

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФТФ, член корр.РАН, д.ф.м.н.

_____ А.К.Чернышев

«___» _____ 2022 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ:
СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>3.04.01 «Прикладные математика и физика»</u>
Наименование образовательной программы	<u>электрофизика</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры _____ Заведующий кафедрой «ЭФ»,
д.ф.м.н., доцент
протокол № 2 от 04.02.2022г. _____ Ю.Б. Кудасов
04.02.2022г. 2022г.

г. Саров, 2022г.

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Программа переутверждена на 202___/202___учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202___/202___ учебный год.
Заведующий кафедрой ЭФ, д.ф-м.н., доцент Ю.Б. Кудасов

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КР	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
1	48	4	144	32	16	-	60	0	Экзамен
ИТОГО	48	4	144	32	16	-	60	0	36

АННОТАЦИЯ

В курсе «Специальные главы физики твердого тела» даются основные представления о теории магнетизма, основы «первопринципных» и модельных методов расчета электронной структуры веществ, основные понятия теории фазовых переходов и критических явлений. Обсуждаются методы измерения магнитных характеристик вещества, особенности фазовых переходов в низкоразмерных системах, в частности, в наноструктурах. Обсуждается взаимосвязь магнетизма, электронного строения вещества и фазовых переходов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Для успешного освоения дисциплины «Специальные главы физики твердого тела» необходимы знания по курсам общей физики, университетскому курсу математики и курсу физики твердого тела в объеме двух семестров. Необходимо иметь начальные навыки обращения с чертежами и электронными схемами, обладать знаниями основ электроники и электротехники.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Современные проблемы естествознания и устойчивого развития: специальные главы физики твердого тела», входит в обязательную часть первого блока дисциплин учебного плана, по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» по программе «Электрофизика».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

**Обязательные профессиональные компетенции выпускников и
индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский			
планирование и проведение научных работ в соответствии с утвержденным направлением исследований в области электрофизики	мощные электрофизические установки: мощные источники электрических импульсов, крупномасштабные лабораторные электрофизические установки высоковольтные и сильноточные системы, ускорители заряженных частиц, мощные ВЧ- и СВЧ-генераторы, взрывомагнитные источники энергии, диагностические комплексы, и вспомогательное оборудование	ПК-1 Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств	З-ПК-1 Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. У-ПК-1 Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива В-ПК-1 Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств

			самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы
--	--	--	---

Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения

Код и наименование общепрофессиональной	Код и наименование общепрофессиональной
ОПК-1 Способен применять фундаментальные и прикладные знания в области физико-математических и (или) естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности	<p>З-ОПК-1 Знать фундаментальные и прикладные основы, полученные в области физико-математических и естественных наук, знать методы анализа информации для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности.</p> <p>У-ОПК-1 Уметь использовать на практике углубленные фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и естественных наук для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности.</p> <p>В-ОПК-1 Владеть навыками обобщения, синтеза и анализа фундаментальных знаний, для решения профессиональных задач, в том числе в сфере педагогической деятельности, владеть научным мировоззрением</p>
ОПК-2 Способен самостоятельно осваивать и применять современные математические методы исследования анализа и обработки данных, компьютерные программы, средства их разработки, научно-исследовательскую, измерительно-аналитическую и технологическую аппаратуру (в соответствии с избранным направлением прикладных математики и физики)	<p>З-ОПК-2 Знать современные теоретические, в том числе математические и экспериментальные методы исследований для решения профессиональных задач.</p> <p>У-ОПК-2 Уметь самостоятельно осваивать и применять современные математические методы исследования анализа и обработки данных, компьютерные программы, средства из разработки, научно-исследовательскую, измерительно-аналитическую и технологическую аппаратуру (в соответствии с избранным направлением прикладных математики и физики).</p> <p>В-ОПК-2 Владеть навыками проведения фундаментальных и прикладных исследований и разработок, работы на современной 10 экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре</p>

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС			

			16	32	-	60		
Семестр № 1								
1.	РАЗДЕЛ 1	1-8	8	16	-	30		
1.1.	Тема 1. Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы.	1	1	2	-	4	УО	3
1.2.	Тема 2 Основные понятия кристаллографии.	2	1	2	-	4	УО	3
1.3	Тема 3. Одночастичное описание состояния электронов металлах, полупроводниках и изоляторах.	3	1	2	-	4	ДЗ	3
1.4	Тема 4. Теории Томаса Ферми функционала плотности. Современные методы расчета электронной структуры кристаллических твердых тел.	4	1	2	-	4	УО	3
1.5	Тема 5 Многочастичное модельное описание электронной структуры.	5	1	2	-	4	УО	3
1.6	Тема 6. Магнитные свойства свободных атомов и ионов.	6	1	2	-	4	УО	3
1.7	Тема 7. Ион в твердом теле. Теория кристаллического поля. Основные понятия теории лигандов. Теорема Яна-Теллера	7	1	2	-	4	УО	3

