

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ИМ. Л.Ф. ВЕРЕЩАГИНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФВД РАН)**

ПРИНЯТО

На Ученом совете ИФВД РАН
Протокол № 6 от 30.11.2020



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях»

наименование

Направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль)

**«Физика конденсированного
состояния» (01.04.07)**

ООП

Квалификация

**«Исследователь. Преподаватель-
исследователь»**

Форма обучения

очная

Год приема

2020

Москва – 2020

Программа дисциплины «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «30» июля 2014 г. № 876. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г;

- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от «23» октября 2017 г. № 1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составитель: д.ф.-м.н. Рыжов В.Н.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения аспирантами дисциплины «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» является изучение физических явлений в различных конденсированных средах, включая диэлектрики, полупроводники, металлы, гетерогенные твердотельные структуры, плёнки и композитные материалы. Предполагается освоение фундаментальных закономерностей, связанных с динамикой кристаллических решёток, со свойствами электронных и экситонных возбуждений в твёрдых телах, с гальваническими явлениями в металлах и полупроводниках, с магнитными явлениями в твёрдых телах, с эффектом сверхпроводимости, с фазовыми переходами в конденсированных средах и др.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундамент знаний в области современных сфер деятельности и нанотехнологий;
- изучение фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к физике конденсированного состояния вещества, а также методов физических исследований физики конденсированного состояния.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

2.1. Учебная дисциплина «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» входит в Блок (Обязательные дисциплины) и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Физика конденсированного состояния» (01.04.07). Индекс дисциплины по учебному плану — Б1.В.ОД.2. Дисциплина изучается на 1 курсе.

2.2. Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью физических явлений в конденсированных средах и необходимостью создания различного рода устройств и приборов, основанных на использовании явлений в твёрдых телах, гетерогенных структурах и кристаллах. Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки бакалавров, специалистов или магистров: «Физика», «Химия», «Кристаллография», «Физика твердого тела», «Информатика», «Программирование».

В результате освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» обучающийся должен:

Знать:

- основные закономерности формирования конденсированных сред;
- методы теоретических подходов в описании и изучении явлений в физике конденсированного состояния;
- методы обработки полученных данных;
- принципы анализа взаимосвязи между структурой, условиями образования и свойствами перспективных кристаллических материалов.

Уметь:

- осуществлять сбор, обработку и систематизацию научной информации по заданному направлению профессиональной деятельности, применять для этого современные информационные технологии;

- описывать и качественно объяснять основные состояния в твердом теле;
- применять методы описания кристаллических структур;
- анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований;
- интерпретировать полученные результаты и оформлять их в виде научных публикаций, докладов на конференциях, заявок на изобретения;
- моделировать физические процессы;
- критически анализировать накопленный опыт и совершенствовать свои подходы к изучению свойств вещества.

Владеть:

- опытом понимания качества исследований, относящихся к области физики конденсированного состояния;
- опытом самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики конденсированного состояния вещества;
- навыками понимания качества исследований, относящихся к области физики конденсированного состояния;
- навыками планирования и обработки результатов научного эксперимента;
- навыками работы с информационными ресурсами.

2.3. Основные положения дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при прохождении научно-исследовательской практики и государственной итоговой аттестации.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- универсальных (УК-1, УК-3, УК-4);
- общепрофессиональных (ОПК-1);
- профессиональных (ПК-1, ПК-2, ПК-3).

Таблица 1.
Декомпозиция результатов обучения

| Код компетенции | Планируемые результаты освоения дисциплины | | |
|------------------------|---|--|---|
| | Знать (1) | Уметь (2) | Владеть (3) |
| УК-1 | ИУК-1.1.1 о современных научных достижениях, генерировании новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | ИУК-1.2.1 проявлять способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | ИУК-1.3.1 способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях |
| УК-3 | ИУК-3.1.1 об участии в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных | ИУК-3.2.1 принимать участие в работе российских и международных исследовательских коллективов по | ИУК-3.3.1 готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по |

| | | | |
|--------------|--|--|--|
| | и научно-образовательных задач | решению научных и научно-образовательных задач | решению научных и научно-образовательных задач |
| УК-4 | ИУК-4.1.1 современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках | ИУК-4.2.1 использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках | ИУК-4.3.1 готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках |
| ОПК-1 | ИОПК-1.1.1 о способности самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | ИОПК-1.2.1 самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | ИОПК-1.3.1 способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий |
| ПК-1 | ИПК-1.1.1 о применении современных и перспективных методов исследования и решении профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы | ИПК-1.2.1 самостоятельно проводить научно-исследовательскую работу с применением современных и перспективных методов исследования и решать профессиональные задачи с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы | ИПК-1.3.1 способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы с применением современных и перспективных методов исследования и решению профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы |
| ПК-2 | ИПК-2.1.1 о способности анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовности применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно- | ИПК-2.2.1 анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно- | ИПК-2.3.1 способностью анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовностью применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и |

| | | | |
|-------------|---|---|--|
| | технической документации | технической документации | научно-технической документации |
| ПК-3 | ИПК-3.1.1 о способности использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов | ИПК-3.2.1 использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов | ИПК-3.3.1 способностью использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов |

