

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 фазовых переходов»
наименование

| | |
|---------------------------------|--|
| Направление подготовки | 03.06.01 Физика и астрономия |
| Направленность (профиль) ООП | «Физика конденсированного состояния» (01.04.07) |
| Квалификация | «Исследователь. Преподаватель- исследователь» |
| Форма обучения | очная |
| Год приема | 2020 |

Москва – 2020

Программа дисциплины «Физика фазовых переходов» 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 ученыe степени».

Составитель: д.ф.-м.н. Рыжов В.Н.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения аспирантами дисциплины «Физика фазовых переходов» является обеспечение теоретической и общефизической подготовки аспирантов на уровне, необходимом для научной работы в педагогической и прочих сферах деятельности, а также в области исследования свойств вещества в разных агрегатных состояниях.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- формирование представлений об основных понятиях фазовых переходов в физике конденсированного состояния;
- ознакомление с классическими подходами в описании фазовых переходов в жидких и ферромагнитных средах;
- изучение свойств систем вблизи фазовых переходов;
- освоение теории фазовых переходов Ландау и современных направлений в теории фазовых переходов.

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 фазовых переходов» входит в Блок (Дисциплины по выбору) 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.ДВ.1.4. Дисциплина изучается на 2 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 фазовых переходов» обучающийся должен:

Знать:

- классификацию фазовых переходов;
- критерии равновесия и устойчивости термодинамической системы;
- особенности фазовых переходов первого рода;
- особенности фазовых переходов второго рода;
- условия равновесия в многокомпонентных и многофазных системах;
- примеры и свойства динамически организующихся систем;
- свойства и способы термодинамического описания разных агрегатных состояний вещества.

Уметь:

- ориентироваться в многообразии фазовых переходов;
- получать теоретические соотношения для характеристик вблизи точки перехода;
- различать типы фазовых диаграмм.

Владеть:

- навыками творческого обобщения полученных знаний;
- навыками конкретного и объективного изложения своих знаний в письменной и устной формах.

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 фазовых переходов» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- а) универсальных (УК-1, УК-3, УК-4);
- б) общепрофессиональных (ОПК-1);
- в) 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 и научно-образовательных задач | ИУК-3.2.1 принимать участие в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач | ИУК-3.3.1 готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по 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- | ИОПК-1.2.1 самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую | ИОПК-1.3.1 способностью самостоятельно осуществлять научно- |

| | | | |
|-------------|---|---|---|
| | исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | 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-технической документации | 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-технической документации | 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 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: основные характеристики агрегатных состояний веществ; условия перехода веществ в суперкритическое состояние; особенности фазовых переходов первого и второго рода; представления о кластерах и супрамолекулах и принципах их образования на основе самосборки.

УМЕТЬ: предвидеть и анализировать зависимости физических свойств веществ в зависимости от агрегатных состояний, форм существования и фазовых переходов веществ; интерпретировать зависимости свойств кластеров от их состава и форм; оценивать возможности образования супрамолекул на основе межмолекулярных взаимодействий.

ВЛАДЕТЬ: навыками получения информации о свойствах и превращениях веществ на основе фазовых диаграмм и знания закономерностей фазовых переходов; навыками оценки возможности образования кластеров и супрамолекул на основе принципов самосборки.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, в том числе 30 часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 20 часов – лекции, 10 часов – практические, семинарские занятия), 38 часов – на самостоятельную работу обучающихся и 4 часа – на контроль.

Таблица 2.
Структура и содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела, темы | Семестр | Неделя семестра | Контактная ра- бота (в часах) | | | Самостоят. ра- бота | Контроль | Формы текущего кон- троля успеваемости (по темам) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------|--|---------|-----------------|-------------------------------------|----|----|------------------------|----------|--|
| | | | | Л | ПЗ | ЛР | | | |
| 1 | Идеальный газ - первая фундаментальная модель физического строения материи | 3 | 1-7 | 2 | 2 | | 6 | | участие аспирантов в научных семинарах |
| 2 | Неидеальный газ | 3 | 8-12 | 2 | 2 | | 6 | | представление докладов на научные конференции |
| 3 | Теория фазовых переходов Ландау | 3 | 13-17 | 2 | 2 | | 6 | | подготовка научных статей |
| 4 | Фазовые переходы первого рода | 4 | 20-26 | 2 | | | 6 | | подготовка презентаций по литературе и по теме исследований |
| 5 | Фазовые переходы второго рода | 4 | 27-33 | 4 | 2 | | 6 | | освоение новых средств автоматизации и |

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|-----------|-----------|-----------|--|-----------|----------|--|
| | | | | | | | | | компьютеризации выполняемых научных исследований |
| 6 | Критические и за- критические явле- ния | 4 | 34- 39 | 4 | | | 6 | | участие аспирантов в науч- ных семинарах |
| 7 | Теория диссипатив- ных структур | 4 | 40- 44 | 4 | 2 | | 2 | | представление докладов на научные конференции |
| 8 | Зачет | 4 | 9-10 | | | | | 4 | проведение зачета |
| ИТОГО | | | | 20 | 10 | | 38 | 4 | ЗАЧЕТ |

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>10</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 2</i> | <i>10</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 3</i> | <i>10</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 4</i> | <i>8</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 5</i> | <i>12</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 6</i> | <i>10</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 7</i> | <i>8</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| <i>Тема 8</i> | <i>4</i> | + | + | + | + | + | + | + | <i>7</i> |
| Итого | 72 | | | | | | | | |

Содержание тем дисциплины

Тема 1. Идеальный газ - первая фундаментальная модель физического строения материи.