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы						Максимальный балл (см. п. 6.3)
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*		
			16	32	-	60			
1.8	Тема 8. Макроскопические магнитные свойства вещества. Термодинамика магнетиков. Статистическое описание парамагнетика магнитном поле.	8	1	2	-	4	ДЗ	4	
Рубежный контроль		8	Тест					5	
2.	РАЗДЕЛ 2		8	16		30			
2.1	Тема 9. Магнитное упорядочение. Основные модели и типы магнитного порядка. Экспериментальные методы исследования магнитного порядка.	9	1	2	-	4	УО	3	
2.2	Тема 10. Высокочастотные явления магнетиках.	10	1	2	-	4	УО	3	
2.3	Тема 11. Магнитные домены. Типы доменных стенок. Движение доменов	11	1	2	-	3	УО	3	
2.4	Тема 12. Квантовые явления в магнитных полях осцилляции в металлах, низкоразмерные системы.	12	1	2	-	4	УО	3	
2.5	Тема 13. Магнитные фазовые переходы. Методы исследований в сильных импульсных магнитных полях.	13	1	2	-	4	УО	3	

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ недели	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Максимальный балл (см. п. 6.3)
			16	32	-	60		
2.6.	Тема 14. Общие понятия теории фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода.	14	1	2	-	3	УО	3
2.7.	Тема 15. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.	15	1	2	-	4	УО	3
2.8.	Тема 16. Критические явления и критические индексы. Фазовые переходы в низкоразмерных системах.	15	1	2	-	44	ДЗ	4
Рубежный контроль		15	Тест					5
Промежуточная аттестация		Экзамен					36	0-50
Посещаемость							5	
Итого:			16	32		60	36	100

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

Тест – тестирование (письменный опрос)

ДЗ – домашнее задание

Э– экзамен

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	РАЗДЕЛ 1	
1.1.	1 Тема. Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы.	Операторы и состояния системы. Уравнение Шредингера. Многочастичная волновая функция. Вторичное квантование
1.2.	2 Тема. Основные понятия кристаллографии.	Трансляционная симметрия. Решетки Браве. Ячейка Вигнера-Зейца. Элементы симметрии кристалла. Дифракция рентгеновского излучения, электронов и нейтронов на кристаллах. Формула Брэгга-Вульфа.
1.3	3 Тема. Одночастичное описание состояния электронов	Теории Хартри и Хартри-Фока. Эффективное поле. Электроны в кристалле: теорема Блоха. Зонная теория: металлы, полупроводники

	металлах, полупроводниках и изоляторах.	диэлектрики. Недостатки зонной теории теории.
1.4	4 Тема. Теории Томаса-Ферми функционала плотности. Современные методы расчета электронной структуры кристаллических твердых тел.	Многочастичная плотность. Теория Томаса-Ферми и ее приложения. Теория функционала плотности: теоремы Хохенберга-Кона-Шэма и их приложения. Реализация самосогласованных расчетов. Выбор базиса: МТО, APW и локализованные методы.
1.5	5 Тема. Многочастичное модельное описание электронной структуры.	Модели Хаббарда и Андерсона. Примеры веществ. Приближение среднего поля: появление магнитного упорядочения в моделях Хаббарда и Андерсона.
1.6	6 Тема. Магнитные свойства свободных атомов и ионов.	Векторная модель атома. Спиновый и орбитальный магнитный момент. Правила Хунда. Электронная структура свободного атома (иона).
1.7	7 Тема. Ион в твердом теле. Теория кристаллического поля. Основные понятия теории лигандов. Теорема Яна-Теллера	Электрическое поле лигандов как источник кристаллического поля. Расщепление уровней свободного иона в кристаллическом поле. Сильное и слабое кристаллическое поле. Причины возникновения Ян-теллеровских искажений.
1.8	8 Тема. Макроскопические магнитные свойства вещества. Термодинамика магнетиков. Статистическое описание парамагнетика в магнитном поле.	Намагниченность. Основные термодинамические соотношения. Статистическая физика парамагнетика.
2.	РАЗДЕЛ 2	
2.1.	9 Тема. Магнитное упорядочение. Основные модели и типы магнитного порядка. Экспериментальные методы исследования магнитного порядка.	Основные модели магнитного упорядочения: модели Изинга и Гейзенберга. Теория среднего поля для модели Гейзенберга. Возникновение магнитного порядка. Типы магнитного упорядочения. Примеры магнитоупорядоченных веществ.
2.2.	10 Тема. Высокочастотные явления в магнетиках.	Уравнение Ландау-Лифшица. Ферромагнитный резонанс и его применение. Парамагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс, их применение.
2.3	11 Тема. Магнитные домены. Типы доменных стенок. Движение доменов.	Типы доменных стенок. Движение доменных стенок и их влияние на магнитные характеристики вещества.
2.4	12 Тема. Квантовые явления магнитных полей. Осцилляции в металлах. Низкоразмерные системы.	Природа квантовых осцилляций в металлах (эффекты де Газа – Ван-Альфена и Шубникова – де Гааза) и техника их исследований. Низкоразмерные магнитные системы: одномерная и двумерная модель Изинга, теорема Мермина-Вагнера, x-y системы.
2.5	13 Тема. Магнитные фазовые переходы. Методы исследований в сильных импульсных магнитных полях.	Гочка Кюри, разрушение ферромагнетизма при высоких температурах как фазовый переход второго рода. Антиферромагнетизм в сильном магнитном поле: спин-флип и спин-флоп переходы. Метамагнитные переходы. Методы исследования магнитных фазовых переходов.