Профессиональные компетенции выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия», направленность «Физика конденсированного состояния» 01.04.07 осваиваются в течение всего периода обучения в рамках дисциплин вариативной части и научно-исследовательской практики независимо от формирования других компетенций, и обеспечивают реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты». Для того чтобы формирование профессиональных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ: физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, основные тенденции развития физики конденсированного состояния.

УМЕТЬ: осуществлять отбор материала, характеризующего область физики конденсированного состояния, с учетом конкретной научной или технической задачи.

ВЛАДЕТЬ: навыками работы в научном коллективе; приемами целеполагания, планирования, реализации необходимых видов деятельности, оценки и самооценки результатов деятельности по решению задач физики конденсированного состояния.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, в том числе 52 часа, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 36 часов – лекции, 16 часов – практические, семинарские занятия), 120 часов – на самостоятельную работу обучающихся и 8 часов – на контроль.

Таблица 2. Структура и содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела, темы | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа (в часах) | | | Самостоят. работа | Контроль | Формы текущего контроля успеваемости (по темам) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------|----------------------------|---------|-----------------|-----------------------------|----|----|-------------------|----------|--|
| | | | | Л | ПЗ | ЛР | | | |
| 1 | Симметрия твердых тел | 1 | 6 | 2 | 2 | | 10 | | участие аспирантов в научных семинарах |

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|-------|-----------|-----------|--|------------|----------|---|
| 2 | Силы химической связи в твердых телах. | 1 | 7-8 | 4 | 2 | | 10 | | представление докладов на научные конференции |
| 3 | Динамика решетки и фазовые переходы | 1 | 9-11 | 2 | 2 | | 10 | | подготовка научных статей |
| 4 | Дифракция в кристаллах | 1 | 12-14 | 4 | 2 | | 10 | | подготовка презентаций по литературе и по теме исследований |
| 5 | Дефекты в твердых телах | 1 | 15-17 | 2 | | | 10 | | освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований |
| 6 | Тепловые свойства твердых тел | 2 | 20-26 | 4 | 2 | | 10 | | участие аспирантов в научных семинарах |
| 7 | Электронные свойства твердых тел | 2 | 27-30 | 2 | | | 10 | | представление докладов на научные конференции |
| 8 | Магнитные свойства твердых тел | 2 | 31-34 | 4 | 2 | | 10 | | подготовка научных статей |
| 9 | Электрические свойства твердых тел | 2 | 35-38 | 2 | | | 20 | | подготовка презентаций по литературе и по теме исследований |
| 10 | Оптические и магнитооптические свойства твердых тел | 2 | 39-42 | 4 | 2 | | 10 | | освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований |
| 11 | Сверхпроводимость | 2 | 43-46 | 6 | 2 | | 10 | | участие аспирантов в научных семинарах |
| 12 | Экзамен | 2 | 40-41 | | | | | 8 | проведение экзамена |
| ИТОГО | | | | 36 | 16 | | 120 | 8 | ЭКЗАМЕН |

Условные обозначения:

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы;
 СР – самостоятельная работа по отдельным темам

Таблица 3.

Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины и формируемых в них компетенций

| Темы, разделы дисциплины | Кол-во часов | Компетенции | | | | | | | общее количество компетенций |
|--------------------------|--------------|-------------|------|------|-------|------|------|------|------------------------------|
| | | УК-1 | УК-3 | УК-4 | ОПК-1 | ПК-1 | ПК-2 | ПК-3 | |
| <i>Тема 1</i> | <i>14</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 2</i> | <i>16</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 3</i> | <i>14</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 4</i> | <i>16</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 5</i> | <i>12</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |

| | | | | | | | | | |
|--------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Тема 6 | 16 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 7 | 12 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 8 | 16 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 9 | 22 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 10 | 16 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 11 | 18 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Тема 12 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | 7 |
| Итого | 180 | | | | | | | | |

Содержание тем дисциплины

1. Симметрия и операции симметрии. Кристаллические и аморфные твердые тела. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров. Структура веществ с ковалентными связями. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах.

3. Фазовые переходы. Основы феноменологической теории фазовых переходов. Термодинамическая теория Ландау. Полиморфизм. Фазовые переходы и второго рода. Уравнения состояния. Фазовые диаграммы. Структура и фазовые переходы первого рода.