Введение. Идеальный газ - первая фундаментальная модель физического строения материи.

Фундаментальный характер модели идеального газа. Учет не идеальности. Термодинамические неравенства и термодинамическая устойчивость.

Тема 2. Неидеальный газ.

Неидеальный газ. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Другие уравнения состояния неидеального газа. Критическая точка. Критическая точка и фазовые переходы второго рода. Аналогии различных фазовых переходов (сверхпроводимость, сверхтекучесть, ферромагнетизм и т.п.) с критической точкой жидкость - пар. Термодинамические неравенства в критической точке. Уравнение Ван-дер-Ваальса и критические параметры. Уравнение соответственных состояний. Термодинамические неравенства в бинарных растворах. Критические точки в бинарных растворах.

Тема 3. Теория фазовых переходов Ландау.

Параметр порядка и симметрия. Разложение Ландау. Основные результаты теории Ландау.

Сравнение с экспериментом. Физическая причина нарушения теории Ландау.

Термодинамическая теория флуктуаций. Корреляционная функция флуктуаций параметра порядка. Радиус корреляции. Природа критической универсальности. Аномалия теплопроводности в рамках теории Орнштейна-Цернике. Межфазное натяжение в рамках теории самосогласованного поля. Критическая адсорбция. Критерий применимости теории самосогласованного поля (критерий Гинзбурга).

Тема 4. Фазовые переходы первого рода.

Теория Ландау для фазовых переходов 1-го рода. Примеры фазовых переходов 1-го рода. Фазовые переходы в жидких кристаллах: нематики, смектики. Взаимодействие параметров порядка. Критические точки высшего порядка: бикритическая, трикритическая, поликритическая.

Тема 5. Фазовые переходы второго рода.

Термодинамика сверхпроводящего перехода. Использование достижений физики фазовых

переходов для изучения коллективных явлений в других областях естествознания (астрофизика, физика моря и атмосферы, биология и экология).

Тема 6. Критические и закритические явления.

Критические и закритические явления. Фазовые переходы в растворах Не4-Не3.

Тема 7. Теория диссипативных структур.

Проблема устойчивости стационарных неравновесных состояний. Нарушение устойчивости стационарных состояний аналог фазовых переходов. Примеры конвекция, порог генерации лазера, реакция Жаботинского, турбулентность. Теория диссипативных структур. Принцип минимума производства энтропии. Роль флуктуаций в образовании диссипативных структур.

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.

а) Основная литература:

1. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / Савельев И.В. "Лань" Издательство: 2018 год: 5-е изд.: 384 стр. <http://vina.scripps.edu>
2. Основы экспериментальной физики: квантовая физика. Лабораторный практикум. Издательство ВО "Мордовский государственный педагогический институт", 2018 г.
3. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. «Физика твердого тела»: Учебник. Изд. 4-е. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 496 с.
4. Теоретическая механика. Сборник задач: Учебное пособие / М.Н. Кирсанов. - М.: НИЦИНФРА-М, 2017. - 430 с. <https://www.ntmdt-si.com/>
5. Физика твердого тела / Матухин В.Л., Ермаков В.Л. "Лань" Издательство: 2019 год: 1-е изд.: 224 стр. <http://www.jemssaas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html>
6. Физика твердого тела / Елифанов Г.И. "Лань" Издательство: 2016 год: 4-е изд., стер. Издание: 288 стр.
7. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2019. - 307 с.

б) Дополнительная литература:

1. Проблемы кристаллографии. Издательство Московского Университета. 2018 г.
2. Зуев Л.Б. Автоволновая пластиичность локализации и коллективные моды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 208 с.
3. Кристаллография. Лабораторный практикум. Под редакцией Е.В. Чупрунова. Москва. Физматлит, 2018.
3. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.
4. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковалчук. Москва, ИКЦ «Академкнига». Том 2. 2018 г.
5. 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.

6. 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.

7. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. 2017 г. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ». 616 с.

8. Фокусировка фононов и фононный транспорт в монокристаллических наноструктурах / И. Г. Кулев, И. И. Кулев, С. М. Бахарев, В. В. Устинов. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2018. - 254 с.

9. Физика конденсированного состояния, Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Издательство Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.

10. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. — 318 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,rationально 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).

