

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)	«Физика конденсированного состояния» (01.04.07)
ООП	
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 ученые 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 общеприкладной 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 организуемых 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 работа (в часах)			Самостоят. работа	Контроль	Формы текущего контроля 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 явления	4	34-39	4			6		участие аспирантов в научных семинарах
7	Теория диссипативных 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							
		УК -1	УК -3	УК -4	ОПК -1	ПК -1	ПК -2	ПК -3	общее количество компетенций
Тема 1	10	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 2	10	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 3	10	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 4	8	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 5	12	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 6	10	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 7	8	+	+	+	+	+	+	+	7
Тема 8	4	+	+	+	+	+	+	+	7
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 теплоемкости 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 He4-He3 .

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 прочесть 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 / Епифанов 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 кристаллологии. Издательство Московского Университета. 2018 г.
2. Зув Л.Б. Автоволновая пластичность 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. Ковальчук. 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. Кулеев, И. И. Кулеев, 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 Бинوم. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.
10. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зипшль, 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, 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).

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.
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), 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 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-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-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 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 оценивания	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, 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),

60-64	(зачтено)
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. 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. Неньютоновское течение дисперсных, полимерных и жидкокристаллических систем: структурный подход / Кирсанов Е.А., Матвеев 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 °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