4. Основы теории дифракции. Дифракция от кристалла. Геометрическая теория дифракции на трехмерной решетке. Уравнение Лауэ. Уравнение Вульфа—Брегга. Обратная решетка. Основные рентгенодифракционные схемы в представлении обратной решетки. Интенсивность рентгеновских рефлексов, Атомная амплитуда. Структурная амплитуда. Интерференционная функция. Интегральная интенсивность. Связь симметрии кристалла и его дифракционной картины. Законы погасания.

5. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

6. Основы теплоемкости твердых тел. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Классическая теория теплоемкости. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Тепловое расширение твердых тел. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Основные приближения зонной теории. Квазиимпульс. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Приближение почти свободных электронов.

8. Магнитные свойства кристаллов. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферро-магнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики, Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны.

9. Электрические свойства твердых тел. Введение. Пирозлектрические явления. Пьезоэлектрический эффект и электрострикция. Особенности электрических свойств сегнето- и антисегнетоэлектриков. Основы теории спонтанной поляризации.

10. Основы оптических свойств твердых тел. Плоские электромагнитные волны в анизотропной среде. Электрооптические, магнитооптические и пьезооптические свойства твердых тел, Рассеяние света в твердых телах. Лазерные кристаллы.

11. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Сверхпроводники первого и второго рода. Магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

5.1. Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения.

Основные формы занятий по дисциплине - лекции и практические занятия.

Лекция представляет собой систематичное, последовательное устное изложение преподавателем определенного раздела учебной дисциплины. Слушание лекции предполагает активную мыслительную деятельность аспирантов, главная задача которых - понять сущность рассматриваемой темы, уловить логику рассуждений лектора; размышляя вместе с ним, оценить его аргументацию, составить собственное мнение об изучаемых проблемах и соотнести услышанное с тем, что уже изучено. И при этом аспирант должен еще успевать делать записи изложенного в лекции материала.

Ведение конспектов является творческим процессом и требует определенных умений и навыков. Целесообразно следовать некоторым практическим советам: формулировать мысли кратко и своими словами, записывая только самое существенное; учиться на слух отделять главное от второстепенного; оставлять в тетради поля, которые можно использовать в дальнейшем для уточняющих записей, комментариев, дополнений; постараться выработать свою собственную систему сокращений часто встречающихся слов (это дает возможность меньше писать, больше слушать и думать).

Сразу после лекции полезно просмотреть записи и по свежим следам восстановить пропущенное, дописать недописанное. Важно уяснить, что лекция - это не весь материал по изучаемой теме, который дается аспирантам для его «зубрежки». Прежде всего, это – «путеводитель» аспирантам в их дальнейшей самостоятельной учебной и научной работе. Практическое занятие - это особая форма учебно-теоретических занятий, которая, как правило, служит дополнением к лекционному курсу. Его отличительной особенностью является активное участие самих аспирантов в объяснении вынесенных на рассмотрение проблем, вопросов. Преподаватель дает возможность аспирантам свободно высказаться по обсуждаемому вопросу и только помогает им правильно построить обсуждение.

Аспиранты заблаговременно знакомятся с планом семинарского занятия и литературой, рекомендуемой для изучения данной темы, чтобы иметь возможность подготовиться к семинару. При подготовке к занятию необходимо: проанализировать его тему, подумать о цели и основных проблемах, вынесенных на обсуждение; внимательно прочитать конспект лекции по этой теме; изучить рекомендованную литературу, делая при этом конспект прочитанного или выписки, которые понадобятся при обсуждении на семинаре; постараться сформулировать свое мнение по каждому вопросу и аргументированно его обосновать.

Практическое занятие помогает аспирантам глубоко овладеть предметом, способствует развитию умения самостоятельно работать с учебной литературой и документами, освоению аспирантами методов научной работы и приобретению навыков научной аргументации, научного мышления. Преподавателю же работа аспирантов на семинаре позволяет судить о том, насколько успешно они осваивают материал курса.

Перечень учебно-методического обеспечения.

1. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в химии: через алмаз к высокотемпературным сверхпроводникам. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 168 с.
2. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в твердофазном синтезе веществ и материалов. - Москва: Техносфера, 2018. - 157 с.
3. Зуев Л.Б. Автоволновая пластичность локализации и коллективные моды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 208 с.
4. Физика конденсированного состояния, Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Издательство Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.
5. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. «Физика твердого тела»: Учебник. Изд. 4-е. — М.: ЛЕНАНД. 2016. — 496 с.
6. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.
7. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2019. — 293 с.
8. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том X: Статистическая физика, Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2016 — 44 с.
9. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ», 2017 — 616 с.
10. Фокусировка фононов и фононный транспорт в монокристаллических наноструктурах / И. Г. Кулеев, И. И. Кулеев, С. М. Бахарев, В. В. Устинов. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2018. - 254 с

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа аспирантов является одним из основных видов учебной деятельности и предполагает изучение вопросов, не вошедших в основной план занятий.

