительной литературы, подготовка конспектов, выполнение контрольных работ

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		оптические колебания. Колебания неидеальных решеток, локальные моды. Квантование колебаний решетки. Фононы. Энергия, импульс и квазиимпульс фонона; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
2	Динамика электронов	знать: динамика решетки. Адиабатическое приближение. Энергия кристаллической решетки. Роль трансляционной инвариантности. Колебания линейных цепочек. Общая классификация колебательных мод. Акустические и оптические колебания. Колебания неидеальных решеток, локальные моды. Квантование колебаний решетки. Фононы. Энергия, импульс и квазиимпульс фонона. Экспериментальные методы определения фононного спектра. Рассеяние нейтронов. Бесфононное, однофононное и двухфононное рассеяние. Рассеяние электромагнитного излучения. Рассеяние рентгеновского излучения. Бриллюэновское и Мандельштам-Рамановское рассеяние; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
3	Кинетические свойства	знать: основные типы конденсированных сред, симметрийную классификацию кристаллических решеток, основные типы структурных дефектов, элементы теории упругости; особенности классического и квантово-механического описания электронного газа, основные термодинамические и кинетические характеристики и электромагнитные свойства электронного газа; методы описания динамики решетки, основные типы колебаний решетки и их физические проявления; свойства и основные типы сверхпроводников, микроскопические модели сверхпроводимости; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
4	Оптические свойства	знать: модель свободных электронов. Теория металлов Друде. Статическая электропроводность. Теплопроводность. Закон Видемана-Франца. Эффект Холла, постоянная Холла. Теплоемкость. Теория	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		металлов Зоммерфельда. Уравнение Шредингера для свободных электронов. Граничное условие Борна-Кармана. Элементы зонной теории. Понятие о самосогласованном поле в кристаллах. Квантовая механика частицы в пространственно-периодическом поле. Блоховские волновые функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна.Закон дисперсии электронов в кристаллах: общие свойства, разрешенные и запрещенные зоны. Движение электронов в кристалле под действием внешних электрических и магнитных полей. Поверхность Ферми. Энергетическая щель. Природа энергетической щели. Электронные, дырочные и открытые орбиты. Квантование орбит эл-на во внешнем постоянном магнитном поле. Уровни Ландау для свободных электронов в магнитном поле. Уровни Ландау для блоховских электронов; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
5	Металлы в магнитном поле	знать: намагниченность и восприимчивость. Гамильтониан взаимодействия	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		атомов и молекул с магнитным полем, расщепление уровней. Диамагнетизм. Формула Ланжевена для диамагнитной восприимчивости. Связь Рассела-Саундерса. Правила Хунда. Парамагнетизм. Восприимчивость атомов с частично заполненной оболочкой. Парамагнетизм Ван Флека. Ланжевенский парамагнетизм. Функции Бриллюэна и Ланжевена. Закон Кюри. Примеры: Редкоземельные ионы и ионы переходных элементов. Расщепление уровней внутрикристаллическим полем. Замораживание орбитального углового момента. Спиновый парамагнетизм Паули. Диамагнетизм Ландау. Ферромагнетизм. Понятие об обменном взаимодействии. Обменный интеграл. Магнитные домены. Спиновые волны - магноны. Антиферромагнетизм. Доменная структура. Феромагнитные домены. Движение границ при намагничивании, эффект Баркгаузена. Техническое и истинное насыщение, гистерезис, остаточная намагниченность, коэрциативная сила, потери энергии, магнитомягкие и магнитожесткие материалы. Магнитная анизотропия, направления легкого и	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		трудного намагничения. Наведенная, обменная, поверхностная анизотропия; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
6	Полупроводники	знать: полупроводники и диэлектрики, сегнетоэлектрики. Полупроводники. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Электроны и дырки. Полупроводники с прямой и непрямой щелью. Оптическая и термическая активация. Легирование полупроводников. Доноры и акцепторы. Энергия примесных состояний. Полупроводниковые сверхрешетки. Квантование спектра. Системы пониженной размерности. Квантовый эффект Холла; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	
7	Дополнительные вопросы физики конденсированного состояния	знать: сверхпроводимость. Основная феноменология. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Вихри Абрикосова.Туннельные эффекты в сверхпроводниках.	

