

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт естественных наук и математики



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Программа аспирантуры</b> Теоретическая физика	<b>Код ПА</b> 1.3.3.
<b>Группа специальностей</b> Физические науки	<b>Код</b> 1.3.
<b>Федеральные государственные требования (ФГТ)</b>	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 г. № 951
<b>Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)</b>	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» от 31.03.2022 №315/03

Екатеринбург  
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение
1	Бабушкин Алексей Николаевич	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем Института естественных наук и математики
2	Москвин Александр Сергеевич	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Кафедра теоретической и математической физики Института естественных наук и математики

**Рекомендовано:**

**Учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета ИЕИМ  
Протокол № 5 от 17.05.2022 г.

Е.С. Буянова

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

Е.А. Бутрина

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

## 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Теоретическая физика» относится к базовой части программы аспирантуры по программе 1.3.3. Теоретическая физика.

Целью изучения дисциплины «Теоретическая физика» является приобретение основных профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения современных методов теоретической физики, модельных теорий различных физических свойств, прежде всего, конденсированных и сильно коррелированных сред.

## 1.2. Языки реализации дисциплины – русский.

## 1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Дисциплина «Теоретическая физика» относится к базовой части программы аспирантуры, направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

### **Знать:**

- современный уровень и тенденции развития теоретической физики, как науки, направления в науке и образовании;
- систему научного знания в сфере физических наук, междисциплинарную интеграцию комплекса физических наук.

### **Уметь:**

- давать рекомендации на основании проведенных исследований;
- выбирать и анализировать научную литературу для избранного направления исследований, формулировать задачи работы на основе анализа литературы;
- использовать специализированное программное обеспечение и современные информационные технологии;
- систематизировать полученные теоретические и опытные данные, обобщать полученные знания и представлять полученные результаты в форме научных публикаций;

### **Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):**

- навыками моделирования основных процессов исследования;
- навыками работы с научной литературой и базами данных с целью определения направления исследования и решения специализированных задач;
- навыками научной коммуникации;
- навыками выбора методов исследования, в том числе исследования электротранспортных свойств веществ в кристаллическом состоянии;

#### 1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия	0	0	0
4.	<b>Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>104</b>		<b>104</b>
5.	<b>Промежуточная аттестация</b>	Экзамен	<b>1</b>	Экзамен, 18
6.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	<b>108</b>	<b>5</b>	<b>108</b>
7.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	<b>3</b>		<b>3</b>

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины	Содержание
P1	<b>Введение.</b> <i>Лекции 2 часа, самостоятельная работа аспиранта, 4 часа.</i>	История и актуальные проблемы теоретической физики. Теория конденсированного состояния. Сильнокоррелированные системы.
P2	<b>Теоретико-групповые методы.</b> <i>Самостоятельная работа аспиранта, 6 часов.</i>	Симметрия и законы сохранения. Группы симметрии. Теорема Вигнера. Метод неприводимых тензорных операторов группы вращения. Теорема Вигнера-Эккарта. Основы графической техники Юциса-Левинсона. Точечные группы. Метод неприводимых тензорных операторов группы куба. Пространственные группы кристаллов. Неприводимые представления. Группы магнитной симметрии.
P3	<b>Теория фазовых переходов и критических явлений.</b> <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i>	Элементы термодинамического описания конденсированных сред. Обобщенные восприимчивости. Спонтанное нарушение симметрии, квазисредние и аномальные функции Грина. Теория Ландау фазовых переходов второго рода, параметры порядка, флуктуации, функциональное интегрирование. Критические индексы и скейлинг. Ренормализационная группа Вильсона. Эпсилон- и $1/n$ -разложение для критических индексов. Симметрия кристаллов и фазовые переходы. Критерии Лифшица. Ориентационные фазовые переходы. Особенности поведения восприимчивостей при фазовых переходах.