Содержание самостоятельной работы обучающихся

| Номер раздела (темы) | Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение | Кол-во часов | Формы работы |
|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|
| 1 | Идеальный газ - первая фундаментальная модель физического строения материи | 6 | Реферат |
| 2 | Неидеальный газ | 6 | Эссе |
| 3 | Теория фазовых переходов Ландау | 6 | Конспектирование |
| 4 | Фазовые переходы первого рода | 6 | Контрольная работа |
| 5 | Фазовые переходы второго рода | 6 | Реферат |
| 6 | Критические и закритические явления | 6 | Эссе |
| 7 | Теория диссипативных структур | 2 | 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.
3. Составление плана реферата.
4. Изложение основного содержания по плану реферата.
5. 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 – чёрный. 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), подзаголовка — 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 осмысливания – 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-podrazdeleniywotdelektronnoj-kristallografiilaboratoriyaelektronografii |

- Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы

| | |
|---|---|
| РИНЦ | https://elibrgry.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-andservices/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/Xplore/home.jsp |
| 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 фазовых переходов» 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 | Идеальный газ - первая фундаментальная модель физического строения материи | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №1, эссе, реферат. |
| 2 | Неидеальный газ | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №1, эссе, реферат. |
| 3 | Теория фазовых переходов Ландау | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №2, эссе, реферат. |
| 4 | Фазовые переходы первого рода | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №2, эссе, реферат. |
| 5 | Фазовые переходы второго рода | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная работа №3 эссе, реферат. |
| 6 | Критические и закритические явления | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №3, эссе, реферат. |
| 7 | Теория диссипативных структур | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3 | «Круглый стол» по теме, 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 оце- нивания | Критерии оценивания |
|-------------------------------|---|
| 5 | демонстрирует способность применять знание теоретического материала при |

| | |
|----------------------------|---|
| «отлично» | 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

Примерные вопросы к зачету:

1. Примеры фазовых переходов первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
2. Особенности фазовых переходов: "твердое тело-жидкость", "жидкость-газ", "твердое тело-газ".
3. Тройная точка. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса и система "жидкость-газ". Метастабильные состояния вещества. Образование новой фазы.
4. Равновесие в многокомпонентных и многофазных системах. Понятие компоненты. Закон действующих масс.
5. Примеры фазовых переходов (ФП) второго рода, аномалии в критической точке (экспериментальные данные). Газ Ван-дер-Ваальса. Кривая сосуществования. Магнитный ФП. Точка Кюри.
6. Термодинамика ФП. Условия равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Термодинамическая устойчивость однофазного состояния вещества. Фазовый переход 2-го рода. Теория Эренфеста.
7. Метод среднего поля в теории равновесных ФП. Трудности микроскопической теории ФП.

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, бальная 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 | |
| 75- 84 | 4 (хорошо), (зачтено) |
| 70-74 | |
| 65-69 | 3 (удовлетворительно), |

| | |
|----------------|--|
| 60-64 | (зачтено) |
| Ниже 60 баллов | 2 (неудовлетворительно), (не засчитано) |

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. Чабанов В. Е. Курс лекций по физике твердого тела для технических вузов: учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2018. - 131 с.
2. Шершнева, В. А. Сборник прикладных задач по математике: Учеб.пособие / В. А. Шершнева, О. А. Карнаухова. - 2-е изд. испр. и доп. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. - 219 с. <http://vina.scripps.edu>
3. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2019. - 307 с.
4. Теоретическая механика. Сборник задач: Учебное пособие / М.Н. Кирсанов. - М.: НИЦИНФРА-М, 2017. - 430 с. <https://www.ntmdt-si.com/>
5. 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.
6. 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.

б) Дополнительная литература:

1. Кирсанов Евгений Александрович. Ньютоновское течение дисперсных, полимерных и жидкокристаллических систем: структурный подход / Кирсанов Е.А., Матвеенко В.Н. — М.: Техносфера, 2016. — 383 с.
2. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / Савельев И.В. "Лань" Издательство: 2018 год: 5-е изд.: 384 стр. <http://vina.scripps.edu>
3. Фазовые и структурные превращения в металлах и сплавах: Учебное пособие / Свечникова Л.А., Темных В.И., Токмин А.М. - Краснояр.: СФУ, 2017 - 194 с.
4. Физика твердого тела / Матухин В.Л., Ермаков В.Л. "Лань" Издательство: 2019 год: 1-е изд.: 224 стр. <http://www.jemssaas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html>
5. Физика твердого тела / Епифанов Г.И. "Лань" Издательство: 2016 год: 4-е изд., стер. Издание: 288 стр.

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/ |

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3Гц/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.

Перечень оборудования:

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 °C
14. Шаровая мельница
15. Аналитические весы GR-200
16. Аналитические весы AL 304-IC
17. Функциональный генератор Tektronix AFG 3251
18. Осциллограф Agilent Technologies