

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«УДМУРТСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР»  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(УдмФИЦ УрО РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Директор УдмФИЦ УрО РАН,  
доктор физико-математических наук

М.Ю. Альес

« 05 »

2018 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Фазовые переходы

Направление подготовки  
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) подготовки  
01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Квалификация (степень) выпускника  
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения  
очная

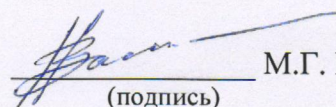
**Ижевск**



Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 867, программой-минимум по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», паспортом специальности научных работников 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»; учебным планом подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (далее УдмФИЦ УрО РАН) по направлению 03.06.01 Физика и астрономия.

Составитель рабочей программы:

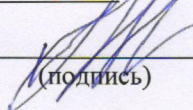
Вед. научный сотрудник, д.ф.-м.н.

  
(подпись) М.Г. Васин

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании Президиума Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН.

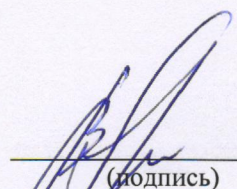
Протокол № 7 от 03.04 2018 г.

Глав.ученый секретарь \_\_\_\_\_ Поздеев И.Л.

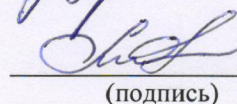
  
(подпись)

Согласовано:

Первый заместитель директора  
по естественно - научному направлению, д.ф.-м.н.

  
(подпись) В.Ю. Трубицын

Зав. аспирантурой, к.ф.-м.н.

  
(подпись) М.Ю. Лебедева

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель

Целью изучения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний о природе фазовых переходов и других структурно-фазовых превращений в конденсированных системах.

### Задачи

1. Ознакомить обучающихся с основными принципами статистической механики и классификацией фазовых переходов в конденсированных системах.
2. Дать углубленные представления о современных методах теоретического описания фазовых переходов в конденсированных системах.
3. Познакомить обучающихся со статическим и динамическим подходами к описанию фазовых переходов в конденсированных системах.
4. Научить обучающихся применять полученные знания на практике.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Фазовые переходы» является дисциплиной по выбору вариативной части Блока 1 направления подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия». Дисциплина изучается на 3 курсе аспирантуры после освоения аспирантами профильных дисциплин вариативной части.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой естественнонаучной подготовкой и навыками владения современными компьютерными средствами. Обучаемый должен обладать навыками аналитического и численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных, алгебраических уравнений, а также владеть основными понятиями теории функций комплексной переменной, теории твердого тела и статистической физики.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения программы дисциплины у аспиранта должны быть сформированы общепрофессиональные компетенции, определяемые направлением подготовки, и профессиональные компетенции, определяемые направленностью (профилем) программы аспирантуры в рамках направления подготовки.

Аспирант, освоивший программу дисциплины, должен обладать следующими компетенциями:

### Общепрофессиональные компетенции;

**ОПК-1** Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

### Знать:

- передовые достижения в области научных интересов, современные проблемы и методологию теоретических и экспериментальных работ в области профессиональной деятельности З1(ОПК-1);
- методы сбора информации для решения поставленных исследовательских задач З3(ОПК-1);
- методы анализа данных, необходимых для проведения конкретного исследования З4(ОПК-1)

### Уметь:

- анализировать известные результаты в предметной области, формулировать актуальные проблемы У1(ОПК-1);
- самостоятельно выполнять экспериментальные, вычислительные физические исследования при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств. У2(ОПК-1).

### Владеть:



- знаниями о современном состоянии исследований, методами и подходами решения научных задач в предметной области В1(ОПК-1);
- способностью самостоятельно с применением современных компьютерных технологий собирать, обрабатывать, анализировать, обобщать и систематизировать результаты исследований. В4(ОПК-1).