P4	<p><b>Элементы квантовой статистической механики.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Статистический оператор и термодинамические функции. Статистические операторы комплексов частиц. Теорема Вика-Блоха-де Доминисиса. Вырождение состояний и квазисредние. Методы квантовой теории поля при <math>T=0</math>. Функции Грина, физический смысл, аналитические свойства. Основные принципы диаграммной техники, правила построения диаграмм для различных видов взаимодействий. Уравнение Дайсона, вершинная часть, многочастичные функции Грина, энергия основного состояния. Диаграммная техника при конечных температурах. Температурные (маубаровские) функции Грина, связь с временными функциями Грина. Диаграммная техника для различных видов взаимодействия. Термодинамический потенциал. Основы техники Келдыша. Двухвременные функции Грина. Запаздывающие, опережающие и причинные функции Грина. Спектральные представления и правила сумм. Цепочки уравнений движения и методы расцепления. Реакция системы на внешнее воздействие, формулы Кубо.</p>
P5	<p><b>Многоэлектронные атомы в кристаллах.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Классификация состояний свободного атома. Электростатические взаимодействия. Спин-орбитальное взаимодействие. Теория кристаллического поля (КП). Многоэлектронные конфигурации в схеме сильного кубического КП. Высоко- и низкоспиновые состояния ионов с незаполненной 3d-оболочкой. Схема среднего КП. Кристаллические <math>2S+1\Gamma</math> термы. Схема слабого КП. Метод эквивалентных операторов Стивенса. Теория одноионной магнитной анизотропии редкоземельных ионов и ионов группы железа. Сверхтонкие взаимодействия. Взаимодействие атомов в кристаллах. Обменные и обменно-релятивистские взаимодействия. Спиновые модели Гейзенберга, Изинга, Дзялошинского-Мория. Негейзенберговские спин-гамильтонианы.</p>
P6	<p><b>Электронная теория металлов.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Основы теории ферми-жидкости. Феноменологическая формулировка Ландау. Доказательство основных соотношений теории ферми-жидкости методом функций Грина. Кулоновские системы и экранировка, приближения малой и большой плотности. Кинетическое уравнение Больцмана для электронов в металле. Электропроводность металлов. Рассеяние электронов в металлах примесями, фононами, электронами. Температурные зависимости электропроводности и электронной теплопроводности. Правило Матиссена. Эффект Кондо. Влияние топологии поверхности Ферми на электропроводность металла. Формула Лифшица. Электронные свойства металлов в магнитном поле. Уровни Ландау. Осцилляция магнитной восприимчивости. Эффекты Эйнштейна – де Гааза и Шубникова. Циклотронный резонанс. Продольное магнетосопротивление. Сильные и слабые магнитные поля. Влияние топологии поверхности Ферми на электропроводность металлов в магнитном поле. Гальваномагнитные эффекты. Поперечное магнетосопротивление. Магнитоосцилляционные эффекты. Классический и квантовый эффекты Холла.</p>