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов в вузе не менее важна, чем обязательные учебные занятия. Ее успешность во многом определяется тем, насколько умело, рационально сам учащийся сможет организовать свои индивидуальные занятия, насколько регулярными и своевременными они будут.

Задания и методические указания для различных видов самостоятельной работы разрабатываются с учетом её специфики, особенностей изучаемых тем, наличия учебной и методической литературы.

Систематическое освоение аспирантами необходимого учебного материала, своевременное выполнение предусмотренных учебных заданий, регулярное посещение лекционных и практических занятий позволяют подготовиться к успешному прохождению промежуточной аттестации по данной дисциплине.

В ходе самостоятельной работы аспиранты должны осуществлять:

- подготовку к занятиям, включая изучение лекций и литературы по теме занятия (используются лекции и источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы);

- выполнение индивидуальных домашних заданий по теме прошедшего занятия;
- подготовку реферата (индивидуальные задания по слабо усвоенным темам), в том числе самостоятельное изучение части теоретического материала по темам, которые заявлены в теме реферата (используются источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы).

К самостоятельной работе аспирантов также относятся: чтение основной и дополнительной литературы – самостоятельное изучение материала по рекомендуемым литературным источникам; работа с библиотечным каталогом, самостоятельный подбор необходимой литературы; работа со словарем, справочником; поиск необходимой информации в сети Интернет; конспектирование источников; реферирование источников; составление аннотаций к прочитанным литературным источникам; составление рецензий и отзывов на прочитанный материал; составление обзора публикаций по теме; составление и разработка терминологического словаря; составление библиографии (библиографической картотеки); подготовка к различным формам текущей и промежуточной аттестации (к тестированию, контрольной работе, зачету, экзамену); выполнение домашних контрольных работ; самостоятельное выполнение практических заданий репродуктивного типа (ответы на вопросы, задачи, тесты; выполнение творческих заданий).

Таблица 4.
Содержание самостоятельной работы обучающихся

| Номер раздела (темы) | Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение | Кол-во часов | Формы работы |
|----------------------|---|--------------|--------------------|
| 1 | Симметрия твердых тел | 10 | Реферат |
| 2 | Силы химической связи в твердых телах. | 10 | Эссе |
| 3 | Динамика решетки и фазовые переходы | 10 | Конспектирование |
| 4 | Дифракция в кристаллах | 10 | Контрольная работа |
| 5 | Дефекты в твердых телах | 10 | Реферат |
| 6 | Тепловые свойства твердых тел | 10 | Эссе |
| 7 | Электронные свойства твердых тел | 10 | Конспектирование |
| 8 | Магнитные свойства твердых тел | 10 | Контрольная работа |
| 9 | Электрические свойства твердых тел | 20 | Реферат |
| 10 | Оптические и магнитооптические свойства твердых тел | 10 | Эссе |
| 11 | Сверхпроводимость | 10 | Конспектирование |

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно

Реферат – продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Порядок работы над рефератом.

1. Выбор темы.
2. Подбор и изучение литературы.
4. Составление плана реферата.
5. Изложение основного содержания по плану реферата.
6. Оформление и научно-справочный аппарат.

Общий объём работы – 15-30 страниц печатного текста (с учётом титульного листа, содержания и списка литературы) на бумаге формата А4. В тексте должны композиционно выделяться структурные части работы, отражающие суть исследования: введение, основная часть и заключение, а также заголовки и подзаголовки. Реферат должен быть выполнен на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Интервал межстрочный – полуторный (1,5). Цвет шрифта – черный. Гарнитура шрифта основного текста – Times New Roman. Кегль (размер шрифта) – 14. Размеры полей страницы (не менее): правое – 30 мм, верхнее, нижнее и левое – 20 мм. Формат абзаца: полное выравнивание (по ширине). Отступ красной строки одинаковый по всему тексту, рекомендуется 1,25 см. Страницы должны быть пронумерованы с учётом титульного листа, который не обозначается цифрой. В работах могут использоваться цитаты, статистические материалы. Эти данные оформляются в виде сносок (ссылок и примечаний). Все сноски и подстрочные примечания располагаются на той же странице, к которой они относятся, нумерация сносок устанавливается заново на каждой странице. Размер шрифта для названия главы – 16 (полужирный), подзаголовок – 14 (полужирный). Точка в конце заголовка, располагаемого посередине листа, не ставится. Заголовки не подчёркиваются. Оглавление (содержание) должно быть помещено в начале работы, а список литературы в конце реферата.

Эссе – это средство, позволяющее оценить умение обучающегося письменно излагать суть поставленной проблемы, самостоятельно проводить анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария соответствующей дисциплины, делать выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. При написании эссе аспирантам предстоит работать с высказываниями историков и современников о событиях и деятелях отечественной истории. Нужно выбрать одно, которое станет темой эссе. Задача – сформулировать собственное отношение к данному утверждению и обосновать его аргументами. При выборе темы эссе аспирант должен исходить из того, что:

- ясно понимаете смысл высказывания (не обязательно полностью или даже частично быть согласным с автором, но необходимо понимать, что именно он утверждает);
- можете выразить свое отношение к высказыванию (аргументированно согласиться с автором либо полностью или частично опровергнуть его высказывание);
- располагаете конкретными знаниями (факты, статистические данные, примеры) по данной теме;
- владеете терминами, необходимыми для грамотного изложения своей точки зрения.