2.6	14 Тема. Общие понятия теории фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода.	Фазовые переходы первого и второго рода. Термодинамика фазового перехода первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
2.7	15 Тема. Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.	Термодинамика фазового перехода. Общие особенности фазового перехода 2-ого рода, изменение симметрии. Теория Ландау фазового перехода 2-ого рода. Вычисление термодинамических величин.
2.8	16 Тема. Критические явления критические индексы Фазовые переходы низкоразмерных системах.	Флуктуационная область для фазового перехода 2-ого рода Недостатки теории Ландау. Гипотеза подобия. Критические явления Критические индексы и основные соотношения между ними Использование флуктуационной теории. Невозможность дальнего порядка в 1D модели Изинга при ненулевых температурах Низкоразмерные системы с непрерывной симметрией, теорема Мермина-Вагнера. X-Y магнитные системы. Переход Березинского Костерлица-Таулеса

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	РАЗДЕЛ 1	
1.1.	1 Тема. Простые модели квантовых систем.	Плоскополяризованная электромагнитная волна как пример двумерного пространства состояний, вывод закона Малюса. Простые задачи на матричное представление стационарного уравнения Шредингера и молекулярные орбитали. Квантовые 1D, 2D и 3D ямы с бесконечными стенками, энергия состояний и волновые функции Тонкая пленка, условия появления двумерного электронного газа.
1.2.	2 Тема. Основные понятия кристаллографии.	Элементы симметрии. Принцип Кюри. Основные кристаллографические структуры (простая кубическая, ГЦК, ОЦК, ГПУ, перовскиты). Вывод формулы Брэгга-Вульфа. Оценка шероховатости сверхрешетки по количеству пиков в рентгеновской дифракции .
1.3	3 Тема. Многочастичные системы.	Ферми- и бозе-системы. Простые примеры многочастичных волновых функций. Детерминант Слэтера. Связь координатной и спиновой частей. Четность. Схема Юнга, простые задачи.
1.4	4 Тема. Программа LMTAR и система MindLab.	Принципы работы, интерфейс программы, примеры расчета электронной структуры веществ, использование встроенной базы данных.
1.5	5 Тема. Многочастичные системы.	Изменение кинетической и потенциальной (кулоновской и обменной) энергий с изменением плотности. Предел высоких плотностей вещества. Простые решения в теории Томаса-Ферми Теоремы вириала и Гелмана-Фейнмана.
1.6	5 Тема. Модель Хаббарда.	Двухатомная двухэлектронная молекула с хаббардовским взаимодействием U , предел большого U . Вывод t - J модели Трехатомная двухэлектронная молекула: применение метода Гуцвиллера.
2.	РАЗДЕЛ 2	
2.1.	7 Тема. Магнитные свойства свободных атомов и ионов.	Векторная модель атома. Правила Хунда. Заполнение оболочек Спиновый и орбитальный магнитный момент. Задачи на структуру d и f-атомов и ионов.

2.2.	8 Тема. Кристаллическое поле.	Заполнение d-оболочек под действием сильного и слабого кристаллического поля. Расчет эффективных магнитных моментов ионов в кристаллическом поле. Задачи на условия возникновения эффекта Яна-Теллера.
2.3	9 Тема. Модели магнетизма.	Вычисление температуры Кюри в (классической) модели Гейзенберга в приближении среднего поля. Закон Кюри-Вейса. Вывод зависимости намагниченности ферромагнетика от температуры (теория среднего поля) вблизи критической температуры.
2.4	10 Тема. Фазовые переходы 1-ого рода	Расчет линии фазового перехода в различных термодинамических координатах (в том числе и для магнитных веществ).
2.5	11 Тема. Фазовые переходы 2-ого рода	Определение термодинамических характеристик вещества по термодинамическому потенциалу в рамках теории Ландау.
2.6	12 Тема. Флуктуационная теория фазовых переходов.	Связь критических индексов. Определение индексов по экспериментальным данным.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 7				
Раздел 1	Тема 1. Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы.	ОПК-1 ОПК-2 ПК-1	3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-1
	Тема 2. Основные понятия кристаллографии.		3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-2
	Тема 3. Одночастичное описание состояния электронов в металлах, полупроводниках и изоляторах.		3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-3
	Тема 4. Теории Томаса-Ферми и функционала плотности. Современные методы расчета электронной структуры кристаллических твердых тел.		3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-4
	Тема 5. Многочастичное модельное описание электронной структуры.		3-ОПК-1; У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2; У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-5