P7	<p><b>Методы зонной теории кристаллов.</b>  <i>Лекции 2 часа, самостоятельная работа аспиранта, 6 часов</i></p>	<p>Гамильтониан системы электронов и ионов. Приближения модели. Адиабатическое приближение. Метод Хартри-Фока. Приближение сильной и слабой связи. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Методы расчета зонной структуры, метод присоединенных плоских волн. Псевдопотенциалы. Поверхности Ферми d и f металлов. Теория функционала электронной плотности (DFT). Приближения LDA, LSDA, LDA+U. Теория динамического сред-него поля.</p>
P8	<p><b>Колебания решеток, фононы.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Симметрия кристаллов и классификация фононных мод. Акустические и оптические фононы. Закон дисперсии фононов. Элементы кинетики и термодинамики газа фононов при низких температурах. Кинетическое уравнение Больцмана для газа фононов. Приближение времени релаксации. Нормальные процессы и процессы переброса. Фононный газ в идеальном диэлектрике. Второй звук, условия его возникновения. Потенциал межмолекулярного взаимодействия. Фононная теплоемкость и теплопроводность. Спектроскопия фононов. Квантовые кристаллы. Условие устойчивости кристаллического состояния. Параметр де Бура. Квантовая диффузия. Вакансины. Примесоны.          Модель жестких ионов и оболочечная модель кристалла. Электронно-колебательные взаимодействия. Гамильтониан. Электрон-решеточная релаксация. Теория эффектов экранировки. Теория эффекта Яна-Теллера. Поляроны. Орбитальное упорядочение. Кооперативное ян-теллеровское упорядочение.</p>
P9	<p><b>Теория сверхпроводимости.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток. Термодинамика фазового перехода из нормального состояния в сверхпроводящее. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Квантование потока. Длина когерентности. Уравнение Гинзбурга-Ландау. Два рода сверхпроводников. Вихри Абрикосова. Теория эффекта Джозефсона. Микроскопическая теория стационарного тока Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона. Метод туннельного гамильтониана. Электродинамика слабой сверхпроводимости. Квантовая интерференция. Нелинейное волновое уравнение. Взаимодействие электронов через виртуальные фононы, куперовское спаривание. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Метод u-v-преобразования Боголюбова. Уравнения Горькова. Энергетическая щель. Температура сверхпроводящего перехода. Модели экситонной сверхпроводимости Литтла и Гинзбурга. Основные модельные теории высокотемпературной сверхпроводимости.</p>
P10	<p><b>Избранные вопросы теории низкоразмерных систем.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта, 8 часов.</i></p>	<p>Двумерные электронные системы. Кристаллизация Вигнера. Топология двумерных систем. Спиновые 2D модели. Топологические дефекты. Вихри, скирмионы. Теория Березинского-Костерлитца-Таулесса. 1D и 2D модель Изинга. Квантовые магнетики. Магнитные фрустрации. Несоизмеримые структуры. Спин-спиральные системы, гелимагнетики.</p>
P11	<p><b>Элементы теории неупорядоченных систем.</b>  <i>Самостоятельная работа аспиранта,</i></p>	<p>Классификация неупорядоченных систем. Элементарные возбуждения в неупорядоченных средах. Методы описания. Плотность состояний. Основные представления о локализации Андерсона, скэйлинговая теория. Общие характеристики спектра элементарных возбуждений в неупорядоченных средах. Флук-</p>

	8 часов.	туационные границы спектра. Структура спектра вблизи флуктуационных границ. Границы подвижности. Электроны в поле случайных примесей, лестничное приближение, квантовые и кулоновские поправки. Фононы в неупорядоченных системах. Экситоны в неупорядоченных системах. Спиновые стекла. Модель Эдвардса-Андерсона. Теория Паризи.
P12	<b>Стандартные модели и методы теории сильнокоррелированных систем.</b> <i>Самостоятельная работа аспиранта, 6 часов.</i>	s-d-модель Шубина-Вонсовского. Модель Боголюбова-Левдина. Модель Андерсона. Модель Хаббарда. Приближения среднего поля (+RPA). Приближение Хартри-Фока. Решение простейших реализаций моделей Андерсона и Хаббарда в приближении Хартри-Фока. Метод Монте-Карло. Классический и квантовый варианты. Примеры решения задач теории сильнокоррелированных систем. Квантовые магнетики. Спиновые гамильтонианы, локализованная и коллективизированная модель. Представления спиновых операторов операторами вторичного квантования. Теорема Вика для спиновых операторов и основы диаграммной техники. Метод молекулярного поля, спиновые волны. Модель Хаббарда, сильно-коррелированные системы, переход Мотта. Псевдоспиновый формализм в сильнокоррелированных системах.

### **3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

#### **3.1. Практические занятия**

Не предусмотрено.

#### **3.2. Примерная тематика самостоятельной работы**

##### **3.2.1. Примерный перечень тем рефератов**

Не предусмотрено.

##### **3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов**

Не предусмотрено.

### **4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

#### **4.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

Применяются утвержденные критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

## 4.2. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

### 4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

Не предусмотрено.

### 4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Элементы квантовой статистической механики. Статистический оператор и термодинамические функции. Статистические операторы комплексов частиц. Теорема Вика-Блоха-де Доминиса. Вырождение состояний и квазисредние.
2. Методы квантовой теории поля при  $T=0$ . Функции Грина, физический смысл, аналитические свойства. Основные принципы диаграммной техники, правила построения диаграмм для различных видов взаимодействий. Уравнение Дайсона, вершинная часть, многочастичные функции Грина, энергия основного состояния.