### Профессиональные компетенции:

**ПК-1** Способность самостоятельно проводить научные исследования в области физики конденсированного состояния вещества

#### Знать:

- современные базовые и специализированные теоретические представления о природе вещества в конденсированных веществах З1(ПК-1);
- актуальные проблемы и приоритетные направления исследований в области физики конденсированного состояния З2(ПК-1);
- современные методы и подходы для решения теоретических и экспериментальных задач в области физики конденсированного состояния вещества З3(ПК-1).

#### Уметь:

- использовать базовые теоретические знания, знания основ физического эксперимента в научных исследованиях в области физики конденсированного состояния вещества У2(ПК-1);
- выбирать и применять адекватные экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследований У3(ПК-1)

#### Владеть:

- научной терминологией, понятийным аппаратом, основами математического описания физических явлений, основами физического эксперимента В1(ПК-1).

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 академических часа.

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	144
Аудиторные занятия:	40
лекции	36
практические занятия (ПЗ)	4
семинарские занятия (СЗ)	-
Самостоятельная работа и (или) другие виды самостоятельной работы (СР):	68
Вид промежуточного контроля (зачет, экзамен)	Зачёт 36

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

Наименование раздела дисциплины	Общая трудоемкость в часах	Лекции	ПР	СР
Вводное занятие	6	2	0	4
Метод молекулярного поля	12	4	0	8

	Феноменологическая теория Гинзбурга-Ландау	12	4	0	8
	Флуктуационная теория фазовых переходов	12	4	0	8
	Функциональная диаграммная техника квантовой теории поля	18	6	2	10
	Функциональные методы неравновесной динамики	18	6	2	10
	Критическая динамика	18	6	0	12
	Фазовые переходы I рода	12	4	0	8
	Вид промежуточного контроля (зачет)	36			
	Итого	144	36	4	68

## 5.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Вводное занятие	Основные принципы статистической механики, основные понятия: фазовые переходы, параметр порядка. Связь параметра порядка с симметрией. Критические индексы. Фазовые переходы I порядка. Фазовые переходы II порядка.
2	Метод молекулярного поля	Магнитные фазовые переходы и теория эффективного молекулярного поля Кюри-Вейса. Статистические модели Изинга, Гейзенберга, Поттса. Модель решеточного газа. Молекулярное поле и теория Гейзенберга магнетизма.
3	Феноменологическая теория Гинзбурга-Ландау	Нарушение локальной симметрии и нарушение эргодичности системы. Разложение термодинамического потенциала по степеням параметра порядка. Условия на коэффициенты разложения. Условия применимости теории Гинзбурга-Ландау. Флуктуации параметра порядка. Критерий Гинзбурга. Флуктуационная поправка к теплоемкости при фазовом переходе II рода.
4	Флуктуационная теория фазовых переходов	Корреляционная длина и гипотеза подобия. Масштабное преобразование и анализ размерностей. Теория Каданова. Блочные гамильтонианы. Метод ренормализационной группы. Неподвижная точка. Ренормализационная группа в пределе больших $n$ . Рекурсивная формула Вильсона. Применение формулы Вильсона к случаю больших $n$ .
5	Функциональная диаграммная техника квантовой теории поля	Универсальная диаграммная техника. Диаграммные представления функций Грина. Неприводимые функции Грина. Тождества Уорда. Введение в теорию перенормировок, стандартные перенормировки в теории $\phi^4$ . Анализ УФ-расходимостей и контрчленов в статике. Примитивные и поверхностные расходимости. Методы регуляризации. Ренормализационная группа.
6	Функциональные методы неравновесной динамики	Стандартная форма уравнений стохастической динамики. Сведение стохастической задачи к квантовополевой модели. Метод динамического производящего функционала. Критерий устойчивости системы в стохастической динамике. Келдышевская техника. Функции отклика на внешнее поле. Флуктуационно-диссипативная теорема.
7	Критическая динамика	Общие принципы построения критической динамики. Гипотеза динамического подобия. Канонические размерности в критической динамике. Анализ УФ-расходимостей и контрчленов в критической динамике. При-

		меры конкретных моделей критической динамики: модели А и В.
8	Фазовые переходы I рода	Кинетика расслоения фаз. Теория Кана-Хильярда. Однофазные и гетерогенные флуктуации. Теория зародышеобразования. Гомоморфный и гетерогенный механизмы зародышеобразования.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Образовательные технологии

Обучение по дисциплине ведётся с применением как традиционных методов (лекции, практические занятия), так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах подразделений УдмФИЦ УрО РАН по профилю подготовки, представление докладов на научной конференции молодых ученых УдмФИЦ УрО РАН и молодежных научных школах, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе для дополнительного изучения.