	Тема 6.Магнитные свойства свободных атомов и ионов.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-6
	Тема 7.Ион в твердом теле. Теория кристаллического поля. Основные понятия теории лигандов. Теорема Яна-Теллера		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-7
	8 Тема. Макроскопические магнитные свойства вещества. Термодинамика магнетиков. Статистическое описание парамагнетика в магнитном поле.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	ДЗ-8
Рубежный контроль		ОПК-1	3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1	Тест-8
		ОПК-2	3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2	
		ПК-1	3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	
Раздел 2	Тема 9. Магнитное упорядочение. Основные модели и типы магнитного порядка. Экспериментальные методы исследования магнитного порядка.	ОПК-1 ОПК-2 ПК-1	3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-9
	Тема 10. Высокочастотные явления в магнетиках.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-10
	Тема 11. Магнитные домены. Типы доменных стенок. Движение доменов.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-11
	Тема 12. Квантовые явления в магнитных полях: осцилляции в металлах, низкоразмерные системы.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-12
	Тема 13.Магнитные фазовые переходы. Методы исследований в сильных импульсных магнитных полях.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-13
	Тема 14.Общие понятия теории фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-13
	Тема 15.Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	УО-14
	Тема 16.Критические явления и критические индексы. Фазовые переходы в низкоразмерных системах.		3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1 3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2 3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	ДЗ-15
Рубежный контроль		ОПК-1	3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1	Тест-15
		ОПК-2	3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2	
		ПК-1	3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	
Промежуточная аттестация		ОПК-1	3-ОПК-1;У-ОПК-1; В-ОПК-1	Экзамен -16
		ОПК-2	3-ОПК-2;У-ОПК-2; В-ОПК-2	
		ПК-1	3-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.2.1 Примерные темы домашнего задания (семестровое в среде MindLab)

1. Ознакомиться с программой LMTAR в оболочке MindLab. Подготовить и провести расчет полной энергии кристалла (простой металл, допускается использование встроенной базы данных по материалам) для различных объемов (задается преподавателем). Режим расчета (спин-поляризованный, немагнитный и т.д.) и кристаллическая решетка задаются преподавателем.

2. Рассчитать равновесный объем и изотропный модуль упругости при нулевом давлении (использовать метод наименьших квадратов).

3. Провести сравнение теоретических значений равновесного объема и изотропного модуля упругости при нулевом давлении и экспериментальных справочных данных (при нулевой температуре).

4. При наличии значительных расхождений между теоретическими и экспериментальными данными, объяснить их происхождение.

5.2.2. Примерные задания к устному опросу (УО)

№	Раздел 1 и 2	Вопросы	Макс. балл
1	Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы. Основные понятия кристаллографии. Трансляционная симметрия. Решетки Браве. Ячейка Вигнера-Зейца. Элементы симметрии кристалла. Дифракция рентгеновского излучения, электронов и нейтронов на кристаллах;	Что описывает уравнение Шредингера?	3
		Чем отличаются коммутационные соотношения для ферми- и бозе-частиц	3
		Принцип запрета Паули	3
		Что такое решетка с базисом?	3
		Трансляционная симметрия кристалла	4
		Что такое решетки Браве? Что такое сингония?	4
		Как строится ячейка Вигнера-Зейца	3
		Теорема Кюри для допустимых осей C_n в кристалле	4
		Как влияет «шероховатость» слоистой структуры на дифракционные спектры?	4
2	Теории Хартри и Хартри-Фока. Эффективное поле. Электроны в кристалле: теорема Блоха. Зонная теория: металлы, полупроводники, диэлектрики. Недостатки зонной теории;	Чем отличаются теории Хартри и Хартри-Фока?	3
		Почему возникает обменное взаимодействие в теории Хартри-Фока	4
		Основные положения теории почти свободных электронов?	4
		Основные положения теории сильной связи	3
		Теорема Блоха	3
		Как определяются металлы, изоляторы и полупроводники в рамках зонной теории?	3
		Что такое периодические граничные условия?	4
		Являются ли периодические граничные условия точными?	3
		Когда положения зонной теории могут быть нарушены?	3
		Привести примеры веществ нарушающие рамки зонной теории	3
3	Магнитные свойства	Основные положения векторной модели атома (иона)	4