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

		Эффект Джозефсона. Высокотемпературные сверх-проводники. Уравнение Лондонов. Основные идеи теории Бардина-Купера-Шриффера. Электронные пары. Теория Гинзбурга-Ландау; уметь: использовать фундаментальные физические представления в сфере профессиональной деятельности; владеть: навыками решения конкретных физических задач	

6.2. Оценочные средства

Текущий контроль

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий при выполнении самостоятельной работы, дискуссии на практических занятиях в соответствии с предложенными разделами дисциплины. Задания для текущего контроля при выполнении самостоятельной работы аспирантов – изучение основной и дополнительной литературы, подготовка конспектов и выполнение контрольных работ.

Промежуточная аттестация

Вопросы к экзамену формируются в соответствии с программой кандидатского экзамена и паспортом научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Реферат (на экзамене проводится собеседование и выставляется оценка). Подготовка реферата проводится в соответствии с общими требованиями, предъявляемыми к оформлению реферативных работ; реферативная работа представляет собой обзор мнений, точек зрения, научных положений по тематике диссертации.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Вопросы к кандидатскому экзамену

1. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.
2. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
3. 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.
4. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).
5. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
6. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
7. 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.
8. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
9. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
10. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
11. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
12. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
13. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

14. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
15. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
16. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
17. 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.
18. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
19. 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.
20. Проникновение высокочастотного поля в проводник Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
21. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
22. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
23. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
24. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.
25. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
26. Эффект Джозефсона.
27. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

28. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
29. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
30. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
31. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
32. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
33. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
34. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.
35. 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.
36. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

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/зачете.

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. Эти средства могут быть предоставлены ЧелГУ или могут использоваться собственные технические средства.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине 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,

– 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.

6.3. Критерии оценивания результатов обучения

Оценивание результатов обучения проводится по пятибалльной шкале:

«Отлично» (5 баллов): грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии; безошибочное владение категориальным аппаратом; умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов; умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования; логичность, связность ответа.

«Хорошо» (4 балла): грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии; проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов; умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования; логичность, связность ответа.

«Удовлетворительно» (3 балла): недостаточное использование в ответах научной терминологии; недостаточное владение категориальным аппаратом; умение обозначить только одну из проблем сформулированных в билетах вопросов;

«Неудовлетворительно» (1-2 балла): отсутствие в ответах необходимой научной терминологии; описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы; грубые

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

ошибки при изложении фактологического материала; неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования; нарушение логичности, связности ответа.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) обеспечивается выполнение следующих дополнительных требований в зависимости от индивидуальных особенностей обучающихся:

а) инструкция по порядку проведения процедуры оценивания предоставляется в доступной форме (устно, в письменной форме, в письменной форме на языке Брайля, устно с использованием услуг сурдопереводчика);

б) доступная форма предоставления заданий оценочных средств (в печатной форме, в печатной форме увеличенным шрифтом, в печатной форме шрифтом Брайля, в форме электронного документа, задания зачитываются ассистентом, задания предоставляются с использованием сурдоперевода);

в) доступная форма предоставления ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно на языке Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) может проводиться в несколько этапов.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов в соответствии с предложенной учебной и научной литературой, самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечены доступом к базам данных и библиотечным фондам и доступом к сети Интернет.

Самостоятельная работа способствует:

- углублению и расширению знаний;
- формированию интереса к самостоятельной научно-исследовательской деятельности;
- овладению приемами процесса познания и развитию познавательных способностей.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Самостоятельная работа аспирантов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся:

Самостоятельная работа аспиранта является показателем научного потенциала, умения работы с литературными источниками и нормативными актами, материалами практики, способности аспиранта к самостоятельному анализу проблемных вопросов. Она состоит в изучении учебной и научной литературы, в выполнении заданий для самостоятельной работы.