Аудиторные занятия, целью которых является освоение теоретических основ дисциплины, проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного оборудования. Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Практические занятия (семинары) имеют своей целью освоение расчетно-теоретических методов, используемых при решении задач, развития навыков рационального выбора методов решения, подробное обсуждение отдельных тем дисциплины.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает углубленное освоение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к текущему, промежуточному и итоговому контролю успеваемости. В целях формирования способности к критическому анализу информации и поиску путей решения поставленных задач в дальнейшей профессиональной деятельности используется технология проблемного обучения, требующая значительных временных ресурсов, что предусмотрено структурой дисциплины, и предполагает самостоятельную проработку учебно-проблемных задач аспирантами, выполняемую с привлечением основной и дополнительной литературы; поиск необходимой научно-технической информации в открытых источниках, консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на персональных рабочих местах аспирантов с доступом к ресурсам «Интернет», в научных подразделениях УдмФИЦ УрО РАН с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

### 6.2. Основные сведения об электронно-библиотечной системе

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс, и гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы.

УдмФИЦ УрО РАН обеспечивает каждого аспиранта основной учебной и учебно-методической литературой, методическими пособиями, необходимыми для организации образовательного процесса по всем дисциплинам лицензируемых образовательных программ, в соответствии с требованиями к основной образовательной программе послевузовского профессионального образования и паспортом специальностей ВАК. Научно-техническая библиотека института удовлетворяет требованиям Примерного положения о формировании фондов библиотеки высшего учебного заведения, утвержденного приказом Минобрнауки России от 27.04.2000 № 1246.

Фонд научно-технической библиотеки насчитывает 56242 (11103) экземпляра книг и журналов. Ежегодно библиотека получает научные, научно-популярных и общественно-политические периодические издания. Формирование фонда библиотеки осуществляется в соответствии с профилем института, образовательными программами аспирантуры, тематикой научных исследований РАН.

### **6.3. Основная литература:**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М., Наука, 1976.
2. Абрикосов А.А., Горьков Л.Г., Дзялошинский И.Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике. М., Физматгиз, 1962.
3. Основы физики. Курс общ. физики Том 2. Квантовая и статистическая физика. / Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М., ФИЗМАТЛИТ, 2007, 608 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2201](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2201)
4. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика, Лань.-2008.-432 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=226](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=226)
5. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики,  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=692](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=692)
6. А.З. Паташинский, В.Л.Покровский. Флуктуационная теория фазовых переходов. М., Наука, 1982.
7. А. Н. Васильев, Квантовополевая ренормгруппа в теории критического поведения и стохастической динамике, ПИЯФ, СПб., 1998.

### **6.4. Дополнительная литература**

1. Д.Н.Зубарев, В.Г.Морозов, Г.Репке. Статистическая механика неравновесных процессов. М., Физматлит, 2002.

### **6.5. Основные Интернет-ресурсы:**

1. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/>
2. Академия Google <https://scholar.google.ru/>
3. Сайт Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
4. Сайт ScienceDirect <http://www.sciencedirect.com/>
5. Библиотека «Все для студента» <http://www.twirpx.com/>

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### **7.1. Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, осуществляемая не реже одного раза в семестр. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный опрос. Оценивание проводится преподавателем, ведущим дисциплину. Текущая самостоятельная работа студента направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

### **7.2. Промежуточный контроль**

Промежуточный контроль осуществляется в конце каждого семестра в соответствии с учебным планом. Оценка успеваемости аспиранта производится преподавателем, ведущим дисциплину, на основе результатов текущего контроля.