3. Диаграммная техника при конечных температурах. Температурные (мацуба-ровские) функции Грина, связь с временными функциями Грина. Диаграммная техника для различных видов взаимодействия. Термодинамический потенциал. Основы техники Келдыша.
4. Двухвременные функции Грина. Запоздывающие, опережающие и причинные функции Грина. Спектральные представления и правила сумм. Цепочки уравнений движения и методы расщепления. Реакция системы на внешнее воздействие, формулы Кубо.
5. Основы теории ферми-жидкости. Феноменологическая формулировка Ландау. Доказательство основных соотношений теории ферми-жидкости методом функций Грина. Кулоновские системы и экранировка, приближения малой и большой плотности.
6. Система взаимодействующих бозонов. Основные представления о сверхтекучести. Метод  $u-v$ -преобразования Боголюбова в применении к Бозе-газу. Основы диаграммной техники Беляева.
7. Теория сверхпроводимости. Куперовская неустойчивость, модель БКШ. Метод  $u-v$ -преобразования Боголюбова. Уравнения Горькова. Термодинамика сверхпроводников. Уравнения Гинзбурга-Ландау, два рода сверхпроводников. Эффект Джозефсона.
8. Элементы квантовой теории магнетизма. Спиновые гамильтонианы, локализованная и коллективизированная модель. Представления спиновых операторов операторами вторичного квантования. Теорема Вика для спиновых операторов и основы диаграммной техники. Метод молекулярного поля, спиновые волны. Модель Хаббарда, сильно-коррелированные системы, переход Мотта.
9. Теория фазовых переходов и критических явлений. Спонтанное нарушение симметрии, квазисредние и аномальные функции Грина. Теория Ландау, флуктуации, функциональное интегрирование. Критические индексы и скейлинг. Ренормализационная группа Вильсона. Эпсилон- и  $1/\nu$ -разложение для критических индексов.
10. Основные представления современной теории неупорядоченных систем. Электроны в поле случайных примесей, лестничное приближение, квантовые и кулоновские поправки. Основные представления о локализации Андерсона, скейлинговая теория. Метод реплик и элементарные представления о спиновых стеклах.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1. Рекомендуемая литература**

#### **5.1.1. Основная литература**

1. Ю.А. Изюмов, В.И. Анисимов. Электронная структура соединений с сильными корреляциями. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009.
2. Садовский М.В. Диаграмматика. Лекции по избранным задачам теории конденсированного состояния. Изд. 2-е. М.-Ижевск. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010.
3. А.А. Абрикосов, Л.П. Горьков, И.Е. Дзялошинский. Методы квантовой теории поля в статистической физике. "Физматгиз", М. 1962.
4. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Статистическая физика, часть 2. "Наука", М. 178.
5. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Физическая кинетика. "Наука", М. 1979. Гл. X.
6. Д.Н. Зубарев. Неравновесная статистическая механика. "Наука", М. 1971.
7. Д.Н. Зубарев. УФН 71, 71 (1960).
8. Н.Н. Боголюбов. Квазисредние в задачах статистической механики. 1960. (Избранные труды. т.3, "Наукова думка", 1971 или в сборнике "Статистическая физика и квантовая теория поля", под ред. Н.Н.Боголюбова,"Наука", М. 1973).
9. С.В. Тябликов. Методы квантовой теории магнетизма. "Наука", М. 1965.
10. Ю.А. Изюмов, Ю.Н. Скрыбин. Статистическая механика магнито-упорядоченных систем. "Наука", М. 1987. Гл.1.
11. Д.И. Хомский. ФММ 29, 31 (1970).

12. Ш. Ма. Современная теория критических явлений. "Мир", М. 1980.
13. P.A. Lee, T.V. Ramakrishnan. Disordered Electronic Systems. Rev.Mod.Phys. 57, No.2, 287 (1985).
14. В.С. Доценко. УФН 163, No.6, 1 (1993).
15. Левитов Л.С., Шитов А.В. Функции Грина. Задачи и решения. М., Физматлит, 2003.
16. Handbook of Magnetism and advanced magnetic materials, Volume I: Fundamentals and Theory, Eds. H. Kronmüller and S. Parkin, Wiley, 2007. 700 p.
17. Ю.А. Изюмов, Ю.Н. Скрябин, Базовые модели в квантовой теории магнетизма, Екатеринбург: УрО РАН, 2002.
18. Бальхаузен К., Введение в теорию поля лигандов, М., Мир, 1964.
19. Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений, Л., «Химия», 1976. - 352 с.
20. Крэкнелл А., Уонг К. Поверхность Ферми. М. Атомиздат 1978г. 350с.
21. Шенберг Д. (Shoenberg). Магнитные осцилляции в металлах. Мир. 1986. 679 с.