	свободных атомов и ионов. Векторная модель атома. Ион в твердом теле. Теория кристаллического поля.	Правила Хунда	3
		Почему магнитный момент 3d ионов (атомов) второй половины периода больше, чем первой?	3
		Как атомный уровень расщепляется в магнитном поле?	3
		Чем определяется кристаллическое поле?	4
		На какие группы орбиталей расщепляется уровень 3d иона в октаэдрическом поле лигандов? Каково их относительное положение (по энергии)?	4
		Что такое эффект Яна-Теллера?	3
		В каких случаях возникает эффект Яна-Теллера?	3
		Назовите примеры ян-теллеровских ионов	3
		Что такое коллективный эффект Яна-Теллера?	4
4	Магнитные домены. Квантовые явления в магнитных полях: осцилляции в металлах	Что такое магнитный домен?	3
		Виды доменных стенок (основные)	3
		Чем определяется динамика движения доменов	3
		Где применяются магнитные домены?	3
		Какие квантовые осцилляционные эффекты в металлах Вы знаете?	4
		Связаны ли между собой осцилляции проводимости (Шубникова - де Гааза) и восприимчивости (де Газа – ванн Альфена)	3
		Какие требования налагаются на магнитную систему для наблюдения осцилляционных эффектов?	4
		Как выполняются измерения в импульсных магнитных полях?	3
5	Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические явления и критические индексы.	Определение фазового перехода 2-ого рода	3
		Что такое параметр порядка?	3
		Какая из фаз (низко или высоко симметричная) наблюдается при высоких температурах? Почему?	3
		Почему теория Ландау не описывает явления в узкой области вблизи фазового перехода?	3
		Что такое критическое поведение?	3
		Что такое критический индекс?	3
		Зависят ли критические индексы от эффективной размерности?	4
		Связь между критическими индексами?	4
		Что такое гипотеза подобия?	4
		Применима ли теория Ландау к фазовым переходам 1-ого рода? Почему?	4
6	Уравнение Ландау-Лифшица. Ферромагнитный резонанс и его применение. Парамагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс, их применение.	При движении магнитного момента в уравнении Ландау-Лифшица изменяется: (а) только направление вектора намагниченности, (б) только модуль вектора намагниченности (в) направление и модуль вектора намагниченности.	3
		Вывести уравнение малых колебаний магнитного момента из уравнения Ландау Лифшица.	5

		Как вводится затухание в уравнения движения магнитного момента.	3
		Что лежит в основе парамагнитного резонанса?	3
		Что лежит в основе ядерного магнитного резонанса?	4
		Почему для наблюдения ЯМР требуются значительно большие магнитные поля, чем в случае ЭПР?	4
		Почему частота ЯМР значительно ниже, чем в случае ЭПР при одном и том же внешнем магнитном поле?	3
8	Фазовые переходы в низкоразмерных системах.	Чем определяется эффективная размерность?	3
		Какие примеры низкоразмерных систем Вы знаете?	3
		Что описывает XY-модель?	3
		В чем природа перехода Березинского-Костерлица-Таулеса?	4
		Теорема Мермина - Вагнера	4
		В XY-модели магнетизма вектор магнитного момента атома: (а) свободно вращается в плоскости, (б) зафиксирован вдоль определенного направления в плоскости (в) свободно вращается в пространстве, (г) зафиксирован вдоль определенного направления в пространстве	3
		Зависят ли критические индексы от эффективной размерности?	4
		Существует ли зависимость между различными критическими индексами.	3
		Можно ли использовать понятие критического индекса вдали от фазового перехода?	3
		Необходимые условия для наблюдения критических индексов в эксперименте.	3

5.2.3. Примерные задачи к тестам.

Задача 1. Найти разность энергий 1-ого и 3-его уровней электрона в прямоугольной одномерной квантовой яме бесконечной глубины.

Задача 2. Найти разность энергий 1 и 3-его уровней электрона в двумерной квантовой яме прямоугольной формы и бесконечной глубины размерами $a \times 2a$ (стороны прямоугольника отличаются в 2 раза).

Задача 3. Найти разность энергий 1 и 3-ого уровней электрона в трехмерной квантовой яме в форме прямоугольного параллелепипеда и бесконечной глубины размерами $a \times a \times 3a$.

Задача 4. Оценить энергию кулоновского взаимодействия в атоме водорода.

Указание: предположить, что электронная плотность равномерно распределена в сфере радиусом равным $0,53 \text{ \AA}$, т.е. радиусу Бора.

Задача 5. Энергия связи в атоме водорода составляет $13,6 \text{ эВ}$. Чему равна кинетическая энергия электрона и энергия потенциального взаимодействия электрон-ядро?

Задача 6. Алюминий имеет ГЦК структуру, его плотность $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³, а атомная масса 27. Найти размеры элементарной ячейки.