### **7.3. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется в конце третьего курса и завершает изучение дисциплины «Фазовые переходы». Форма аттестации – зачет в устной форме проводится по билетам, включающим 2 вопроса.

### **Вопросы к зачёту:**

1. Основные принципы статистической механики, основные понятия: фазовые переходы, параметр порядка. Связь параметра порядка с симметрией.
2. Критические индексы. Фазовые переходы I рода. Фазовые переходы II рода.
3. Магнитные фазовые переходы и теория эффективного молекулярного поля Кюри-Вейса. Статистические модели Изинга, Гейзенберга, Поттса.
4. Модель решеточного газа. Молекулярное поле и теория Гейзенберга магнетизма.
5. Нарушение локальной симметрии и нарушение эргодичности системы. Разложение термодинамического потенциала по степеням параметра порядка. Условия на коэффициенты разложения. Условия применимости теории Гинзбурга-Ландау.
6. Флуктуации параметра порядка. Критерий Гинзбурга. Флуктуационная поправка к теплоемкости при фазовом переходе II рода.
7. Корреляционная длина и гипотеза подобия. Масштабное преобразование и анализ размерностей. Теория Каданова. Блочные гамильтонианы. Метод ренормализационной группы. Неподвижная точка.
8. Ренормализационная группа в пределе больших  $n$ . Рекурсивная формула Вильсона. Применение формулы Вильсона к случаю больших  $n$ .
9. Универсальная диаграммная техника. Диаграммные представления функций Грина. Неприводимые функции Грина. Тожества Уорда.
10. Введение в теорию перенормировок, стандартные перенормировки в теории  $\phi^4$ . Анализ УФ-расходимостей и контрчленов в статике. Прimitивные и поверхностные расходимости. Методы регуляризации. Ренормализационная группа.
11. Универсальная диаграммная техника. Диаграммные представления функций Грина. Неприводимые функции Грина. Тожества Уорда.
12. Стандартная форма уравнений стохастической динамики. Сведение стохастической задачи к квантовополевой модели. Метод динамического производящего функционала. Критерий устойчивости системы в стохастической динамике.
13. Келдышевская техника. Функции отклика на внешнее поле. Флуктуационно-диссипативная теорема.
14. Общие принципы построения критической динамики. Гипотеза динамического подобия. Канонические размерности в критической динамике.
15. Анализ УФ-расходимостей и контрчленов в критической динамике. Примеры конкретных моделей критической динамики: модели A и B.
16. Кинетика расслоения фаз. Теория Кана-Хильярда. Однофазные и гетерогенные флуктуации.
17. Теория зародышеобразования. Гомоморфный и гетерогенный механизмы зародышеобразования.

### **Критерии оценки знаний на зачёте**

Оценка «отлично» на зачёте ставится при: правильном, полном и логично построенном ответе; умении оперировать специальными терминами; использовании в ответе дополнительного материала.

Оценка «хорошо» на зачёте ставится при: правильном, полном и логично построенном ответе; умении оперировать специальными терминами; использовании в ответе дополнительный материал. Но в ответе имеются негрубые ошибки или неточности; делаются не вполне законченные выводы или обобщения.

Оценка «удовлетворительно» ставится при: схематичном неполном ответе; неумении оперировать специальными терминами или их незнании; ответе с одной грубой ошибкой;



Оценка «неудовлетворительно» ставится при: неудовлетворительном ответе на все вопросы

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:**

Научные подразделения УдмФИЦ УрО РАН располагают материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы:

1. Компьютеры с пакетами прикладных программ;
2. Экспериментальное оборудование научных подразделений УдмФИЦ УрО РАН;
3. Доступ к библиотечному фонду УдмФИЦ УрО РАН, который укомплектован изданиями научной, учебной и иной литературы, включая периодические издания; к электронно-информационным ресурсам Центральной научной библиотеки УрО РАН и иным ресурсам научной литературы через Интернет.

Имеются учебные аудитории для проведения лекционных занятий, мультимедийное оборудование, программное обеспечение для компьютерных презентаций, обеспечен доступ аспирантов к компьютеру с выходом в Интернет.