Аспиранты очной формы обучения изучают и нарабатывают теоретический и практический материал по большей части самостоятельно. При изучении научной, учебной литературы необходимо сопоставить содержание имеющейся в наличии литературы с программой кандидатского экзамена по специальности. В случае отсутствия того или иного источника литературы, необходимо обратиться к фондам Российской государственной библиотеки (г. Москва). Аспирант должен провести тщательную подготовительную работу с научной литературой по своей специальности, освоить теоретические, общие и частные научные методы поиска.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья 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.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Основная литература

(* литература, имеющаяся в библиотеке ЧелГУ или электронной библиотечной системе; ** литература, имеющаяся в электронной библиотечной системе)

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 2013.*
2. П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2010.*
3. В.А. Кацнельсон. Введение в физику твердого тела. М.: Изд-во МГУ, 2010.*
4. В.И. Зиненко, Б.П. Сорокин, П.П. Турчин Основы физики твердого тела. – Изд-во физматлит, М. 2011.
5. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. Дифракционный структурный анализ. М. 2013. 615 с*.
6*. Ольховский, И. И. Курс теоретической механики для физиков [Текст] : учебное пособие для вузов / И. И. Ольховский. — Изд. 4-е, стер. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. — 574 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Библиогр.: с. 565-566. — Предм. указ.: с. 567-574. — ISBN 978-5-8114-0857-3.
7*. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 5-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2006. - Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. - 544 с. - ISBN 5-9221-0601-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82995
8*. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 2-е изд., стереот. - М. : Физматлит, 2002. - Т. 5. Атомная и ядерная физика. - 783 с. - ISBN 5-9221-0230-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82991
9*. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 4-е изд., стереот. - М. : Физматлит, 2005. - Т. 1. Механика. - 560 с. - ISBN 5-9221-0225-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82978

Дополнительная литература

1. Киттель, Ч. Статистическая термодинамика/ пер. с англ. О. А. Ольхова под ред. С. П. Капицы/. — М.: Наука, 1977. — 336 с.*
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: В 10 томах: учебное пособие для студентов вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. — М.: Наука, . IX.
Статистическая физика. - Ч. 2: Теория конденсированного состояния / Е.М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. — 1978. — 448 с. : ил.*
3. Анималу А., Квантовая теория кристаллических твердых тел. - М.: Мир,

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

1981. - 574 с. *
4. Ашкрофт Н., Мермин Н., Физика твердого тела. - М.: Мир, 1981. - 458 с.
5. Лифшиц И.М., Азбель М.Я., Каганов М.И., Электронная теория металлов. - М.: Мир, 1971. - 209 с.*
6. Абрикосов А.А., Основы теории металлов.- М.: Наука, 1987. - 520 с.*
7. Давыдов А.С., Теория твердого тела. М.: Наука, 1976. - 640 с.*
8. Е.А. Беленков. Качественный рентгенофазовый анализ. Лабораторный практикум по рентгеноструктурному анализу. Челябин.госуд. ун-т, 1996*.
9. В. А. Тюменцев, Ш. Ш. Ягафаров, С. И. Саунина. Применение методов электронной микроскопии в материаловедении. Учебно-методическое пособие. Челябинск: Челяб. гос. ун-т, 2002 г. 100 с.*
10. В. Д. Бучельников. Физика магнитоупорядоченных сред. Учеб. пособие. Челябинск: ЧелГУ, 1996 г. 125 с. *
11*. Ландсберг, Г.С. Оптика : учебное пособие / Г.С. Ландсберг. - 6-е изд., стереот. - М. : Физматлит, 2010. - 848 с. - ISBN 978-5-9221-0314-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82969.
12*. Сивухин, Д.В. Общий курс физики : учебное пособие : в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 3-е изд., стереот. - М. : Физматлит, 2002. - Т. 4. Оптика. - 792 с. - ISBN 5-9221-0228-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82981

Электронные фонды и ресурсы

Средством доступа к системе собственных электронных ресурсов является сайт библиотеки www.lib.csu.ru. Электронный каталог обеспечивает полное и оперативное представление о библиотечном фонде, повышает качество и эффективность поиска информации – более ,5 млн. записей.

1. *Электронный каталог. Библиографические базы данных.*

Книги, электронные ресурсы, диссертации и авторефераты.

2. *Электронная библиотека.*

Издания ЧелГУ, УМК; диссертации, защищенные в советах ЧелГУ, резервные коллекции, фонд редких книг, электронный справочник «Информио», статистические издания России и стран СНГ.

3. *Реферативные*

Базы данных ИНИОН РАН, базы данных ВИНИТИ, Scopus (http://www.scopus.com), Science (архив).

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

4. Полнотекстовые

Базы данных диссертаций РГБ, АРБИКОН, SIGLA, научная электронная библиотека http://elibrary.ru, подписка на полнотекстовую коллекцию российских научных журналов (20-205, 48 наименований), издательств: Taylor&Francis, Sage Publications (архив научных журналов); Springer, Wiley (http://onlinelibrary.wiley.com).