Примечание: могут быть использованы задачи для других элементов и других типов решетки (ГЦК, ОЦК и ГПУ).

Задача 7. CsI имеет структуру типа NaCl, его плотность $4,51 \cdot 10^3$ кг/м³, атомная масса цезия – 133 и йода – 127. Найти размеры элементарной ячейки.

Задача 8*. В металлической сверхрешетке с периодом 30 \AA наблюдаются 5 первых пиков на графике интенсивности рентгеновской дифракции от энергии фотона при постоянном угле падения. Приблизительно оценить величину шероховатости (неоднородность толщины слоев) сверхрешетки.

Задача 9. Ион $\text{Fe}^{2+}(3d^6)$ находится в поле 4-ех лигандов в виде плоского квадрата. Как расщепится 3d уровень (схема), заполнить получившиеся состояния в случае сильного кристаллического поля.

Задача 10. Для иона $\text{Co}^{2+}(3d^7)$ найти спиновый, орбитальный и полный момент (S,L,J), а также эффективный полный момент (p).

Примечание: могут быть использованы задачи с другими ионами 3d-элементов.

Задача 11. Ион $\text{Fe}^{2+}(3d^6)$ находится в поле 6-ти лигандов в виде октаэдра. Как расщепится 3d уровень, заполнить получившиеся состояния в случае сильного кристаллического поля. Возможен ли эффект Яна-Теллера?

Примечание: могут быть использованы задачи (а) с другими ионами 3d-элементов, (б) для лигандов в виде куба, (в) слабого кристаллического поля.

Задача 12. Вывести формулу Клапейрона – Клаузиуса: как смещается температура плавления при малых изменениях давления.

Задача 13. Как сместится температура плавления льда при увеличении давления от нормального до 100 бар. (Плотность льда $0,917$ г/см³, воды - 1 г/см³, теплота плавления льда 6 кДж/моль).

Задача 14. Почему температура плавления льда понижается при повышении давления, а температура кипения воды - повышается.

Задача 15. Вывести аналог формулы Клапейрона – Клаузиуса для смещения температуры Кюри ферромагнетика под действием давления.

Задача 16*. Найти отношение намагниченностей ферромагнетика при $T=0$ К и $T=T_C/2$: $m(0)/m(T_C/2)$.

Указание: Построить зависимость $m(T)$ из теории Ландау фазовых переходов 2-ого рода. Считать намагниченность параметром порядка.

Задача 17*. Имеется вещество, содержащее соль урана с неизвестной валентностью (U^{3+} или U^{4+}) и прибор, измеряющий эффективный магнитный момент иона урана с точностью 1 %. Возможно ли определение валентности урана по магнитным измерениям?

* - задачи повышенной сложности.

Уровень сложности теоретических и практических заданий полностью соответствует требованиям государственного образовательного стандарта по курсам «Общая электротехника

и электроника», «Физика твердого тела», «Физика конденсированного состояния вещества» для специальности 03.04.01 «Прикладная математика и физика».

Содержание тестовых материалов для данного курса включает в себя задания по следующим разделам: простые задачи на матричное представление стационарного уравнения Шредингера и молекулярные орбитали, квантовые 1D, 2D и 3D ямы с бесконечными стенками, энергия состояний и волновые функции. Тонкая пленка, условия появления двумерного электронного газа, основные кристаллографические структуры (простая кубическая, ГЦК, ОЦК, ГПУ, перовскиты). Вывод формулы Брэгга-Вульфа. Оценка шероховатости сверхрешетки по количеству пиков в рентгеновской дифракции. Простые примеры многочастичных волновых функций. Детерминант Слэтера. Связь координатной и спиновой частей. Трехатомная двухэлектронная молекула: применение метода Гудвиллера. Спиновый и орбитальный магнитный момент. Задачи на структуру d- и f-атомов и ионов. Кристаллическое поле. Заполнение d-оболочек под действием сильного и слабого кристаллического поля. Расчет эффективных магнитных моментов ионов в кристаллическом поле. Задачи на условия возникновения эффекта Яна-Теллера. Расчет линии фазового перехода 1-ого рода в различных термодинамических координатах (в том числе и для магнитных веществ). Определение термодинамических характеристик вещества по термодинамическому потенциалу в рамках теории Ландау. Связь критических индексов.

Тесты составляются из 2-5 задач различной сложности из пройденных ранее тем, время проведения теста – 20 - 40 минут.

При использовании данных тестовых заданий для оценки уровня остаточных знаний студентов, обучающихся по другим физическим специальностям, следует учитывать особенности соответствующих программ.