При написании работы аспиранту следует руководствоваться следующими критериями:

- обоснованность выбора темы (объяснение выбора темы и задач, которые ставит перед собой в своей работе участник) – 1 балл;
- творческий характер восприятия темы, ее осмысления – 1 балл;
- грамотность использования исторических фактов и терминов – 1 балл;
- четкость и доказательность основных положений работы – 1 балл;
- знание различных точек зрения по избранному вопросу – 1 балл.

Конспектирование. Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

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

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

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

Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу). Данный тип конспектирования рекомендуется при подготовке к вопросам семинарского занятия.

Контрольная работа является одной из форм самостоятельного изучения аспирантами программного материала по всем предметам. Её выполнение способствует расширению и углублению знаний, приобретению опыта работы со специальной литературой.

Контрольные работы обычно включают практические задания, тесты, задачи и т.п. Для выполнения контрольной работы аспиранту предлагается один из вариантов заданий, также он получает указания или рекомендации к выполнению контрольной работы в устном (консультация) или печатном (методическое пособие) виде. Сдача контрольной работы происходит в установленные преподавателем сроки.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии

Интерактивная лекция, проблемное изложение, технология «Дебаты».

6.2. Информационные технологии

Информационные технологии, используемые при реализации различных видов учебной и внеучебной работы:

- использование Интернета в учебном процессе (использование информационного сайта преподавателя (рассылка заданий, предоставление выполненных работ на проверку, ответы на вопросы, ознакомление учащихся с оценками и т.д.));
- использование электронных учебников и различных сайтов (например, электронные библиотеки, журналы и т.д.) как источников информации;
- использование электронной почты преподавателя;
- использование средств представления учебной информации (электронных учебных пособий и практикумов, применение новых технологий для проведения очных (традиционных) лекций и семинаров с использованием презентаций и т.д.);
- использование интегрированных образовательных сред, где главной составляющей являются не только применяемые технологии, но и содержательная часть, т.е. информационные ресурсы (доступ к мировым информационным ресурсам, на базе которых строится учебный процесс).

6.3. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

- Программное обеспечение

| Наименование программного обеспечения | Официальный сайт |
|---------------------------------------|---|
| LAMMPS | http://lammps.sandia.gov/ |
| QUANTUM ESPRESSO | https://www.quantum-espresso.org/ |
| XDS | http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de |
| Autodock Vina | http://vina.scripps.edu |
| Pymol | https://pymol.org |
| Nova PX | https://www.ntmdt-si.com/ |
| АнНа (Анализатор Наночастиц) | https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniywotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii |

- Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы

| | |
|--------------------------|---|
| РИНЦ | https://elibrgru.ru/orgs.asp |
| Web of Science | http://apps.webofknowledge.com |
| Scopus | https://www.scopus.com/home.uri |
| Google Scholar citations | https://scholar.google.ru |

| | |
|--|---|
| IOP Institute of Physics | https://www.io.or |
| AIP Материалы компании American Institute of Physics | https://www.aip.org/ |
| CASC Материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC | https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases |
| APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals | https://www.aps.org/ |
| IEEE Материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно база данных IEEE/IEL | http://ieeexplore.ieee.org/XpIore/home.isp |
| RSC материалы Royal Society of Chemistry | http://pubs.rsc.org/ |
| Wiley Материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals | http://onlinelibrary.wiley.com/ |
| Inspec Материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC | https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec |
| ProQuest Материалы компании PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global | https://www.proquest.com/productsservices/pqdtglobal.html |
| SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database | http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-contenttype=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com |

| | |
|--|---|
| Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct | https://www.elsevier.com/ |
| CCDC Cambridge Crystallographic Data Centre зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных. | https://www.ccdc.cam.ac.uk/ |
| Scifinder База данных | https://scifinder.cas.org |

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «**Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях**» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой тем.

Таблица 5.
Соответствие разделов, тем дисциплины, результатов обучения по дисциплине и оценочных средств

| № п/п | Контролируемые темы дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|--|---|---------------------------------------|
| 1 | Симметрия твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №1, эссе, реферат. |
| 2 | Силы химической связи в твердых телах. | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №1, эссе, реферат. |
| 3 | Динамика решетки и фазовые переходы | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №2, эссе, реферат. |
| 4 | Дифракция в кристаллах | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №2, эссе, реферат. |
| 5 | Дефекты в твердых телах | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №3 эссе, реферат. |
| 6 | Тепловые свойства твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №3, эссе, реферат. |

| | | | |
|----|---|---|--|
| 7 | Электронные свойства твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | «Круглый стол» по теме, эссе, реферат. |
| 8 | Магнитные свойства твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №4 эссе, реферат. |
| 9 | Электрические свойства твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №4, эссе, реферат. |
| 10 | Оптические и магнитооптические свойства твердых тел | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | «Круглый стол» по теме, эссе, реферат. |
| 11 | Сверхпроводимость | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №5 эссе, реферат. |

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Таблица 6.

Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

| Шкала оценивания | Критерии оценивания |
|----------------------------|---|
| 5 «отлично» | демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обоснованно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно, правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры |
| 4 «хорошо» | демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное изложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя |
| 3 «удовлетворительно» | демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала, требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формулировке выводов |
| 2 «неудовлетворительно» | демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала, не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя, не может привести примеры |

Таблица 7.

Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

| Шкала оценивания | Критерии оценивания |
|----------------------------|---|
| 5 «отлично» | демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы |
| 4 «хорошо» | демонстрирует способность применять знание теоретического материала при выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя |
| 3 «удовлетворительно» | демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, не способен применить знание теоретического материала при выполнении заданий, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов |
| 2 «неудовлетворительно» | не способен правильно выполнить задание |

7.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

1. Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера — Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана — Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна — Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс, Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.

Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.

Законы Кюри и Кюри — Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

10. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники.

Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова.

Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Задания

1. Число атомов приходится на элементарную объемцентрированную ячейку кристалла равно:
 - а) один
 - б) два
 - в) восемь
 - г) девять
2. Кто впервые экспериментально подтвердил реальность существования решетчатой структуры у кристаллов?
 - а) В. Брэгг
 - б) М. Лауэ
 - в) Г. В. Вульф
 - г) Р. Ж. Аюи
3. Какое максимальное количество осей симметрии третьего порядка может быть в кристалле?
 - а) одна
 - б) три
 - в) четыре
 - г) шесть
4. Сколько центров инверсии в кубе?
 - а) один
 - б) три
 - в) шесть
 - г) девять
5. Какое понятие характеризуется следующей формулировкой: «Группа видов симметрии обладающих одним или несколькими сходными элементами симметрии»?
 - а) вид симметрии
 - б) сингония
 - в) категория
 - г) нет правильного ответа
6. Какое количество единичных направлений характерно для кристаллов, относящихся к ромбической сингонии?
 - а) одно
 - б) два
 - в) три
 - г) пять
7. Что такое «установка кристалла»?
 - а) определение формулы симметрии
 - б) выбор кристаллографических осей и единичной грани
 - в) определение символов грани
 - г) определение простых форм
8. Какой закон был сформулирован французским кристаллографом Рене Жюст Аюи?
 - а) закон рациональности отношений параметров
 - б) закон симметрии
 - в) закон постоянства углов
 - г) нет правильного ответа
9. Каковы параметры решетки Бравэ в тригональной сингонии?
 - а) $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a = b \neq c$
 - б) $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$, $a = b = c$
 - в) $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a = b = c$
 - г) $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta \neq 90^\circ$, $a = b \neq c$

10. В какой сингонии может кристаллизоваться минерал, для которого характерна двух-
слойная плотная упаковка?
- а) в любой
 - б) в тригональной
 - в) в тетрагональной
 - г) в кубической
11. Какой тип химической связи характерен для графита?
- а) ионный
 - б) ковалентно-металлический
 - в) металлический
 - г) ковалентно-Ван-дер-Ваальсовый
12. Для кристаллов с каким типом химической связи наиболее характерны низкие координатные числа?
- а) такой зависимости не существует
 - б) ионным
 - в) ковалентным
 - г) металлическим
13. Сколько узлов приходится на одну примитивную ячейку триклинной сингонии?
- а) один
 - б) четыре
 - в) шесть
 - г) восемь
14. Кристаллографические индексы, характеризующие расположение атомных плоскостей в кристалле называются индексами
- а) узлов
 - б) направлений
 - в) плоскостей
 - г) Миллера
15. Какая связь является универсальной, т.е. присущей всем твердым телам?
- а) металлическая
 - б) ионная
 - в) ковалентная
 - г) молекулярная связь (Ван-дер-Ваальса)
16. В каком методе рентгеноструктурного анализа используется монохроматический пучок рентгеновского излучения?
- а) метод вращающегося кристалла
 - б) метод Дебая-Шеррера
 - в) метод Лауэ
 - г) метод Эвальда
17. Какая связь из перечисленных носит насыщенный и направленный характер?
- а) металлическая
 - б) водородная
 - в) ионная
 - г) ковалентная
18. Частицы в молекулярных кристаллах удерживаются:
- а) кулоновским взаимодействием
 - б) силами Ван-дер-Ваальса
 - в) электрическим диполь-дипольным взаимодействием
 - г) магнитными взаимодействиями
19. Какой основной тип связи, как правило, осуществляется в полупроводниках?
- а) ионный
 - б) ковалентный
 - в) металлический