5.Электронно-библиотечные системы с возможностью пользования лицензионными материалами из любой точки, имеющей доступ к сети Интерент (регистрация из сети университета персонального аккаунта): Университетская библиотека онлайн (www.biblioclub.ru), Лань (www.e.lanbook.com).

Интернет-ресурсы

Библиотечно-поисковые системы

•sigla.ru - Сигла - российский поисковый портал межбиблиотечной информации;

Персонально-ориентированные научные, поисковые, информационные порталы

•http://www.astronet.ru/ - Российская Астрономическая сеть;
•www.mendeley.com – Mendeley;
•www.phy.org/Science/Physics/ - Phy.org;
•https://mapofscience.ru - Карта российской науки;
•elementy.ru - Элементы большой науки;
•Электронный каталог Springer http://www.springer.com/

Электронные библиотеки и сайты издательств, доступные полностью или частично

•https://doaj.org/ - DOAJ - Directory of Open Eccess Journals;
•http://www.euro-math-soc.eu/digital-libraries - The European Mathematical Society. Digital Libraries;
•eLIBRARY.RU – Научная электронная библиотека;
•http://www.emis.de/ELibM.html - The Electronic Library of Mathematics;
•http://cds.cern.ch/ - CERN Document Server:
•http://iopscience.iop.org/journals - Institute of Physics Publishing;
•http://www.physnet.de/PhysNet/journals.html - Physics related free-access Journals;

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

•http://sci-lib.com/ - Большая научная библиотека;
•http://sci-lib.com/ - Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов;
•http://www.mathnet.ru/ - Общероссийский Математический Портал Math-Net.Ru (журналы Академиздатцентра "Наука" РАН);
•http://lib.mexmat.ru/ - Электронная библиотека Мехмата МГУ;
•http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library - Электронная библиотека РФФИ;

Периодические издания в открытом доступе

•http://www.scientific-publications.net/en/ - Journal of International Scientific Publications;
•http://www.hindawi.com/journals/physri/ - Physics Research International;
•http://num-meth.srcc.msu.su/ - Вычислительные методы и программирование. Новые вычислительные технологии;
•http://www.math.spbu.ru/diffjournal/RU/collection.html - Дифференциальные уравнения и процессы управления;
•http://journals.ioffe.ru/jtf/ - Журнал технической физики
•http://www.jetp.ac.ru/ - Журнал экспериментальной и теоретической физики;
•http://trv-science.ru/ - Троицкий вариант – Наука;
•http://ufn.ru/ - Успехи физических наук;

Препринты в открытом доступе

•arXiv.org;
•http://preprints.lebedev.ru/ - Препринты ФИАН

Лицензионное программное обеспечение по дисциплине (модулю)

1. Windows 10 Pro (Договор № АЭ-44/57/18 от 30 октября 2018 г. Лицензии бессрочные.).
2. Microsoft Office профессиональный 2016 (Договор № АЭ-44/57/18 от 30 октября 2018 г. Лицензии бессрочные).

8. Материально-техническое обеспечение

Для проведения занятий по дисциплине «Физика конденсированного состояния», предусмотренной учебным планом подготовки аспирантов, имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам, обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, а также эффективное выполнение выпускной квалификационной работы (диссертации):

– лекционные аудитории, оснащенные мультимедийными комплексами на основе антивандальной трибуны;

– специализированные компьютерные классы с подключенным к ним периферийным устройством и оборудованием;

– методические материалы для проведения самостоятельной работы по дисциплине.

На физическом факультете имеются учебные, научно-исследовательские лаборатории, оснащенные современными компьютерами и мультимедийными комплексами, современными приборами: учебно-вычислительная лаборатория (компьютерный класс каб.222), лаборатория рентгеноструктурного анализа (каб.126), лаборатория электронной микроскопии (каб. 121, 123), лаборатория физико-химических исследований (каб.131), Центр коллективного пользования «Наукоемкие технологии» (каб.126 в, г), совместная с ИРЭ РАН (г. Москва) лаборатория «Физики магнитных явлений» № 101(4). Все компьютеры кафедр и лабораторий физического факультета объединены локальной сетью, имеют выход в Интернет.

Университет располагает компьютерными классами, объединенными в локальную сеть, выходом в Интернет, оснащенными современными высокопроизводительными компьютерами. Поддерживается собственный сайт: http://csu.ru.