5.2.4 Примерные вопросы к экзамену

1. Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы.
2. Найти разность энергий 2 и 3-его уровней электрона в прямоугольной одномерной квантовой яме бесконечной глубины.
3. Кристалл. Ячейка Вигнера-Зейца, симметрия кристалла, обратная решетка
4. Найти разность энергий 2 и 3-его уровней электрона в двумерной квантовой яме прямоугольной формы и бесконечной глубины размерами $a \times 3a$ (стороны прямоугольника отличаются в 3 раза).
5. Одночастичное описание состояния электронов в металлах, полупроводниках и изоляторах.
6. Найти разность энергий 1 и 2-ого уровней электрона в трехмерной квантовой яме в форме прямоугольного параллелепипеда и бесконечной глубины размерами $a \times a \times 3a$.
7. Сильно коррелированные системы. Модель Хаббарда. Модель Андерсона.
8. Оценить энергию кулоновского взаимодействия в атоме водорода.
9. *Указание:* предположить, что электронная плотность равномерно распределена в сфере радиусом равным $0,53 \text{ \AA}$, т.е. радиусу Бора.
10. Теория Томаса-Ферми: исходные предположения и формула расчета электронной плотности.
11. Энергия связи в атоме водорода составляет 13,6 эВ. Чему равна кинетическая энергия электрона и энергия потенциального взаимодействия электрон-ядро.
12. Теория Функционала плотности: основные теоремы, функционал плотности, уравнения Кона-Шэма.

13. Алюминий имеет ГЦК структуру, его плотность $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, а атомная масса 27. Найти размеры элементарной ячейки.
14. Векторная модель атома и иона. Орбитальный, спиновый момент. Правила Хунда.
15. CsI имеет структуру типа NaCl, его плотность $4,51 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, атомная масса цезия – 133 и йода – 127. Найти размеры элементарной ячейки.
16. Термодинамика парамагнетика. Вычисление намагниченности парамагнетика.
17. Функция Бриллюэна.
18. Ион $\text{Co}^{3+} (3d^4)$ находится в поле 4-ех лигандов в виде плоского квадрата. Как расщепится 3d уровень (схема), заполнить получившиеся состояния в случае сильного кристаллического поля.
19. Магнитный порядок. Типы и модели магнитного порядка. Теория среднего поля.
20. Для иона $\text{Ni}^{3+} (3d^8)$ найти спиновый, орбитальный и полный момент (S,L,J), а также эффективный полный момент (p).
21. Квантовомеханическое описание систем многих частиц. Многоэлектронные системы.
22. Ион $\text{Co}^{2+} (3d^7)$ находится в поле 6-ти лигандов в виде октаэдра. Как расщепится 3d уровень, заполнить получившиеся состояния в случае сильного кристаллического поля. Возможен ли эффект Яна-Теллера?
23. Модель Гейзенберга. Приближение среднего поля для ферромагнетика.
24. Как сместится температура плавления льда при увеличении давления от нормального до 100 бар. (Плотность льда $0,917 \text{ г/см}^3$, воды – 1 г/см^3 , теплота плавления льда 6 кДж/моль).
25. Расщепление атомных (ионных) уровней в кристаллическом поле (в веществе). Октаэдрическое поле: *eg* и *t_{2g}* орбитали. Сильное и слабое кристаллическое поле.
26. Вывести формулу Клапейрона – Клаузиуса: как смещается температура плавления при малых изменениях давления.
27. Ориентационные фазовые переходы в сильном магнитном поле.
28. Вывести аналог формулы Клапейрона – Клаузиуса для смещения температуры Кюри ферромагнетика под действием давления.
29. Теория Ландау фазовых переходов 2-ого рода.
30. Найти отношение намагниченностей ферромагнетика при $T=0 \text{ К}$ и $T=T_C/2$: $m(0)/m(T_C/2)$ в рамках теории Ландау.
31. Критические явления в области фазового перехода и критические индексы
32. Оценить энергию кулоновского взаимодействия в атоме водорода.
33. *Указание:* предположить, что электронная плотность равномерно распределена в сфере радиусом равным $0,53 \text{ \AA}$, т.е. радиусу Бора.

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-

балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. А. М. Сатанин, Введение в теорию функционала плотности, Учебно-методическое пособие, ННГУ, Нижний Новгород. 2009 (http://www.unn.ru/books/met_files/Intro_DFT.pdf).
2. В.А.Боков, Физика магнетиков. СПб.: Невский диалект. 2002
3. С.В.Иванов, П.С.Мартышко, Избранные главы физики: Магнетизм, Магнитный резонанс, Фазовые переходы. М.: Изд. ЛКИ. 2008
4. Г.С.Кринчик. Физика магнитных явлений. М.: Изд. МГУ. 1976
5. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. М.: Физматлит. 2005
6. Паташинский А.З., Покровский. В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука. 1982

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Теория неоднородного электронного газа, п.ред. С.Лундквиста, Н.Марча. М.: Мир. 1982