### 5.1.2. Дополнительная литература

1. Р. Маттук. Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел. "Мир", М. 1969
2. R.D. Mattuck. D. Johansson. Adv.Phys. 17, 509 (1968).
3. В.Л. Бонч-Бруевич. С.В. Тябликов. Метод функций Грина в статистической механике. "Физматгиз", М. 1961.
4. Д.А. Киржниц. Полевые методы теории многих частиц. "Атомиздат", 1963.
5. Дж. Шриффер. Теория сверхпроводимости. "Наука", 1970.
6. П. Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. "Мир", М. 1968. Гл. IV-VIII.
7. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма. "Мир", М. 1985. Гл. 3-8.
8. Р. Уайт. Т. Джебелл. Дальний порядок в твердых телах. "Мир", М. 1982. Гл. 1-7.
9. А.А. Абрикосов. Введение в теорию металлов. "Наука", М. 1987.
10. Н.Ф. Мотт. Переходы металл-изолятор. "Наука", М. 1979. Гл. 1-4.
11. С.В.Вонсовский. Магнетизм. М.:Наука, 1971, 1032 с.
12. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Том 1,2, Мир, М., 1973.
13. А.С. Москвин, Ю.Д. Панов, Атомы в кристаллах, Екатеринбург, УрГУ, 1998.
14. A.S. Moskvin, Spin and Pseudospin Models: Hamiltonians, Topological Excitations, The Physics of Metals and Metallography (ФММ), Vol. 95, Suppl. 1, 2003, p. 41.
15. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электроны и фононы в металлах. М.: Изд-во МГУ, 1990.
16. Марг Н., Паринелло М. Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях. М.: Мир, 1986.
17. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.
18. Найш В. Е. Теория симметрии кристаллов. Учебное пособие. Екатеринбург, Изд. ИФМ, 1998.-43 с.
19. Маттис Д. Теория магнетизма, М., Мир, 1967.
20. Д. А. Варшалович, А. Н. Москалев, В. Х. Херсонский. Квантовая теория углового момента. Л., 1975.
21. Р. Нокс, А. Голд. Симметрия в твердом теле. М., 1970.
22. И. И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М., 1963.
23. Ю. Е. Перлин, Б. С. Цукерблат. Эффекты электронно-колебательного взаимодействия в оптических спектрах примесных парамагнитных ионов. Кишнев, 1974.
24. С. В. Вонсовский и др. Теория кристаллического поля и оптические спектры примесных ионов с незаполненной d-оболочкой. М., 1969.
25. А. Брус, Р. Каули. Структурные фазовые переходы. М., 1984.

## 5.2. Методические разработки

Не предусмотрено.

## 5.3. Программное обеспечение

1. Microsoft office (Word, Excel, Power point);
2. Adobe Reader X
3. ChemOffice 2010
4. Isis Draw (Version 2.5)
5. Mercury (Version 2.4.5)
6. AutoDock (Version 1.5)
7. MestReNova (Version 6.0.2)
8. Open Babel (Version 2.3.1)
9. Avogadro (Version 1.0.3)
10. RasMol (Version 2.7.5.2)
11. Jmol (Version 12.0.45)
12. MiKTeX (<https://miktex.org>)
13. SRIM (<http://www.srim.org>)
14. MathCad 14.0

## 5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
2. Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
3. Scopus: <http://www.scopus.com>;
4. Reaxys: <http://reaxys.com>;
5. Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>;

## 5.5. Электронные образовательные ресурсы

1. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>;
2. Каталоги библиотеки <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>;
3. Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>;
4. Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>;
5. Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>;
6. Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Уральский федеральный университет имеет материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации программы аспирантуры, обеспечения дисциплин (модулей), научно-исследовательской работы и практик, в соответствии с требованиями к материально-техническому и учебно-методическому обеспечению направленности программы.