Для получения высшего образования по программам аспирантуры инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья в университете имеются аудитории, оснащенные следующим оборудованием:

Название кабинета	Оборудование
Тифлотехническая аудитория, кабинет А-28 первого учебного корпуса	Тифлотехнические средства: брайлевский компьютер с дисплеем и принтером, тифлокомплекс «Читающая машина», телевизионное увеличивающее устройство, тифломагнитолы кассетные (3 шт.) и цифровые диктофоны (6 шт.). Специальное программное обеспечение: программа речевой навигации JAWS, речевые синтезаторы («говорящая мышь»), экранные лупы.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Сурдотехническая аудитория, кабинет А-27 первого учебного корпуса	Радиокласс “Сонет-Р” (на 6 человек), программируемые слуховые аппараты (6 шт.) индивидуального пользования с устройством задания режима работы на компьютере, аудиотехника.
Аудитория адаптивных информационных технологий, кабинет А-27 первого учебного корпуса	Компьютерный класс на 2 мест, интерактивная доска ActiveBoard с системой голосования, акустический усилитель и колонки, мультимедийный проектор, телевизор, видеомагнитофон, устройство видеоконференцсвязи VCON HD3000.

Все указанные в настоящей рабочей программе дисциплины методическое и техническое обеспечение учебного процесса для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляется Региональным учебно-научным центром инклюзивного образования ЧелГУ.

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

В качестве основного оценочного средства текущего контроля используются индивидуальная проверка заданий при выполнении самостоятельной работы, дискуссии на практических занятиях в соответствии с предложенными разделами дисциплины. Задания для текущего контроля при выполнении самостоятельной работы аспирантов – изучение основной и дополнительной литературы, подготовка конспектов.

Методические указания к составлению конспекта

Конспекты представляют собой особую организацию теоретического учебного материала в виде отображения кратких выводов, поясняющих рисунков, символов, схем, графиков и так далее, зрительно подчеркивающего соотношение зависимости явлений, характеризующих определенную проблему.

В конспекте в определенной логической последовательности излагается главная информация по теоретическим блокам тем, разделов изучаемой дисциплины. В конспект вводятся и разъясняются все базисные понятия, теории и методы, приводятся иллюстративные примеры. Выполнение такой работы способствует усвоению материала, его запоминанию и осмыслению, развитию образного, логического и абстрактного мышления.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям, выполнению работы на практических занятиях

В часы практических занятий обучающиеся выполняют различные виды заданий: практические задачи / подготовка реферата и его доклад.

При решении практических задач необходимо обеспечить обоснованность решения; логичную последовательность и убедительность изложения своих доводов, каждый из которых должен быть связан с предыдущим, что обеспечивает формирование логического мышления; навыки краткой и точной формулировки промежуточных выводов и итогового решения. \

Подготовка реферата развивает самостоятельность мышления, способствует формированию научных интересов аспирантов, приобретению навыков самостоятельной работы с литературой, приобщает к определенному уровню научно-исследовательской деятельности, помогает освоить практику написания научных трудов, технику научной работы, приемы оформления текста рукописи. В реферате обучающийся должен показать уровень приобретенных теоретических и практических навыков, выявить имеющиеся общетеоретические и практические проблемы / разработать рекомендации, имеющие теоретические и практическое значение / сформулировать предложения, имеющие важное теоретическое значение / высказать собственные суждения.

При работе на практических занятиях происходят групповые дискуссии, анализируются ситуации, осуществляются иные технологии сотрудничества, у обучающихся формируется логическое мышление, навыки принятия решений, командной работы, межличностной коммуникации, лидерские качества.

Методические указания к самостоятельной работе обучающихся

Эффективное освоение дисциплины невозможно без самостоятельной работы аспиранта. Целью самостоятельной работы является успешное овладение материалом дисциплины, развитие самостоятельности, ответственности и организованности. При выполнении самостоятельной работы проявляется творческий подход к решению проблем и поставленных вопросов.

Самостоятельная работа включает в себя проработку теоретического материала, изучение рекомендуемой литературы, подготовку к занятиям семинарского типа. Также самостоятельная работа может заключаться в выполнении практико-ориентированных заданий (заполнение таблиц, проведение сравнительного анализа, составление схем и др.), решении практических задач, написании рефератов.

© ФГБОУ ВО «ЧелГУ»