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.9. Статистическая физика Ч.2. М. Наука. 1978
3. Д.Шенберг, Магнитные осцилляции в металлах. М.: Мир. 1986.
4. Г.Стэнли, Фазовые переходы и критические явления. М.: Мир. 1973
5. Kudasov Yu.B. Megagauss magnetization measurements. Physica B. 2001. V.294–295. p.684
6. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос. 2000
7. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., 1976.
8. В.Л.Березинский, Низкотемпературные свойства двумерных систем, М.: Физматлит, 2007
9. Кудасов Ю.Б. Электрофизические измерения. М. Физматлит. 2010
10. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1988
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика Ч.1. М. Наука. 1976

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Федеральный портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>)
2. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>)
3. Сайт СарФТИ НИЯУ МИФИ (<http://sarfti.ru>), раздел «Учебно-методические пособия»
4. программное обеспечение (среда для LMTO расчетов MindLab 5.0, LMTART), интернет-ресурсы среда Maple, MatLab, базы данных aps.org, Elseiver.

6 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины производится на базе учебной лаборатории кафедры в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса. Лаборатория оснащена современным оборудованием, позволяющим проводить практические занятия. Выполнение самостоятельной работы студентов осуществляется на рабочих местах, оснащенных комплектом средств измерений и объектами исследований. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам и квалификационным проектам.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При чтении лекционного материала используется электронное сопровождение курса: справочно-иллюстративный материал воспроизводится и озвучивается в аудитории с использованием проектора и переносного компьютера в реальном времени. Электронный материал доступен студентам для использования и самостоятельного изучения на сайте института по адресу [http:// mephi.ru](http://mephi.ru).

В рабочем учебном плане предусмотрены интерактивные часы для проведения практических занятий.

Интерактивные формы, используемые в реализации дисциплины (УО)

- Мозговой штурм;
- Case-study (анализ конкретных задач или ситуаций).

Проблемы для интерактивных занятий	Условия	Интерактивная форма	Количество часов	Методы и средства контроля
Проблема расчета	Сравнение	Мозговой штурм,	2	Оценка

электронной структуры сильно коррелированных систем	результатов расчета методами Хартри-Фока, Томаса-Ферми, функционала плотности и модельных гамильтонианов	круглый стол, дискуссия		активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Роль спин-орбитального взаимодействия в магнетизме	Сравнение электронной структуры 3d и редкоземельных атомов (ионов)	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Особенности измерений намагниченности в импульсном магнитном поле	Обсудить и сравнить результаты измерения и во взрывомагнитном генераторе (РосАтом) или в неразрушаемом магните	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Зависимости намагниченности ферромагнетика температуры от	Сравнить результаты теории среднего поля вблизи критической температуры и экспериментальные зависимости по железу и соединениям 3d металлов	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Роль критических индексов для экспериментальной обработки результатов вблизи критической температуры	Заданы экспериментальные данные, определить наличие критического поведения, найти эффективную размерность	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов
Особенности фазовых переходов в низкоразмерных системах	Фазовые переходы в XY-модели, природа перехода БКТ, примеры XY-систем (наноструктуры)	Мозговой штурм, круглый стол, дискуссия	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности и студентов

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Практические работы являются частью занятия и выполняются под контролем наставника с использованием результатов практических занятий, в том числе – и в качестве практических занятий.

В качестве материально-технического обеспечения используются также ресурсы и программно-аппаратное обеспечение компьютерного класса.

При выполнении практических, научно-исследовательских, опытно-конструкторских, хозяйственных и госбюджетных работ используются современные средства измерения и контроля разных фирм и др. На кафедре имеются и используются оснащенные компьютерными системами управления исследовательские стенды и технологические комплексы.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении дисциплины применяются активная и интерактивная формы обучения в сочетании с самостоятельной работой. На аудиторных занятиях происходит изложение нового теоретического материала в виде лекций, разбираются решения типичных задач на применение полученных сведений для более глубокого понимания, проводится контроль выполнения домашних работ. Во время лекционных и практических занятий используются презентации и обсуждаются новые эксперименты и научно-исследовательские исследования, которые появились в научной литературе.

Организация занятий обязательно включает диалог со студентами по вопросам решения задач. Во время контроля выполнения заданий, предложенных для внеаудиторной самостоятельной работы, производится выступление студентов с вариантами решений.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов состоит из двух взаимосвязанных частей. Первая представляет собой освоение теоретического материала, вторая – приобретение практических навыков решения задач. Освоение теоретического материала производится по лекциям и указанной основной и дополнительной литературе. Решение задач, предложенных в качестве домашнего задания, позволяет студентам научиться решать типичные задачи, возникающие при изучении дисциплины.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки: 03.04.01 «Прикладная математика и физика», профиль подготовки: «Электрофизика»

Автор: профессор кафедры ЭФ, д.ф.м.н. Кудасов Юрий Бориславович

Рецензент: доцент кафедры ЭФ к.ф.м.н. Платонов Вадим Васильевич