- г) водородный
20. В молекуле водорода осуществляется:
- а) молекулярная связь
 - б) ковалентная связь
 - в) металлическая связь
 - г) водородная связь
21. Удельная проводимость металлов описывается формулой $\sigma = e n \mu$, где μ – подвижность электронов. Что в данном случае n ?
- а) полная концентрация электронов в металле: $n = n_0$
 - б) концентрация неспаренных электронов вблизи поверхности Ферми: $n = (3kT / EF) n_0$, где EF – энергия Ферми
 - в) концентрация электронов в зоне проводимости
 - г) нет правильного ответа
22. Средняя энергия E , приходящаяся на один электрон в металле при $T = 0$ К равна (где EF – энергии Ферми):
- а) $E = 3kT/2$
 - б) $E = EF$
 - в) $E = 3EF/5$
 - г) $E = 5EF/3$
23. Какой статистике подчиняются электроны в сверхпроводнике?
- а) Больцмана
 - б) Бозе-Эйнштейна
 - в) Ферми-Дирака
 - г) Максвелла
24. Пространство между пластинами заряженного плоского воздушного конденсатора заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. При этом энергия конденсатора?
- а) увеличилась в два раза
 - б) уменьшилась в два раза
 - в) осталась неизменной
25. При заполнении пространства между обкладками плоского конденсатора, присоединенного к источнику постоянного напряжения, диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ напряженность электростатического поля внутри него?
- а) увеличивается в ϵ раз
 - б) уменьшается в ϵ раз
 - в) остается неизменной
26. Сегнетоэлектрик – это диэлектрик, у которого диэлектрическая проницаемость среды ϵ ? а) $\epsilon > 0$
- б) $\epsilon = 0$
 - в) $\epsilon < 0$
 - г) $\epsilon = 1$
 - д) $\epsilon \gg 1$
27. Как изменится емкость конденсатора при удалении из него диэлектрика с проницаемостью равной $\epsilon = 2$?
- а) увеличится в 4 раза
 - б) увеличится в 2 раза
 - в) не изменится
 - г) уменьшится в 2 раза
 - д) уменьшится в 4 раза
28. Как изменится энергия электрического поля конденсатора, если напряжение между его обкладками увеличить в 2 раза?
- а) увеличится в 4 раза
 - б) увеличится в 2 раза

в) не изменится

г) уменьшится в 2 раза

д) уменьшится в 4 раза

29. Как изменится емкость конденсатора при уменьшении расстояния между его пластинами в 2 раза?

а) уменьшится в 2 раза

б) уменьшится в 4 раза

в) не изменится

г) увеличится в 2 раза

д) увеличится в 4 раза

30. Диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 5$ поместили в однородное электрическое поле напряженность $E_0 = 10 \text{ кВ / м}$. Определите напряженность E_1 деполаризующего поля (в кВ / м)?

а) 2

б) 4

в) 5

г) 6

д) 8.

Темы для рефератов

1. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван-дер-Ваальсова связь, ионная связь, металлическая связь.

2. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями и водородными связями. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

3. 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.

4. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl , типа NaCl .

5. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения и условия Лауэ. Атомный и структурный факторы.

6. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы.

7. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

8. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю.

9. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана-Франца-Лоренца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

10. Свободный электронный газ. Энергетические уровни и плотность состояний. Распределение Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Теплопроводность металлов. Проводимость.

11. Приближение почти свободных электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Решение вблизи границы зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Эффективная масса электронов и дырок.

12. Полупроводниковые кристаллы. Собственная проводимость. Закон действующих масс. Концентрация и подвижность от температуры. Примесная проводимость. Примесные состояния. Химпотенциал от температуры.
13. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
14. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.
15. Свойства диэлектриков. Макроскопическое и локальное электрические поля на атоме. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Соотношение Клаузиуса-Мосотти.
16. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Диэлектрическая релаксация. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектричество, электрострикция.
17. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри-Вейсса.
18. Температурная зависимость намагниченности. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
19. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
20. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Магнитная теплоемкость.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

В ИФВД РАН действует балльно-рейтинговая система оценки учебных достижений аспирантов (БАРС). Успешность изучения каждого учебного курса в течение семестра оценивается, исходя из 100 максимальных возможных баллов. По дисциплине, итоговой формой отчетности для которой является экзамен, балльная оценка распределяется на две составляющие: семестровую (текущий контроль по учебной дисциплине в течение семестра) – 50 баллов, и экзаменационную – 50 баллов. В итоге суммарный рейтинговый балл освоения учебного курса за семестр на экзамене переводится в 4-балльную оценку, которая считается итоговой по учебному курсу в течение семестра и заносится в зачетную книжку аспиранта.

Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по учебному курсу

| Сумма баллов по дисциплине | Оценка по 4- балльной шкале |
|-----------------------------------|--|
| 90-100 | 5 (отлично), (зачтено) |
| 85- 89 | 4 (хорошо), (зачтено) |
| 75- 84 | |
| 70-74 | |
| 65-69 | 3 (удовлетворительно), (зачтено) |
| 60-64 | |
| Ниже 60 баллов | 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) |

Преподаватель, реализующий дисциплину, в зависимости от уровня подготовленности обучающихся может использовать иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Основная литература:

1. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в химии: через алмаз к высокотемпературным сверхпроводникам. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 168 с.
2. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в твердофазном синтезе веществ и материалов. - Москва: Техносфера, 2018. - 157 с.
3. Зуев Л.Б. Автоволновая пластичность локализации и коллективные моды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 208 с.
4. Физика конденсированного состояния, Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Издательство Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.
5. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. «Физика твердого тела»: Учебник. Изд. 4-е. — М.: ЛЕНАНД. 2016. — 496 с.
6. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.
7. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. Москва, ИКЦ «Академкнига». Том 2. 2018 г.
8. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2019. — 293 с.
9. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том X: Статистическая физика, Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2016 — 44 с.
10. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ», 2017 — 616 с.
11. Фокусировка фононов и фононный транспорт в монокристаллических наноструктурах / И. Г. Кулеев, И. И. Кулеев, С. М. Бахарев, В. В. Устинов. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2018. - 254 с
12. Хельтзе Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтзе, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. — 318 с.

б) Дополнительная литература:

1. Безуглов Н. Н. Проявления «динамического хаоса» в реакциях с участием ридберговских состояний. Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, сор. 2017. - 111 с.
2. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы Структура и свойства Издательство Либроком, 2016. - 484 с.
3. Вайнштейн Б. К. Кристаллография и жизнь. Москва: Физматлит. 2017 г.
4. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 2016 — 314 с.
5. Ремпель А. А. Нестехиометрия в твердом теле. - Москва: Физматлит, 2018. - 636 с.
6. Стишов С. М. Фазовые переходы для начинающих. Институт физики высоких давлений РАН. - Изд. 2-е. - Троицк: Троянт, 2017. – 105 с.
7. Теоретические методы описания критических свойств ультратонких плёнок / Прудников В.В., Прудников П.В., Мамонова М.В., Медведева М.А.: Монография. — Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2016. — 138 с.
8. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып. 1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение:

Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. изд. 11-е. - М.: УРСС: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. – 448 с.

9. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. — М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 256 с.

10. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 14: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. – 280 с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ. Под ред. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2020. – 272 с.

в) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимый для освоения дисциплины

| | |
|------------------------------|---|
| LAMMPS | http://lammps.sandia.gov/ |
| QUANTUM ESPRESSO | https://www.quantum-espresso.org/ |
| XDS | http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de |
| Autodock Vina | http://vina.scripps.edu |
| Pymol | https://pymol.org |
| Nova PX | https://www.ntmdt-si.com/ |
| АнНа (Анализатор Наночастиц) | https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii |

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3ГГц/512Мб/80ГБ с 17-дюймовыми мониторами, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть ИФВД РАН к Интернету. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы сети Интернет и локальная библиотека электронных материалов.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской - для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

1. Гидравлические прессы усилием 5000 и 10000 тонн с камерами «Тороид-10», «Тороид-15», «Тороид-35» для синтеза при высоких температурах и давлениях
2. Установка для высокотемпературной газовой экструзии при высоком газовом давлении до 0.5 ГПа
3. Установка для измерения микро-рамановских и микро-фотолюминесцентных спектров со сверхвысоким разрешением
4. Специализированный спектрометр VUKAP
5. Спектрометр высокоточный с эффективными четырьмя сцинтилляционными детекторами с кристаллом LaBr₃(Ce) с фотоэлектронными умножителями Hamamatsu R13089
6. Измерительная система физических свойств (PPMS), которая позволяет проводить измерения электросопротивления и теплоемкости веществ в области температур от 2 до 400 К
7. Инфракрасный спектрометр «BRUKER»
8. Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6390LV с энергодисперсионной приставкой для микроанализа INCA 250 (Oxford Instruments)

9. Рентгеновские дифрактометры DRON-2.0
10. Рентгеновская Гинье камера (Imaging Plate Guinier Camera G670, Huber, Germany)
11. Рентгеновский дифрактометр на базе Imaging Plate MAR345
12. 96-ядерный вычислительный кластер "Азбука"
13. Муфельная печь для спекания деталей ячеек высокого давления при температурах до 1800 °С
14. Шаровая мельница
15. Аналитические весы GR-200
16. Аналитические весы AL 304-IC
17. Функциональный генератор Tektronix AFG 3251
18. Осциллограф Agilent Technologies